

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ЛУЦЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

НАУКОВІ НОТАТКИ

Випуск 61



ЛУЦЬК - 2018

НАУКОВІ НОТАТКИ

**Міжвузівський збірник
(за галузями знань «Технічні науки»)**

**Випуск 61
2018**

Луцьк 2018

РЕДАКЦІЙНА РАДА

Пустюльга С.І., декан МБФ, Луцький НТУ, д.т.н, професор; Рудь В.Д., Луцький НТУ, д.т.н., професор; Савчук П.П., ректор, Луцький НТУ, д.т.н., професор; Шваб'юк В.І., Луцький НТУ, д.т.н., професор; Заболотний О.В., декан ТФ, Луцький НТУ, к.т.н., доцент.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Рудь В.Д., д.т.н., професор, Луцький НТУ (відповідальний редактор); Пустюльга С.І., д.т.н., професор, Луцький НТУ (заступник відповідального редактора); Заболотний О.В., к.т.н., доц., Луцький НТУ (заступник відповідального редактора); Савчук І.В., асистент, Луцький НТУ (відповідальний секретар); Бобир М.І., д.т.н., професор, НТУ України "КПІ"; Гевко Б.М., д.т.н., професор, Тернопільський НТУ; Дядюра К.О., д.т.н., професор, Сумський державний університет; Жигуц Ю.Ю., д.т.н., професор, ДВНЗ Ужгородський національний університет; Кіндрачук М.В., д.т.н., професор, Національний Авіаційний університет; Лотиш В.В., к.т.н., доц., Луцький НТУ; Майстренко А.Л., д.т.н., член-кореспондент НАН України, Інститут надтвердих матеріалів; Максимович В.М., д.ф.-м.н., професор, Луцький НТУ; Пальчевський Б.О., д.т.н., професор, Луцький НТУ; Петраков Ю.В., д.т.н., професор, НТУ України "КПІ"; Петровський В.Я., д.т.н., професор, інститут проблем матеріалознавства НАН України; Повстяной О.Ю., к.т.н., доц., Луцький НТУ; Савчук П.П., д.т.н., професор, Луцький НТУ; Струтинський В.Б., д.т.н., професор, НТУ України "КПІ"; Студеняк І.П., д.т.н., професор, ДВНЗ Ужгородський національний університет; Шваб'юк В.І., д.т.н., професор, Луцький НТУ; Штерн М.Б., д.т.н., професор, Інститут проблем матеріалознавства НАН України; Ярошевич М.П., д.т.н., професор, Луцький НТУ; Allison Macmillan, професор, доктор PhD, Глїндворський університет (Уельс, Великобританія); Драган О.В., к.т.н., доцент, Брестський державний технічний університет (Білорусь); Патер Збігнев, д.т.н., професор, Люблінська політехніка (Польща); Геворк Петросян, д.т.н., професор, Вірменський державний університет (Вірменія); Дімітер Ставнев, д.т.н., професор, Технічний університет м. Варні (Болгарія); Дешка Маркова, д.т.н., професор, Технічний університет м. Габрово (Болгарія)

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 8 від 27.03.2018 р.

Свідоцтво Міністерства юстиції України про державну реєстрацію:

Серія КВ №15901-4373ПР від 13.11.2009 р.

Включено до Переліку наукових фахових видань України наказ МОН України № 528 від 12.02.2015 року та в наукометричну базу РИНЦ.

ISSN: 24-15-39-66

ШАНОВНІ ДОПISУВАЧІ, КОЛЕГИ!

Згідно наказу МОН України № 528 від 12.02.2015 р. затверджено Міжвузівський збірник наукових праць «НАУКОВІ НОТАТКИ», що видається Луцьким національним технічним університетом як наукове фахове видання України.

В збірнику публікуються результати теоретичних та експериментальних досліджень, які раніше не висвітлювались в друці. Враховуючи, що збірник є фаховим виданням, в ньому корисно друкувати результати дисертаційних досліджень на здобуття наукового ступеня кандидата та доктора технічних наук за галузями знань "Технічні науки"

Статті друкуються українською, англійською або російською мовами.

Довідки за тел. (0332) 26-25-19 e-mail: [**notatki@ukr.net**](mailto:notatki@ukr.net)

Наша адреса:

43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56

Луцький національний технічний університет,
редакція міжвузівського збірника "Наукові нотатки"

Веб-сайт збірника: [**http: //notatki.com.ua**](http://notatki.com.ua)

З повагою,

*Відповідальний редактор,
професор Луцького НТУ*

В.Д. Рудь

ЗМІСТ

Зміст	4
Андрущак І.Є., Матвійв Ю.Я., Ящук А.А., Марценюк В.П. Особливості технології Grid та інтелектуальної обробки даних Data Mining.....	8
Букетов А.В., Сапронова А.В., Леценко О.В., Голотенко О.С., Василенко А.О. Дослідження процесу структуроутворення композитних матеріалів із різним вмістом вуглецевих нанотрубок методом ІЧ-спектрального аналізу.....	13
Бунке О.С., Саков Р.П., Новіков П.В. Проблеми та передумови вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ.....	20
Витрикуш Н.М., Параняк Н.М., Романів А.С, Дацько О.С., Мохняк С.М. Порівняльний аналіз організації цивільного захисту країн Європи.....	26
Гануліч Б.К. Рентгенографічне визначення зони пластичних деформацій при квазікрихкому руйнуванні металу.....	32
Дудніков А.А., Дудніков І.А., Келемеш А.О., Біловод О.І., Дудник В.В., Горбенко О.В. Вплив зміцнення матеріалу деталей машин на їх довговічність.....	36
Євсєєв В.В. Графічне подання концептуальної схеми і основних базових понять опису візуальних елементів програмних продуктів і модулів в рішенні задач автоматизації проектування КІС ТПВ.....	40
Засідко І.Б., Полутренко М.С., Мандрик О.М. Використання осадів стічних вод як структуроутворюючого компонента у виробництві цегли.....	48
Зуєв Д.О., Кропачов А.В., Усов О.Є., Мостовицьков Д.М. Розвиток методів хмарних обчислень в рамках парадигми «Інтернету Всього».....	52
Зурнаджи В.І., Єфременко В.Г., Зайчук Н.П., Гаврилова В.Г., Джеренова А.В. Кінетика атермічного мартенситного перетворення в сталях 60С2ХФА та 55С3Г2ХФМБА.....	60
Іванюк О.В. Шпінелеутворення у вохристих пігментах отриманих з використанням шламу очищення промивних розчинів процесу високоточного різання кремнієвих пластин.....	66
Ісмаїлова Н.П., Трушков Г.В., Олійник Н.В. Моделювання спряжених поверхонь, за допомогою квазігвинтової поверхні контакту, що виключає інтерференцію.....	72
Кищун В.А., Нестеренко Л.В. Методи діагностування дизельних паливних форсунок із п'єзоелектричним приводом.....	77
Кондратюк О.М., Котик Р.М. Особливості проектування гвинтових гофрованих заготовок.....	83
Лебедев В.Г., Фроленкова О.В. Шліфування термобар'єрного покриття з оксиду цирконію стабілізованого оксидом ітрію.....	91
Литвин О.В., Ящук І.Р. Щодо структурно - морфологічного синтезу затискних патронів токарних верстатів.....	97
Литвиненко О.А., Пащенко Б.С. Зносостійкість кераміки для фільтраційних мембран.....	105
Любий Є.В., Левченко О.С., Сиромятнікова М.С. Аналіз ефективності використання міні-кільцевих розв'язок.....	110
Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Сокіл М.Б., Клендій В.М., Слободян Л.М. Нелінійні коливання вертикальної вітки завантажувача-змішувача із урахуванням руху вздовж нього зернової суміші.....	118
Ляшук О.Л., Клендій В.М., Трет'яков О.Л. Динаміка процесу зміцнення гвинтових робочих органів деформуєчими пуансонами.....	127
Мазін С.П., Маренко Г.М., Пархомчук О.П., Страшний І.Л., Франков В.М. Обґрунтування нової конструкції спецмашини для блокування і витіснення натовпу під час масових заворушень в умовах обмеженої території.....	136
Марчук В.І., Марчук І.В. Технологічне керування температурою під час безцентрового шліфування функціональних поверхонь обертання.....	142
Мікуліч О.А., Шваб'юк В.І. Взаємодія слабких ударних хвиль з тунельними порожнинами у ауксетик-середовищах.....	148
Молошній О.М., Сотник М.І. Кавітаційні процеси у підвідному обертовому осьовому пристрої та робочому колесі відцентрового насоса.....	154
Назаров І.О., Назаров О.І., Клець Д.М., Цибульський В.А. Підвищення безпеки використання легкових автомобілів у експлуатаційних умовах.....	162

<i>Неміш В.М., Березька К.М.</i> Напружений стан ізотропного середовища з неканонічними включеннями.....	169
<i>Петраков Ю.В., Шуплецов Д.К., Ткач І.І.</i> Моніторинг точності оброблення контурів на фрезерних верстатах з ЧПК.....	175
<i>Пономарьова Н.В., Приз А.В.</i> Підхід щодо формування зон пріоритетного транспортного обслуговування при доставці вантажів у міжнародному сполученні.....	180
<i>Придальний Б.І., Кузнєцов Ю.М.</i> Теоретичні дослідження характеристик електромеханічного привода затиску з асинхронним електродвигуном.....	185
<i>Ратушний О.В.</i> Мультифазна технологія видобутку нафти та насосне обладнання для неї....	190
<i>Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю.</i> Ефективні композиційні антифрикційні матеріали на основі шліфувальних відходів сталі ШХ15СГ для середньоважких умов роботи.....	198
<i>Романюк М.В., Волинець В.І., Собчук Д.С., Бандура І.О.</i> Дослідження похибки методу вимірювання при безперервному контролі омичного опору ізоляції полюсів РМПС відносно землі та окремих присідань.....	204
<i>Рудь В.Д., Повстяна Ю.С., Колядинський М.І., Самчук Л.М., Савюк І.В.</i> Регенерація металокерамічних фільтрів.....	209
<i>Терлецький Т.В., Ткачук А.А., Кайдик О.Л.</i> Вплив фізичних чинників електронних фізіотерапевтичних апаратів на відновлення процесів метаболізму в організмі людини.....	215
<i>Томашевський Р.С.</i> Вибір параметрів планування та підвищення ефективності методу неінвазивного моніторингу крововтрати на основі біоімпедансометрії.....	221
<i>Топорівський Б.П.</i> Аналіз рекомендацій використання web mining для розробки технології добування знань з інформаційної системи організації.....	230
<i>Штефан Є.В., Михайлов А.О., Михайлов О.В., Пащенко Б.С.</i> Чисельне моделювання процесу виробництва порошкових деталей для обладнання харчової промисловості.....	238
<i>Ярема І.Т., Довбиш А.П., Пиндус Т.Б., Радик М.Д.</i> Дослідження трубчастого скребкового конвеєра з просторовою трасою.....	243
<i>Гулівса Н.М.</i> Пористість композитних матеріалів на основі природних мінералів.....	249

CONTENT

<i>Contents</i>	4
<i>Andrushchak I.Ye., Matviiv Yu.Ya., Yashchuk A.A., Marcenuyk V.P.</i> Features of Grid technology and intelligent treatment of Data Mining.....	8
<i>Buketov A.V., Sapronova A.V., Leshchenko O.V., Golotenko O., Vasilenko A.</i> Research of the structuralization process composite materials with various content of carbon nanotubs by Ir-spectra analysis.....	13
<i>Bunke O.S., Novikov P., Sakov R.P.</i> Problems and prerequisites for improving automation of combined heat power plant management processes.....	20
<i>Vytrykush N., Paranyak N., Romaniv A., Datsko O., Mokhniak S.</i> Comparative analysis of the civil protection organization in Europe countries.....	26
<i>Ganulich B.K.</i> Xengraphic determination of plastic deformation zone with a quasic drinking metal.....	32
<i>Dudnikov A., Dudnikov I., Kelemesh A., Bilovod O., Dudnyk V., Gorbenko O.</i> Influence of strengthening of machine parts materials on their durability.....	36
<i>Yevsieiev V.</i> Conceptual scheme and basic concepts graphic representation of software and modules visual elements description in CIS TPP design automation problem solution.....	40
<i>Zasidko I.B., Polutrenko M.S., Mandryk O.M.</i> Usage of sewage sludge as a structure-forming component in the production of bricks.....	48
<i>Zuev D.O., Kropachev A.V., Usov A.Ye., Mostovshchikov D.N.</i> Development of cloud computing methods within the paradigm of "Internet of Everything".....	52
<i>Zurnadzhy V.I., Efremenko V.G., Zaichuk N.P., GavriloVA V.G., Dgherenova A.V.</i> Kinetics of athermal martensitic transformations in steels 60Si2CrVA and 55Si3Mn2CrVMoNbA.....	60
<i>Ivanyuk E.V.</i> Spinele formation in ocher pigments using sludge treatment of washing solutions of the process of high-precise cutting of silicon plates.....	66
<i>Ismailova N., Trushkov G., Oliinyk N.</i> Simulation of conjugate surfaces by a quasi-vista surface of contact, excluding interference.....	72
<i>Kyshchun V., Nesterenko L.</i> Diagnostic methods of diesel fuels spray nozzle with piezoelectric driver.....	77
<i>Kondratyuk O., Kotyk R.</i> Features of designing corrugation screw blank.....	83
<i>Lebedev V.G., Frolenkova O.V.</i> Grinding thermobarier coating from zirconium oxidum stabilized by yttrium oxide.....	91
<i>Litvin O., Yashchuk I.</i> Construction of structurally - morphological synthesis of clamping cartridges of turning machines.....	97
<i>Litvinenko A., Pachshenko B.</i> Ceramic resistance of the filtering membranes.....	105
<i>Liubiyi E.V., Levchenko O.S., Syromyatnikova M.S.</i> Analysis of the efficiency of the use of mini-roundabout.....	110
<i>Lyashuk O., Dyachun A., Sokil M., Klendii V., Slobodyan L.</i> Nonlinear oscillations of a loader-mixer vertical branch with consideration of multiple movement of grain mixture.....	118
<i>Lyashuk O., Klendii V., Tretyakov O.</i> The dynamics process strengthening screw working bodies of deforming poisson.....	127
<i>Mazin S.P., Marenko G.M., Parkhomthuk O.P., Strashnyi I.L., Frankov V.M.</i> New design of the special vehicle for blocking and relocation crowds during protests on a limited territory.....	136
<i>Marchuk V.I., Marchuk I.V.</i> Technological control of temperature under the successful silication of functional surfaces.....	142
<i>Mikulich O.A., Shvabyuk V.I.</i> Interaction of weak shock waves with tunnel cavities in auxetic media.....	148
<i>Moloshnyi O., Sotnyk M.</i> Cavitation processes in rotating axial inlet device and impeller of centrifugal pump.....	154
<i>Nazarov I.A., Nazarov A.I., Klets D.M., Tsybulsky V.A.</i> Improving the safety of use of pass vehicles in operating conditions.....	162
<i>Nemish V.M., Berezka K.</i> Stressed state of an isotropic medium with a non-canonical inclusions.....	169
<i>Petrakov Y., Shuplietsov D., Tkach I.</i> Monitoring of accuracy of processing of contours on CNC milling machines.....	175

Ponomareva N.V., Priz A.V. Approach to forming the zones of priority transport service for delivery of goods in international message.....	180
Prydalnyi B.I., Kuznetsov Y.M. Theoretical research of characteristics the electromechanical actuator of clamping mechanism which based on asynchronous motor.....	185
Ratushnyi A. Multiphase technology of oil production and pumping equipment.....	190
Roik T.A., Vitsiuk Iu.Iu. Effective composite antifriction materials based on steel ShKh15SG grinding waste for medium-heavy operating conditions.....	198
Romanyuk M., Volynets V., Sobchuk D., Bandura I. Investigation of the effect of measurement method for the continuous control of oils incorporation of polyus isolation in detected distribution networks related to earth and specific connections.....	204
Rud V., Povstiana Yu., Kolyadinsky M., Samchuk L., Saviuk I. Regeneration of metal-ceramic filters.....	209
Terletsyki T., Tkachuk A., Kaidyk O. The influence physical parameters of electronic physiotherapeutic apparatuses on the restoration of metabolic processes in the human body.....	215
Tomashevskiy R.S. Selection of parameters of the planning and improvement of the efficiency of the method for noninvasive monitoring of blood loss on the basis of bioimpedancometry.....	221
Toporivskiy B.P. Analysis of recommendations of applying web mining for developing technology to mine knowlegde from the organizational information system.....	230
Shtefan E., Mikhailov A., Mikhailov O., Pashchenko B. Numerical modeling of powdered machine parts manufacturing for food industry equipment.....	238
Yarema I., Dovbysh A., Pyndus T., Radyk M. Research of continuous-flow conveyer with spatial lay of line.....	243
Huliieva N.M. Purity of composite materials based on natural minerals.....	249

УДК 004.8; 681.3.06-519.852.6

І.С. Андрушак¹, Ю.Я. Матвійв¹, А.А. Ящук¹, В.П. Марценюк²¹Луцький національний технічний університет, Україна²Академія технічно-гуманістична в Бяльско-Бялі, Польща**ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ GRID ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ
ДАНИХ DATA MINING**

У статті розглядаються відмінності між Data Mining і класичними статистичними методами аналізу та OLAP-систем, а також обговорюються типи закономірностей, що виявлені в Data Mining. Описано обсяг застосування програми Data Mining та приклад системи ADAM що працює в середовищі Grid.

Ключові слова: асоціація, Data Mining, класифікація, послідовність, кластеризація, прогнозування.

И.Е. Андрушак¹, Ю.Я. Матвиив¹, А.А. Ящук¹, В.П. Марценюк²¹Луцкий национальный технический университет, Украина²Академия техническо-гуманитарическая в Бяльско-Бялей, Польша**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ GRID И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ
ДААННЫХ DATA MINING**

В статье рассматриваются различия между Data Mining и классическими статистическими методами анализа и OLAP-систем, а также обсуждаются типы закономерностей, обнаружены в Data Mining. Описаны объем применения программы Data Mining и пример системы ADAM работающего в среде Grid.

Ключевые слова: ассоциация, Data Mining, классификация, последовательность, кластеризация, прогнозирование.

I.Ye. Andrushchak¹, Yu.Ya. Matviiv¹, A.A. Yashchuk¹, V.P. Marcenuyk²¹Lutsk National Technical University, Ukraine²Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Bialej, Poland**FEATURES OF GRID TECHNOLOGY AND INTELLIGENT TREATMENT
OF DATA MINING**

The article discusses the differences between Data Mining and the classical statistical methods of analysis and OLAP-systems, and discusses the types of regularities found by Data Mining. The scope of the Data Mining application and an example of the ADAM system operating in the Grid environment are described.

Key words: association, Data Mining, classification, sequence, clustering, forecasting.

Formulation of the problem. Recently, the World Data Center branch and the national Grid infrastructure (academic and educational segments) began to operate in Ukraine, so that domestic scientists and specialists can now count on increased data from various industries that are processed in a united network of clusters in the country. The development of methods of recording and storing data has led to a rapid growth of volumes of collected and analyzed information. The data volumes are so significant that people simply can not analyze them on their own, although the need for such an analysis is quite obvious, because in these "raw data" there is a knowledge that can be used in decision-making.

In order to perform an automatic analysis of data, Data Mining is used (knowledge extraction). This is a new technology of intelligent data analysis in order to detect hidden patterns in the form of significant features, correlations, trends and templates. Modern data extraction systems use artificial intelligence-based methods of representation and interpretation, which allows them to find dissimilar in terabyte repositories of not obvious but very valuable information. In fact, we are talking about the fact that in the process of data mining, the system does not retreat from the hypotheses put forward, but offers them on the basis of analysis itself.

Setting up tasks. Traditional mathematical statistics, which for a long time claimed to be the main tool for data analysis, did not meet the emerging problems. The main reason - the concept of averaging by sampling, which leads to operations on fictitious quantities. Methods of mathematical statistics proved to be useful mainly for testing pre-formulated hypotheses and for "rough intelligence analysis," which forms the basis of operational analytical processing of OLAP data.

Data Mining is a multidisciplinary field that arose and develops based on the achievements of applied statistics, image recognition, methods of artificial intelligence, database theory. Hence the abundance of methods and algorithms implemented in various existing Data Mining systems. Many of these systems integrate at once several approaches. However, as a rule, each system has a key component on which the main rate is made.

Data Mining is a collection of many different methods of acquiring knowledge. The choice of

method often depends on the type of data available and on what information is to be obtained.

The basis of modern Data Mining technology is the concept of templates (patterns), which reflect fragments of multidimensional relationships in the data. These patterns are regularities inherent in sub-types of data, which can be compactly expressed in a form that is understandable to a person. The search for templates is carried out using methods that are not bounded by the framework [1].

Analysis of recent researches and publications. The basis of modern technology Data Mining is the concept of patterns that represent the fragments of multidimensional data relationships. These patterns are regularities inherent in sub-types of data, which can be compactly expressed in a form that is understandable to a person. The search for stem cells is carried out using methods not limited by the a priori assumptions about the structure of the sample and the type of distribution of the values of the analyzed parameters.

It should be immediately determined that the scope of use of Data Mining is unlimited - it is everywhere where there is any data. There are two areas in which Data Mining can be used: as a mass product and as a tool for unique research. Now Data Mining technology is used in virtually all areas of human activity, where retrospective data is accumulated. Let's consider four main areas of application of Data Mining technology in more detail: science, business, retail and Web-direction [1,5,7].

Data mining methods can be used both for working with large data, and for processing relatively small amounts of data (obtained, for example, from the results of individual experiments, or when analyzing data on the company's activities). As a criterion for a sufficient amount of data, both the research area and the applied analysis algorithm are considered.

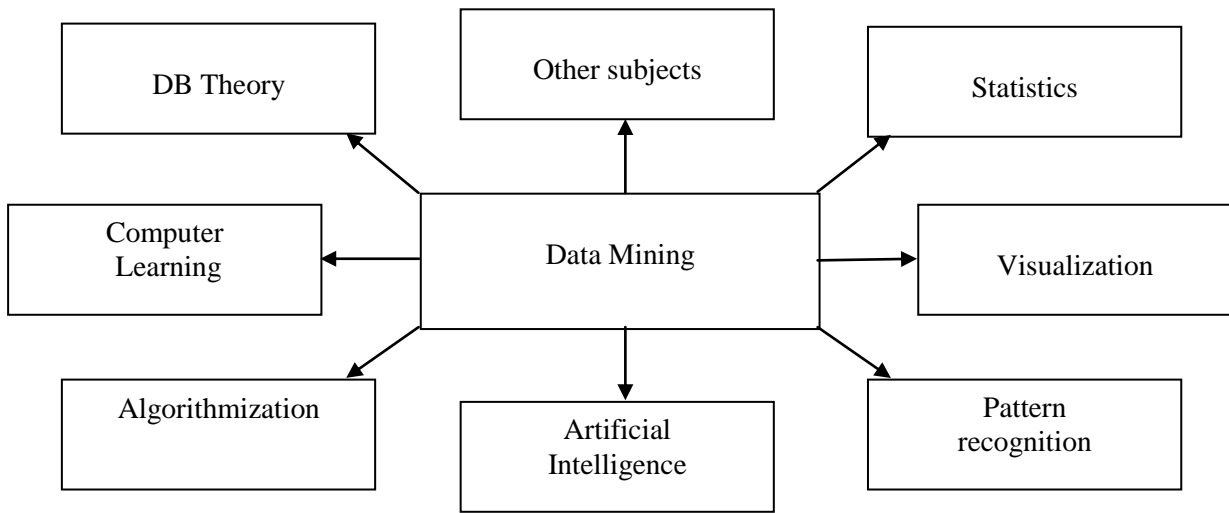
The development of database technologies first led to the creation of a specialized language - the language of queries to databases. For relational databases, this is SQL language, which provided ample opportunities for creating, changing and retrieving stored data. Then, it became necessary to obtain analytical information (for example, information on the activity of the enterprise for a certain period), and it turned out that traditional relational databases, well adapted, for example, to keep the company operational, are poorly suited for analysis. This led, in turn, to the creation of so-called. "Data warehouses", the very structure of which is the best way to conduct comprehensive mathematical analysis.

The traditional methods of data analysis (statistical methods) and on-line analytical processing of OLAP (OnLine Analytical Processing) are mainly aimed at verifying the verified driven data mining and on the "rough" intelligence analysis that forms the basis of OLAP at that time as one of the main postulates of Data Mining is the search for non-obvious laws. Data Mining tools can find these patterns independently and also independently build hypotheses about interconnections. Since it is precisely the formulation of the dependency hypothesis that is the most difficult task, the advantage of Data Mining in comparison with other methods of analysis is obvious.

Most statistical methods for identifying relationships in data use the concept of averaging by sampling, which results in operations on non-existent values, while Data Mining operates with real values.

OLAP is more suitable for understanding retrospective data, Data Mining is based on retrospective data to answer questions about the future.

Basic material presentation. The algorithms used in Data Mining require a large number of computations. Previously, this was a deterrent to the widespread use of Data Mining, but today's growth in performance of modern processors has eliminated the severity of this problem. Now for a reasonable time, you can conduct a qualitative analysis of hundreds of thousands and millions of records. Data Mining is an interdisciplinary industry that originated and developed on the basis of such sciences as applied statistics, image recognition, artificial intelligence, database theory, etc. (Dr. 1 [1]).

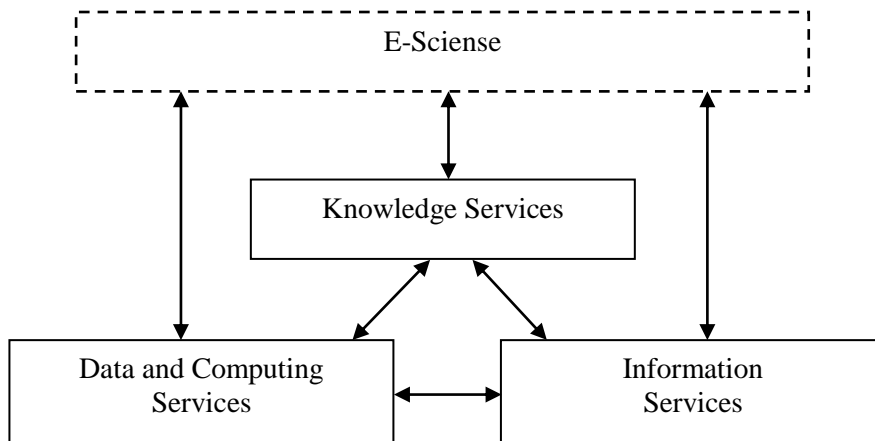


Dr. 1. Data Mining as an interdisciplinary field

Data Mining's potential gives a "green light" to expanding the scope of this technology. As for the prospects for Data Mining, the following development directions are possible [2]:

- selection of types of subject fields with their heuristics, formalization of which will facilitate the decision of the relevant Data Mining tasks related to these industries;
- creation of formal languages and logical means by which formalizing considerations and automation of which will become a tool for solving Data Mining tasks in specific subject areas;
- creation of methods of Data Mining, capable not only to "extract" from the data of the laws, but also to form some theories, which are based on empirical data;
- overcoming the significant lagging of the capabilities of the toolkit Data Mining from the theoretical advances in this area.

Looking at the future of Data Mining in the short term, it is obvious that the development of this technology is mostly directed at the industry related to Grid-systems for E-Science [3]. E-Science features characterize the computing infrastructure, which consists of three conceptual levels (Dr. 2).



Dr 2. Three-level architecture of Grid-services

1. Data / computing services. This level contains information about the location of the computing resources allocated to the calculation, and on the means of transferring data between different computing resources. It can process large volumes of data, providing fast networks, and provide diverse resources as a single metacomputer [4].

2. Information services. Indicates how information is transmitted stored, who has access to it. Here the information acts as data with value. For example, the identification of an integer as the temperature of the reaction process, the recognition that the string is the name of a person.

3. Knowledge services. Provides a way in which knowledge is acquired, used, found, published, to help users achieve their specific goals. Here, knowledge is provided as information used to achieve a

goal, solve a problem or make a decision.

The concepts considered are an integral part of the so-called information pyramid, which is based on data, the next level - information, then goes the solution, completes the pyramid level of knowledge.

Grid systems that are already built or built will contain some elements of all three levels. The degree of importance of using these levels will be determined by the user. Thus, in some cases, the processing of huge amounts of data will be a dominant task, while in other cases, the maintenance of knowledge - the main problem. So far, most of the Grid research work has focused on the level of data / computing and on the information level. At the same time, there are still many unresolved issues relating to the management of large-scale distributed computing and the effective access and dissemination of information from heterogeneous sources. It is believed that the full potential of Grid computing can only be acquired through long-term exploitation of the functionality and capabilities provided by the level of knowledge. Therefore, this level is required for automated direct simple access to operations and interactions. It's time for scientists and engineers to oppose Data Mining as an instrument for research (genetics, chemistry, medicine, nanotechnology). Developers of the national Grid infrastructure of Ukraine link the future of Data Mining with their use as Grid of intelligent applications embedded in virtual or corporate data warehouses, as well as in the network of World Data Centers [5-6].

The Data Mining Potential gives "green light" to extend the scope of technology. As for the prospects of Data Mining, the following development areas are possible:

- allocation of types of subject areas with corresponding heuristics, formalization of which will facilitate the corresponding Data Mining tasks related to these areas;
- creation of formal languages and logical means by which formalizing considerations and automation of which will become a tool for solving Data Mining tasks in specific subject areas;
- creation of Data Mining methods, capable not only of obtaining data from regularities, but also to form certain theories based on empirical data.
- to overcome the essential lagging of the capabilities of Data Mining toolkits on theoretical achievements in this field [7].

Looking at the future of Data Mining in the short term, it's obvious that the development of this technology is most directed to areas related to business. In the short term, Data Mining products can become as common and necessary as e-mail, and for example, be used by users to find the lowest prices for a particular product or the cheapest ticket.

In the long run, the future of Data Mining is really exciting - it may be the search for intelligent agents as new types of treatment for various diseases, as well as a new understanding of the nature of the universe.

However, Data Mining also has a potential danger - as more and more information becomes available on the Internet, including information of a private nature, and more and more knowledge can be obtained from it.

Before using data mining algorithms, it is necessary to prepare a set of analyzed data. Since the IAP can detect only the patterns that are present in these data, the initial data on one side must have a sufficient volume so that these patterns are present in them, and on the other - be compact enough that the analysis takes an acceptable time. Most often, data warehouses or data marts are used as input data. Preparation is required for the analysis of multidimensional data prior to clustering or data mining.

Then the data is cleared. Cleaning removes samples with noise and missing data. The cleared data are reduced to feature sets (or vectors, if the algorithm can only work with vectors of fixed dimension), one set of characteristics for observation. A set of attributes is formed in accordance with the hypotheses about which characteristics of raw data have a high predictive power in relation to the required processing power for processing. For example, a black and white face image of 100×100 pixels contains 10,000 bits of raw data. They can be transformed into a feature vector by detecting in the image the eyes and mouth. As a result, the data volume decreases from 10 thousand bits to the list of location codes, significantly reducing the amount of data analyzed, and hence the analysis time [8-9].

A number of algorithms are able to process missed data that have predictive power (for example, the customer does not have purchases of a certain type). For example, when using the method of associative rules, English is not processed by attribute vectors, but by sets of variable dimension.

The choice of the objective function will depend on what is the purpose of the analysis; The choice of a "correct" function is fundamental to the successful intellectual analysis of data. Observations fall into two categories: the training set and the test set. The training set is used to "learn" the data mining algorithm, and the test set is used to test the found patterns [10].

Conclusion. An important position in Data Mining is the non-triviality of wanted templates. This

means that the found patterns should reflect non-obvious, unexpected (unexpected) regularities in the data, constituting so-called hidden knowledge (hidden knowledge). It has come to the understanding that raw data (raw data) contains a deep layer of knowledge, with a competent excavation of which true nuggets can be found.

The scope of Data Mining is unlimited - it's wherever there is any data. But in the first place Data Mining methods were intrigued by commercial enterprises today. The experience of many of these companies shows that the effect of using Data Mining can reach 1000%. For example, the annual savings of the UK supermarket network at the expense of Data Mining's implementation is 700,000. Data Mining is of great value for executives and analysts in their day-to-day business. It's time for scientists and engineers to seize Data Mining as an instrument for research (genetics, chemistry, medicine, nanotechnology, etc.). Developers of the national Grid infrastructure of Ukraine link the future of Data Mining with its use as Grid-intelligence added to the virtual or corporate data warehouses as well as to the World Data Centers network. But an interdisciplinary task requires the integration of the efforts of Ukrainian specialists (maybe within the framework of the relevant state program) that work in universities and academic institutions and are well-known in mathematical methods and have the experience of creating many unique information processing algorithms to create modern Data Mining with broad opportunities.

References

1. Barseghyan F. Methods and models of data analysis of OLAP and DataMining. / Barseghyan F., Kupriyanov M., Stepanenko V., Kholod I. - SPb BHV-Petersburg, 2008.
2. Chubukova I.A. Data Mining: a Manual. - M.: Internet University of Information Technologies: BINOM: Knowledge Lab, 2006. - 382 p. (<http://www.intuit.ru/department/database/datamining/>)
3. Data Mining and Image Processing Toolkit. - <http://datamining.itsc.uah.edu/adam/>.
4. Dyuk V. Data Mining: the course (+ CD) / Dyuk V., Samoilenko A. - St. Petersburg: Izd. Peter, 2001. - 368 pp.
5. Knowledge Discovery Through Data Mining: What Is Knowledge Discovery? - Tandem Computers Inc., 1996.
6. Krechetov N. Products for the analysis of data. - // Market of Software, N14-15_97, c. 32-39
7. Kiselev M. Means of obtaining knowledge in business and finance / Kiselev M., Solomatin E. - // Open Systems, No. 4, 1997, p. 41-44.
8. Pertrenko A.I. Grid and intelligent data mining. / A.I. Pertrenko // System Research & Information Technologies, 2008, No. 4 97-110.
9. Methods and models for data analysis OLAP and Data Mining / F. Barseghyan, M. Kupriyanov, V. Stepanenko, I. Kholod. - SPb.: BHV. - 2008 - 267 pp.
10. Data Mining, Web Mining, Text Mining, and Knowledge Discovery. - <http://www.kdnuggets.com>.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018

УДК 667.64:678.026

А.В. Букетов, А.В. Сапронова, О.В. Лещенко, О.С. Голотенко, А.О. Василенко

*Херсонська державна морська академія***ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ РІЗНИМ ВМІСТОМ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК МЕТОДОМ ІЧ-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ**

Методом ІЧ-спектрального аналізу досліджено процес структуроутворення композитних матеріалів із різним вмістом вуглецевих нанотрубок. Вміст нанодисперсного наповнювача змінювали у межах $q = 0,010 \dots 0,050$ мас.ч. Встановлено зміну параметрів інтенсивності пропускання, напівширини і площі смуг поглинання, що характеризує різну кількість хімічних зв'язків у полімері. Показано, що за малого вмісту нанотрубок відбувається поліпшене структуроутворення, пов'язане із зміною кінетики зшивання полімеру. При цьому додатково утворюються -СН-, -NH- групи і первинні аміногрупи -NH₂, що забезпечує формування матеріалів із максимальним ступенем зшивання.

Ключові слова: нанотрубки, епоксидний композит, ІЧ-спектральний аналіз, площа смуг поглинання.

А.В. Букетов, А.В. Сапронова, А.В. Лещенко, О.С. Голотенко, А. Василенко

*Херсонская государственная морская академия***ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛЛОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

Методом ИК-спектрального анализа исследован процесс структурообразования композитных материалов с различным содержанием углеродных нанотрубок. Содержание нанодисперсного наполнителя меняли в пределах $q = 0,010 \dots 0,050$ мас.ч. Установлено изменение параметров интенсивности пропускания, полуширины и площади полос поглощения, характеризующие разное количество химических связей в полимере. Показано, что при малых концентрациях нанотрубок происходит улучшенное структурообразование, что связано с изменением кинетики сшивания полимера. При этом дополнительно образуются -СН-, -NH- группы и первичные аминогруппы -NH₂, что обеспечивает формирование материалов с максимальной степенью сшивания.

Ключевые слова: нанотрубки, эпоксидный композит, ИК-спектральный анализ, площадь полос поглощения.

A.V. Buketov, A.V. Saproнова, O.V. Leshchenko, O. Golotenko, A. Vasilenko

*Kherson State Maritime Academy***RESEARCH OF THE STRUCTURALIZATION PROCESS COMPOSITE MATERIALS WITH VARIOUS CONTENT OF CARBON NANOTRUBS BY IR-SPECTRA ANALYSIS**

As the main component for the binder in the formation of epoxy composites, an epoxy oligomer of the mark ED-20 has been selected, which is characterized by high adhesion and cohesive strength, slight shrinkage and technological efficiency when applied on the longitudinal surfaces of the complex profile. For crosslinking of epoxy compositions, polyethylenepolyamine PEPA has been used, which allows to assert materials at room temperatures. The process of structuring of composite materials with different content of carbon nanotubes is investigated by the method of IR-spectral analysis. The content of the nanodispersed filler was changed within the range of $q = 0,010$ to $0,050$ parts by weight. A change in the parameters of the transmittance intensity, half width and area of absorption bands, which characterizes different amounts of chemical bonds in the polymer, is established. It is shown that at low concentrations of nanotubes an improved structure formation is associated with a change in the kinetics of crosslinking the polymer. In addition, -СН-, -NH-groups and primary amino groups -NH₂ are formed additionally, which ensures the formation of materials with a maximum degree of stitching.

Key words: nanotubes, epoxy composite, IR-spectral analysis, area of absorption bands.

Постановка проблеми. На сьогодні опубліковано значну кількість наукових праць, присвячених розробленню і дослідженню полімерів, які характеризуються підвищеними експлуатаційними характеристиками [1-5]. При цьому показано, що введення у зв'язувач добавок різної фізико-хімічної природи і дисперсності, дозволяє отримувати матеріали із широким спектром поліпшених властивостей. Водночас значущим є дослідження структури наповнених полімерних систем, що дозволяє проаналізувати особливості перебігу фізико-хімічних процесів зшивання композитних матеріалів. Це дозволяє визначити оптимальний вміст добавок при формуванні нових полімерних матеріалів і захисних покриттів на їх основі [1-6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із ефективних сучасних методів дослідження структури полімерів є ІЧ-спектральний аналіз. В інфрачервоній спектроскопії найбільш широкого поширення набуло дослідження ІЧ-спектрів поглинання, які виникають у результаті поглинання ІЧ-випромінювання при проходженні через речовину. Це поглинання носить селективний характер і відбувається на тих частотах, які збігаються з деякими власними

частотами коливань атомів у молекулах речовини або із частотами обертання молекул [8-11]. Отже, дослідження процесу формування наноконструктивів із використанням сучасних методів дослідження (ІЧ-спектральний аналіз), дозволить розширити спектр використання нових матеріалів у різних умовах експлуатації.

Мета роботи – встановити закономірності перебігу фізико-хімічних процесів при структуроутворенні епоксидних наноконструктивів.

Методика дослідження. Основним компонентом для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується комплексом покращених властивостей порівняно з іншими відомими реактопластами, а саме: високою міцністю адгезійних з'єднань до металеві основи, можливістю затвердження при низьких температурах, малою усадкою та ін.

Для зшивання епоксидних композицій використовували твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), який дозволяє зшивати матеріали при кімнатних температурах.

Як наповнювач для експериментальних досліджень використано вуглецеві нанотрубки (ВНТ) з дисперсністю 5 нм. Вміст наповнювача змінювали в межах $q = 0,010 \dots 0,100$ мас.ч.

Аналіз ІЧ-спектрів проводили за законом Ламберта-Бера, враховуючи при цьому значення інтенсивності пропускання ($T, \%$) і напівширини (b), площі (S) смуг поглинання на спектрах матеріалів. Розшифровували ІЧ-спектри за методиками [5-8]. ІЧ-спектри реєстрували на спектрофотометрі марки «IRAffinity-1» (Японія) у ділянці хвильових чисел $\nu = 400 \dots 4000 \text{ см}^{-1}$ однопроменевим методом у відбитому світлі. Розгортку спектру за хвильовими числами $\lambda^{-1} = \nu$ здійснювали на діаграмі в межах 225 мм у діапазоні вибраних чисел. Хвильові числа, інтенсивність пропускання, напівширину і площу смуги поглинання визначали за допомогою комп'ютерної програми IRsolution. Похибка при визначенні хвильового числа – $\nu = \pm 0,01 \text{ см}^{-1}$, а при визначенні точності розташування піку – $\nu = \pm 0,125 \text{ см}^{-1}$. Фотометрична точність становила $\pm 0,2 \%$ при програмному управлінні щільною і тривалістю інтегрування – $t = 10$ с. Крок інтегрування – $\Delta\lambda = 4 \text{ см}^{-1}$. Проводили ІЧ-спектральний аналіз наноконструктивів із різним вмістом часток. Матеріал попередньо подрібнювали, висушували при температурі $T = 373 \pm 2 \text{ К}$ впродовж часу $t = 20$ хв, перемішували у агатовій ступці з порошком КВг, а далі на гідравлічному пресі із навантаженням $\sigma = 20 \text{ МПа}$ формували зразки за співвідношення: досліджуваній матеріал – 1 мг, КВг – 300 мг.

Експериментальні результати. ІЧ-спектральний аналіз композитних матеріалів (КМ) наповнених частками вуглецевих нанотрубок (ВНТ) дозволив встановити зміну наступних параметрів: інтенсивності пропускання ($T, \%$), напівширини ($b, \text{см}^{-1}$) і площі ($S, \%$) смуг поглинання, що характеризує різну кількість хімічних зв'язків у полімері. Очевидно, це пов'язано із особливостями хімічної взаємодії активних центрів наночасток із макромолекулами і сегментами епоксидного олігомеру. Тому, проводили дослідження параметрів $T(\%), b(\text{см}^{-1}), S(\%)$ при різному вмісті ВНТ у композитному матеріалі ($q = 0,010 \dots 0,100$ мас.ч.)³

Аналіз ІЧ-спектрів (рис. 1, табл. 1) дозволив виявити зміщення смуги поглинання при $\nu = 732,35 \text{ см}^{-1}$ у бік менших хвильових чисел (відносно епоксидної матриці) на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ за вмісту $q = 0,010$ мас.ч. і $q = 0,025$ мас.ч. ВНТ. При цьому максимальне значення інтенсивності пропускання ($T = 34,3\%$), напівширини ($b = 14,7 \text{ см}^{-1}$) і площі ($S = 17,5\%$) смуг поглинання при $\nu = 732,35 \text{ см}^{-1}$ характерне для епоксидного композиту із вмістом $q = 0,010$ мас.ч. ВНТ. Додатково встановлено зміщення смуг поглинання при $\nu = 767,67 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ КМ за всіх концентрацій ВНТ. Очевидно це свідчить про взаємодію зв'язувача із зв'язками С-Н нанодобавки та надмолекулярну організацію структури полімеру. Збільшення відносної площі піку (рис. 1, спектр 2) до $S = 60,4\%$ при $\nu = 837,11 \text{ см}^{-1}$ свідчить про активацію аміногруп зв'язувача до міжфазової фізико-хімічної взаємодії, при цьому зростає ступінь зшивання композитного матеріалу.

Додатково встановлено, що в спектрах КМ із вмістом ВНТ у кількості $q = 0,010 \dots 0,050$ мас.ч. підвищується інтенсивність смуг поглинання і відповідно параметрів b, S при хвильових числах $\nu = 1261,45 \text{ см}^{-1}, \nu = 1516,05 \text{ см}^{-1}, \nu = 1612,49 \text{ см}^{-1}, \nu = 1747,51 \dots 2063,83 \text{ см}^{-1}$ (табл. 1).

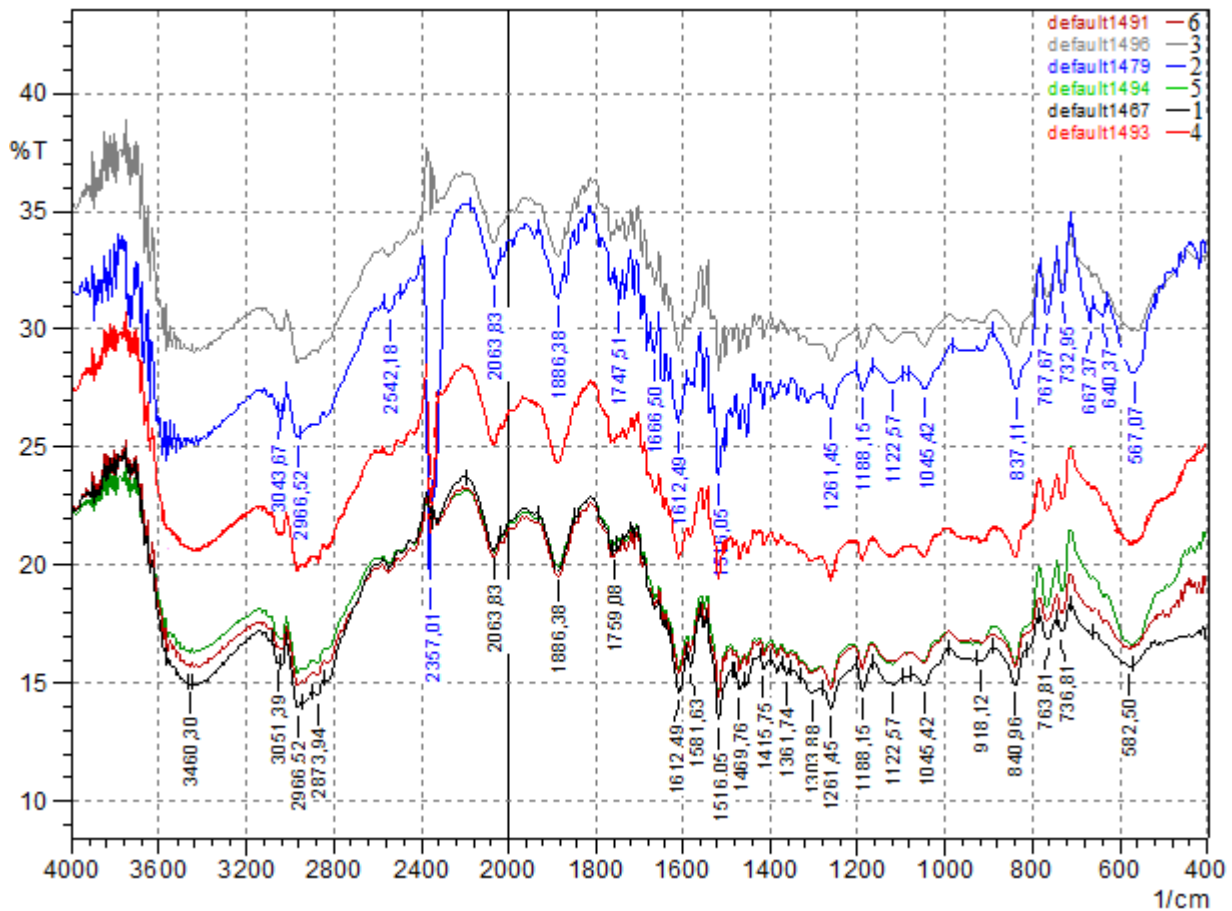


Рис. 1. ІЧ спектральний аналіз КМ із різним вмістом ВНТ, мас.ч.: 1 – епоксидна матриця; 2 – 0,010; 3 – 0,025; 4 – 0,050; 5 – 0,075; 6 – 0,100

Зміна параметрів T , b , S свідчить про те, що відбувається перерозподіл значної кількості зв'язків у граничному шарі, а також зшивання зв'язків C-O, C=O, C-OH наповнювача із епоксидними і гідроксильними групами епоксидного зв'язувача.

Зменшення параметрів T , b , S у діапазоні хвильових чисел $\nu = 732,35 \dots 2063,83 \text{ см}^{-1}$ свідчить про незначний вплив нанотрубок за вмісту $q = 0,075 \dots 1,000$ мас.ч. на надмолекулярну організацію структури полімеру. Очевидно, що вуглецеві нанотрубки схильні до агрегації, яка в більшій мірі проявляється за високих концентрацій. При цьому дія вказаних наповнювачів на внутрішньо- та міжмолекулярну будову виявляється незначною, що узгоджується із результатами досліджень [5-8, 9-14]. Лише за незначного вмісту нанотрубок ($q = 0,010 \dots 0,050$ мас.ч.) відбувається поліпшене структуроутворення, пов'язане із зміною кінетики зшивання полімеру. При цьому додатково утворюються -CH-, -NH- групи і первинні аміногрупи -NH₂, про що свідчить поява смуг поглинання при $\nu = 640,37 \text{ см}^{-1}$ і $\nu = 667,37 \text{ см}^{-1}$. Додатково встановлено, що в процесі структуроутворення КМ приймають участь групи -C≡N-, поза як спостерігали утворення смуги поглинання $\nu = 2357,01 \text{ см}^{-1}$ (рис. 1, спектр 2 і спектр 4) сильної інтенсивності. Наявність групових частот викликано тим, що в такому коливанні найбільшу участь приймає активована група молекул, при цьому змінюються довжини усіх зв'язків і величини кутів між ними.

Поява на ІЧ-спектрах КМ смуги поглинання при хвильовому числі $\nu = 2970,38 \text{ см}^{-1}$, та зміщення її у бік більших хвильових чисел на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ свідчить, що в реакціях полімеризації не повністю беруть участь групи -CH- і метиленового радикалу -CH₂- за вмісту $q = 0,075 \dots 0,100$ мас.ч.

Особливу увагу необхідно звернути на смуги поглинання у області хвильових чисел $\nu = 2873,84 \dots 3498,87 \text{ см}^{-1}$. Їхнє зміщення, а також збільшення характеристик параметрів T , b , S у свідчить про активацію перебігу фізико-хімічних процесів зшивання КМ. Відомо [7, 8], що процес формування епоксидних КМ супроводжується руйнуванням і водночас активацією епоксидних, зростанням кількості гідроксильних, а також утворенням у вихідному олігомері незначної кількості карбонільних груп. При подальшому зшиванні це приводить до збільшення густини просторової сітки полімеру.

Таблиця 1

Характеристичні смуги поглинання і параметри їх інтенсивності згідно ІЧ-спектрального аналізу

Характеристики смуги		Вміст ВНТ, q , мас.ч.																	
		Матриця			0,010			0,025			0,050			0,075			0,100		
Група	ν , см^{-1}	T , %	b , см^{-1}	S , %	T , %	b , см^{-1}	S , %	T , %	b , см^{-1}	S , %	T , %	b , см^{-1}	S , %	T , %	b , см^{-1}	S , %	T , %	b , см^{-1}	S , %
-CH ₂ -група, пара бензол	567,07	26,3	47,82	43,8	30,1	60,2	61,2	29,1	59,7	58,4	28,1	59,2	57,3	28,2	60,0	58,1	28,2	59,3	57,7
-NH-, -CH- маятникові коливання, первинні аміни: -NH ₂ , CH ₂ -NH ₂	732,95	-	-	-	34,3	14,7	17,5	34,3	14,7	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-NH-, -CH- маятникові коливання, первинні аміни: -NH ₂ , CH ₂ -NH ₂	736,81	31,4	11,8	15,0	-	-	-	-	-	-	31,4	11,8	15,0	31,4	11,8	15,0	30,3	10,7	13,9
-NH-, -CH- маятникові коливання, первинні аміни: - NH ₂ , CH ₂ -NH ₂	763,81	29,6	21,9	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-NH-, -CH- маятникові коливання, первинні аміни: -NH ₂ , CH ₂ -NH ₂	767,67	-	-	-	33,7	26,4	21,7	33,7	26,4	21,7	30,5	23,7	19,3	30,5	23,7	19,3	30,5	23,7	19,3
-NH-, -CH- маятникові коливання, -C-C- валентні коливання, первинні аміни: CH ₂ -NH ₂ , CH- NH ₂ , епоксидикл,	837,11	-	-	-	31,4	64,6	60,4	27,9	62,7	58,3	27,4	62,1	57,9	27,4	62,1	57,9	27,4	62,1	57,9

-NH-, -CH- маятникові коливання, -C-C- валентні коливання, первинні аміни: CH ₂ -NH ₂ , CH- NH ₂ , епоксидикл,	840,96	27,4	62,1	57,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-OH- деформаційні коливання, -C-N-, -C-O- валентні коливання, епоксидикл, первинні аміни: -NH ₂	1261,45	26,0	20,7	43,2	26,2	20,9	43,8	26,2	20,9	43,8	26,0	20,7	43,2	26,0	20,7	43,2	26,0	20,7	43,2
-NH- деформаційні коливання, вторинні аміни: - HN-R, CH-NH-CH, CH ₂ -HN-CH ₂	1516,05	21,3	16,9	12,6	25,6	18,6	16,3	24,9	18,0	15,8	23,8	17,5	13,8	23,8	17,5	13,8	23,8	17,5	13,8
Валентні коливання атомів вуглецю C=C, -NH ₂ первинні аміни: -CH ₂ -NH ₂ аміди: -CO-NH ₂	1612,49	23,5	13,2	20,1	23,5	13,2	20,1	23,5	13,2	20,1	25,9	14,8	21,9	23,5	13,2	20,1	23,5	13,2	20,1
Карбонільна група C=O	1747,51	-	-	-	32,0	8,8	10,2	30,7	7,9	9,5	31,0	8,0	9,6	31,0	8,0	9,6	31,0	8,0	9,6
Карбонільна група C=O	1759,08	31,0	8,0	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Валентні	1886,38	31,3	53,1	30,0	32,3	54,4	32,4	32,3	54,4	32,4	31,3	53,1	30,0	31,3	53,1	30,0	31,3	53,1	30,0

коливання епоксидної групи																			
-C≡N- валентні коливання, алкінна група: -C≡C-H	2063,83	32,0	78,9	67,7	32,7	79,1	68,3	32,7	79,0	68,0	32,0	78,9	67,7	32,0	78,9	67,7	32,0	78,9	67,7
-C≡N- валентні коливання	2357,01	-	-	-	23,4	53,6	30,1	-	-	-	19,5	49,7	26,9	-	-	-	-	-	-
-CH- валентні коливання, метиловий радикал CH ₃ -C, метилен -CH ₂ -	2966,52	25,2	59,7	35,9	25,2	59,7	35,9	25,2	59,7	35,9	25,2	59,7	35,9	-	-	-	-	-	-
-CH- валентні коливання, метиловий радикал CH ₃ -C, метилен -CH ₂ -	2970,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,2	59,7	35,9	25,2	59,7	35,9
-OH, -NH- валентні коливання	3460,30	24,8	371,1	73,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,8	371,1	73,8	24,8	371,1	73,8
-OH, -NH- валентні коливання	3498,87	-	-	-	26,3	391,8	88,8	24,8	371,1	73,8	84,3	381,4	81,2	-	-	-	-	-	-

Очевидно, цим пояснюється максимальне зростання параметрів T , b , S у області хвильових чисел $\nu = 2873,84 \dots 3498,87 \text{ см}^{-1}$ для КМ із частками ВНТ за вмісту $q = 0,010 \text{ мас.ч.}$ і $q = 0,050 \text{ мас.ч.}$ (табл. 1.).

Висновок. Аналіз ІЧ-спектрів композитних матеріалів, наповнених вуглецевими нанотрубками, дозволив встановити, що при введенні добавки в межах $q = 0,010 \dots 0,050 \text{ мас.ч.}$ змінюється надмолекулярна організація структури полімеру, що зумовлює активацію і наступну взаємодію макромолекул з активними центрами на поверхні часток з утворенням нових хімічних зв'язків. Це забезпечує формування матеріалу із максимальним ступенем зшивання, а, отже, і стабільними значеннями фізико-механічних властивостей у процесі експлуатації нових матеріалів.

Література

1. Buketov. A. V. Mechanical Characteristics of Epoxy Nanocomposite Coatings with Ultradisperse Diamond Particles / A. V. Buketov, N. A. Dolgov, A. A. Sapronov, V. D. Nigalatii, N. V. Babich // Strength of Materials. – Vol. 49, No 3. – 2017. – P.473-480.
2. Buketov A. Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Sapronov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin // Transport – 2016. – Vol. – 31(3). – P. 333-342.
3. Smirnov Yu.N. Formation of strength properties of model glue joints based on epoxy-amine binders operating by the polymerization mechanism Yu.N.Smirnov, B.A.Komarov, T.E.Shatskaya, V.I.Natrusov Russian Journal of Applied Chemistry. – 2003. – Т.76. – №12. – 2013 – P.2009.
4. Hoheisel T.N. Nanostructured carbonaceous materials from molecular precursors / T.N. Hoheisel, S. Schrettl, R. Szilluweit et al. // Angew. Chem. Int. Ed. – 2010. –49, № 37. – P. 6496-6515.
5. Sapronov O. O. Features of structural processes in epoxy composites filled with silver carbonate on increase in temperature / O. O. Sapronov, A. V. Buketov, D. O. Zinchenko, V. M. Yatsyuk // Composites: Mechanics, Computations, Applications. An International Journal – 2017. – Vol. – 8(1) . – P. 47-65.
6. Buketov A. Investigation of thermophysical properties of epoxy Nanocomposites // A.Buketov, P.Maruschak, O.Sapronov, M.Brailo, O.Leshchenko, L.Bencheikh, A.Menou. Molecular Crystals and Liquid Crystals. – 2016. – Vol. – 628. – P. 167-179.
7. Казицына Л.А. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии: учеб. пособие [для вузов] / Л.А. Казицына, Н.Б. Куплетская. – М.: Высш. школа, 1971. – 264 с.
8. Рабек Я.Р. Экспериментальные методы в химии полимеров: пер. с англ. под ред. В.В. Коршака. – М.: Мир, 1983. – Ч.1. – 384с.
9. Сапронов О.О. Дослідження адгезійних і фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів, наповнених нанотрубками / О.О. Сапронов, О.С. Рожков, О.В. Лещенко, О.С. Голотенко // Науковий вісник ХДМА, 2014. – №2(11). – С. 197-202.
10. Kearns I.K. Polypropylene fibers reinforced with carbon nanotubes / I.K. Kearns, R.L. Shambaugh // J. Appl. Polym. Sci. 2002. – V. 86. – p. 2079-2084.
11. Andrews R. Nanotube composite carbon fibers / R. Andrews, D. Iacques, A.M. Rao, T.Rantell, F. Derbyshire. Y. Chen, I. Chen, R.C. Haddon // Appl. Phys. Lett. 1999. – V. 75. – p. 1329-1331.
12. Низина Т.А. Оптимизация свойств эпоксидных композитов, модифицированных наночастицами / Т.А.Низина, П.А.Кисляков // Строительные материалы. – 2009. –№ 9. – С.78-80.
13. Низина Т.А. Экспериментальные исследования упруго-прочностных характеристик эпоксидных композитов, модифицированных наночастицами / Т.А.Низина, П.А.Кисляков, Н.М.Кузнецов // Строительство, архитектура, дизайн. – 2009. – Вып. 1 (5). – С. 23-32.
14. Brooker R.D. The morphology and fracture properties of thermoplastic-toughened epoxy polymers / R.D.Brooker, A.J.Kinloch, A.C. Taylor // Journal of Adhesion. 2010.V.86. P. 726-741.

Стаття надійшла до редакції 17.11.2017

УДК 621.311

О.С. Бунке, Р.П. Саков, П.В. Новіков*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»***ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРЕДУМОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТЕЦ**

В статті розглянуто шляхи вирішення наукової проблеми обґрунтування передумов вдосконалення автоматизації процесів управління теплоелектроцентралями, що дозволить розвинути науково-методичний апарат управління складними організаційно-технічними системами на основі врахування особливостей діяльності підприємств конкретної сфери (теплоенергетика) в конкретній країні (Україні) та впровадити аналітико-управлінські процедури стосовно автоматизації процесів управління в практику цих підприємств. Констатовано, що автоматизація процесів управління ТЕЦ повинна забезпечувати: високу надійність і ефективність; достатню повноту і високу вірогідність контролю; високу швидкість реагування на зміни всередині та зовні системи; простоту реалізації системи автоматизації.

Ключові слова: автоматизація, теплоелектроцентрально, ТЕЦ, теплоенергетика, фактори, передумови вдосконалення, детермінанти, ефективність.

*Рис.1 Літ.14.***А.С. Бунке, Р.П. Саков, П.В. Новіков***Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»***ПРОБЛЕМЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЭЦ**

В статье рассмотрены пути решения научной проблемы обоснования предпосылок совершенствования автоматизации процессов управления теплоэлектростанциями, что позволит развить научно-методический аппарат управления сложными организационно-техническими системами на основе учета особенностей деятельности предприятий конкретной сферы (теплоэнергетика) в конкретной стране (Украина) и внедрить аналитико-управленческие процедуры по автоматизации процессов управления в практику этих предприятий. Результаты исследования показывают наибольшее положительное влияние на эффективность автоматизации процессов управления отечественными теплоэлектростанциями предпосылок, связанных с ориентацией на модернизацию, реструктуризацию и подготовку к работе на высококонкурентных рынках в условиях евроинтеграции; ориентацией на ресурсосбережение как основу интенсификации развития и инновационной направленностью инструментария развития автоматизированных систем управления теплоэлектростанциями.

Ключевые слова: автоматизация, теплоэлектростанция, ТЭЦ, теплоэнергетика, факторы, предпосылки совершенствования, детерминанты, эффективность.

O.S. Bunke, P. Novikov, R.P. Sakov*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"***PROBLEMS AND PREREQUISITES FOR IMPROVING AUTOMATION OF COMBINED HEAT POWER PLANT MANAGEMENT PROCESSES**

The research paper deals with the ways of solving the scientific problem of substantiation of the preconditions for improving the automation of the combined heat power plant management processes, which will allow to develop the scientific and methodical apparatus of management of complex organizational and technical systems on the basis of taking into account the peculiarities of activity of enterprises of a specific sphere (heat and power engineering) in a particular country (Ukraine); and to implement analytical and managerial procedures for automating management processes in the practice of these enterprises. It was stated that the automation of combined heat power plant (CHPP) control processes should ensure: high reliability and efficiency; sufficient fullness and high probability of control; high speed response to changes inside and outside the system; the simplicity of implementation of the automation system. The search for scientifically grounded ways of solving the problem of ensuring the development of companies engaged in electrical power engineering aimed at ensuring the optimal use of resources (raw materials, energy, physical and human resources) was carried out, and the automation of CHPP control processes is considered in this context. It is stipulated that technical solutions and software products should provide an integrated approach to the formation of principles and methods for building automated systems, allow to promptly and qualitatively plan the production process, increase the productivity of the CHPP, reduce production costs and improve the quality of products. It is noted in the research paper that the efficiency of functioning of domestic CHPP is conditioned by the use of a certain model representing the configuration and structure of the most important elements and directions for improving the automation of CHPP control processes. The development and improvement of automation of CHPP control processes create opportunities for obtaining sustainable competitive advantages and strengthening market positions, largely on the basis of creating opportunities for the implementation of innovative ideas and approaches through a particular model, which in this case can be considered effective. The research findings show the most positive influence on the efficiency of automation of the management processes of domestic combined heat power plants of the preconditions related to the orientation towards modernization, restructuring and preparation for work on highly competitive markets in the conditions of

European integration; the focus on resource conservation as the basis for intensification of development and innovation orientation of tools for the development of automated control systems for combined heat power plants.

Key words: automation, combined heat power plant (CHPP), heat and power engineering, factors, preconditions of improvement, determinants, efficiency.

Постановка проблеми. В даний час залишається непорушною основа відновлення народного господарства – ефективні наукові дослідження, техніка і технології. Електроенергетика, як важлива ланка матеріального виробництва, не є винятком із загальних принципів економіки. В умовах жорсткої економії матеріальних засобів, істотного скорочення бюджетних асигнувань особливої актуальності і практичного значення набувають питання вдосконалення автоматизації процесів управління на теплоелектроцентралях (далі – ТЕЦ) з метою забезпечення потрібного рівня продуктивності виробничого процесу з мінімальними витратами.

У зв'язку з цим зростають вимоги до надійності і ефективності функціонування цих систем в процесі їх цільового використання.

Зазначені вимоги забезпечуються двома шляхами: 1) через розробку більш досконалих систем, що володіють заданими властивостями на базі конструкторсько-технологічних рішень; 2) через вдосконалення методів і засобів експлуатаційного обслуговування апаратури.

Теорія і практика на сьогоднішній день недостатньо враховує об'єктивно тісний взаємозв'язок і взаємозумовленість двох напрямків. Цю прогалину в значній мірі можна усунути, якщо до розробки підходів до автоматизації та систем автоматизації підходити з єдиних системних позицій на загальній математичній, інформаційній та організаційно-управлінській основі.

Незважаючи на те, що існує певна кількість досліджень присвячено темі удосконалення процесів управління і її реалізації на прикладах окремих суб'єктів господарювання, проте, через динамічності зовнішнього середовища, актуалізуються проблеми урахування впливу значної кількості факторів екзогенного і ендогенного характеру на діяльність ТЕЦ [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці теоретико-методологічних основ автоматизації процесів управління, обґрунтування рекомендації по використанню і впровадженню інновацій в цій сфері присвячені роботи таких дослідників, як П.Ф. Буданов, [1; 2], М.А. Дуель [4; 5], А.П. Меренков [8], В.Я. Ротач [10], В.Ф. Скларов [11] та ін. У роботах [12; 13; 14] вивчений механізм інноваційної реструктуризації електроенергетичних компаній, з особливим акцентуванням уваги на використанні автоматизації управління даним процесом. Водночас, питання, що стосується виявлення системних проблем та конкретних передумов вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ залишається поки ще не розкритим в достатній мірі.

Безумовно, наукова спадщина, що існує на сьогоднішній день, є міцним фундаментом для розробки пропозицій щодо вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ. Але, на сьогоднішній день, не дивлячись на актуальність розглянутих питань, наукові розвідки більшою мірою обмежуються проведенням аналізу окремих аспектів структурно-інноваційних змін в технологічних та управлінських процесах електроенергетичних компаній, крім того, в рекомендаціях, що стосуються підвищення ефективності автоматизації процесів управління ТЕЦ [9], переважає вибірковий і фрагментарний підхід.

Аналіз окремих публікацій дозволив встановити, що методичні підходи щодо вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ належним чином не опрацьовані як в науковому, так і в організаційно-практичному аспекті. Про це свідчить відсутність методичних рекомендацій, які б комплексно враховували різні характеристики виробничої, організаційної та управлінської діяльності ТЕЦ.

Таким чином, не заперечуючи важливості попередніх наукових досягнень, особливу значимість в даний час набуває систематизація, уніфікація та вдосконалення методичних і практичних аспектів, що стосуються вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ.

Метою статті є розробка методичних і практичних рекомендацій, що стосуються передумов вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ в контексті проблем та обмежень функціонування вітчизняних ТЕЦ.

Результати дослідження. Основні функції системи автоматизації процесів управління ТЕЦ, на основі дослідження наукових матеріалів, можна представити за наступним переліком [4; 5]:

1. Збір і реєстрація даних, що надходять від об'єкта управління.
2. Зберігання та аналіз цих даних.
3. Реалізація алгоритмів планування виробничо-технологічних процесів.
4. Автоматизоване управління даними процесами.
5. Обробка та інтерпретація результатів автоматизованого управління процесами.

6. Накопичення даних за результатами автоматизації процесів управління ТЕЦ та їх статистична обробка.

7. Оформлення та видача результатів обробки даних у формі, адаптованій для подальшого використання.

В результаті виконання даних функцій забезпечується нормальний експлуатаційний режим автоматизації процесів управління ТЕЦ, який визначається тим, що параметри циклу роботи обладнання ТЕЦ практично відповідають своїм номінальним значенням. Це досягається задіянням систем автоматизованого управління та роботою персоналу, що керує обладнанням ТЕЦ (передусім у позаштатних ситуаціях, коли не передбачено автоматизованого реагування. Метою цього є забезпечення надійної експлуатації з максимальної продуктивності виробничо-технологічних систем ТЕЦ при виробленні заданих обсягів електроенергії.

Відомо, що витрати на експлуатацію елементів і систем ТЕЦ у багато разів перевищують витрати на їх проектування і виробництво. Під експлуатацією систем автоматики розуміється проведення організаційних і технічних заходів, пов'язаних з профілактичним обслуговуванням та ремонтом апаратури, а також підтримання заданого коефіцієнта готовності апаратури [3].

Реальний процес експлуатації систем автоматики істотно впливає на їх надійність і ефективність дії. Заданий їх рівень забезпечується на всьому життєвому циклі технічних систем: етапі проектування, дослідного впровадження, виробництва і експлуатації. Очевидно, найкращим вирішенням проблеми є забезпечення їх надійності та ремонтпридатності вже на найбільш ранньому етапі життєвого циклу – етапі проектування [6]. Зусилля, докладені в цьому напрямку, як і отримані результати, дозволять порушити наявну тенденцію до зростання експлуатаційних витрат ТЕЦ під час збільшення обсягів виробництва електроенергії, тобто, інтенсифікувати виробництво.

Таким чином, створення і експлуатація елементів і систем, що полягає в підтримці необхідних рівнів готовності, надійності і ефективності при мінімальних витратах, є важливою науково-технічною та організаційно-управлінською проблемою.

З вищевикладеного можна зробити висновок, що автоматизація процесів управління ТЕЦ повинна забезпечувати: високу надійність і ефективність; достатню повноту і високу вірогідність контролю; високу швидкість реагування на зміни всередині та зовні системи; простоту реалізації системи автоматизації.

Рішення стосовно автоматизації систем управління ТЕЦ стосуються автоматизації:

- систем комерційного та технічного обліку електроенергії;
- систем телемеханіки підстанцій;
- систем протиаварійної автоматики;
- систем релейного захисту і автоматики;
- диспетчерських систем різного рівня;
- систем збору і передачі інформації;
- систем управління електричними мережами.

Технічні рішення і програмні продукти повинні забезпечувати комплексний підхід до формування принципів і способів побудови автоматизованих систем, дозволяти оперативно і якісно планувати виробничий процес, забезпечувати зростання продуктивності ТЕЦ, зниження витрат виробництва і підвищувати якість продукції.

Проектування та впровадження автоматизації систем управління ТЕЦ дозволяє здійснювати ефективне управління на рівні: систем автоматизації та оптимізації виробництва; автоматизованих систем управління технологічними процесами; автоматизованих систем оперативного диспетчерського управління; автоматизованих систем диспетчерського керування; автоматизованих систем комерційного обліку енергоресурсів; автоматизованих систем технічного обліку енергоресурсів; автоматизованих систем діагностики електрообладнання; автоматизованих систем керування електроприводами; автоматизованих систем контролю і управління спеціального застосування.

Однією з основних проблем автоматизованого управління ТЕЦ є автоматична стабілізація регульованих параметрів в досить широкому діапазоні експлуатаційних навантажень ТЕЦ. Ця проблема пов'язана із широким спектром збурень, які суттєво обмежують можливості стабілізації режимів без участі людини. Водночас, людський фактор також обмежує ефективність технологічних процесів через обмеженість оперативності та точності реагування, що потребує, передусім, вдосконалення процесів автоматизованого управління ТЕЦ.

Іншою проблемою є те, що, у зв'язку з ускладненням систем сучасних ТЕЦ все більш актуальною стає адаптація автоматизованих систем управління ТЕЦ до постійно змінюваних умов роботи обладнання у різних режимах експлуатації, під впливом чинників, які заздалегідь не можуть бути враховані.

Завдання формування автоматизованих систем управління ТЕЦ полягає у визначенні алгоритму реалізації управлінських дій, закладених у схемах, сформованих на підставі функціонального призначення та можливостей окремих елементів виробничо-технологічної системи ТЕЦ, тобто, виходячи з характеру взаємодії окремих елементів цієї системи. Водночас, проблемою є те, що параметри системи визначаються через математичний опис елементів, часто не враховуючи фізичні особливості та реальний стан конкретних елементів системи (обладнання, механізми, сировина, її стан тощо).

Аналіз сучасних напрацювань і експертних звітів дозволяє стверджувати, що на сьогоднішній день не існує набору критеріїв ефективності вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ. Також очевидно, що для кожного управлінського процесу, до якого в тому числі відноситься і вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ, поки не знайдено єдиного вирішення питання про те, який показник необхідно використовувати як головний, узагальнюючий критерій для оцінки ефективності такого вдосконалення.

Відсутність суворої і взаємозалежної системи показників, побудованої на основі використання єдиного методологічного підходу, в якій провідна роль у визначенні ефективності вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ належала б одному критерію і відповідному показнику, природно, вносить певні складнощі в процес планування і управління ТЕЦ як суб'єктами господарювання.

Управління ж «за кінцевим результатом», тобто, шляхом оцінки значення показника (критерію) мети управління, як правило, не дозволяє здійснити функціонування системи на належному рівні через те, що цей показник зазвичай реагує на управляючі впливи з запізненням у часі.

Ефективність функціонування вітчизняних ТЕЦ обумовлюється використанням певної моделі, що представляє конфігурацію та структуру найважливіших елементів та напрямків вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ. Розвиток та вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ створює можливості для отримання ними стійких конкурентних переваг та зміцнення ринкових позицій, значною мірою на основі створення можливостей для реалізації інноваційних ідей і підходів через певну модель, яку у цьому випадку можна вважати ефективною.

Результатом впровадження ефективних систем автоматизованого управління ТЕЦ може стати підвищення продуктивності факторів виробництва, поєднуючи компоненти, що дають синергетичний ефект завдяки посиленню взаємовигідного впливу різних компонентів один на одного. В цьому контексті важливо визначити які з детермінант сприяють створенню засад ефективного функціонування ТЕЦ. Автори даної статті, на основі аналізу теоретико-методичної бази управління, а також досліджень стосовно особливостей проектування автоматизованих систем управління ТЕЦ, пропонують виділити наступні передумови вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ (рис. 1, розроблено авторами).

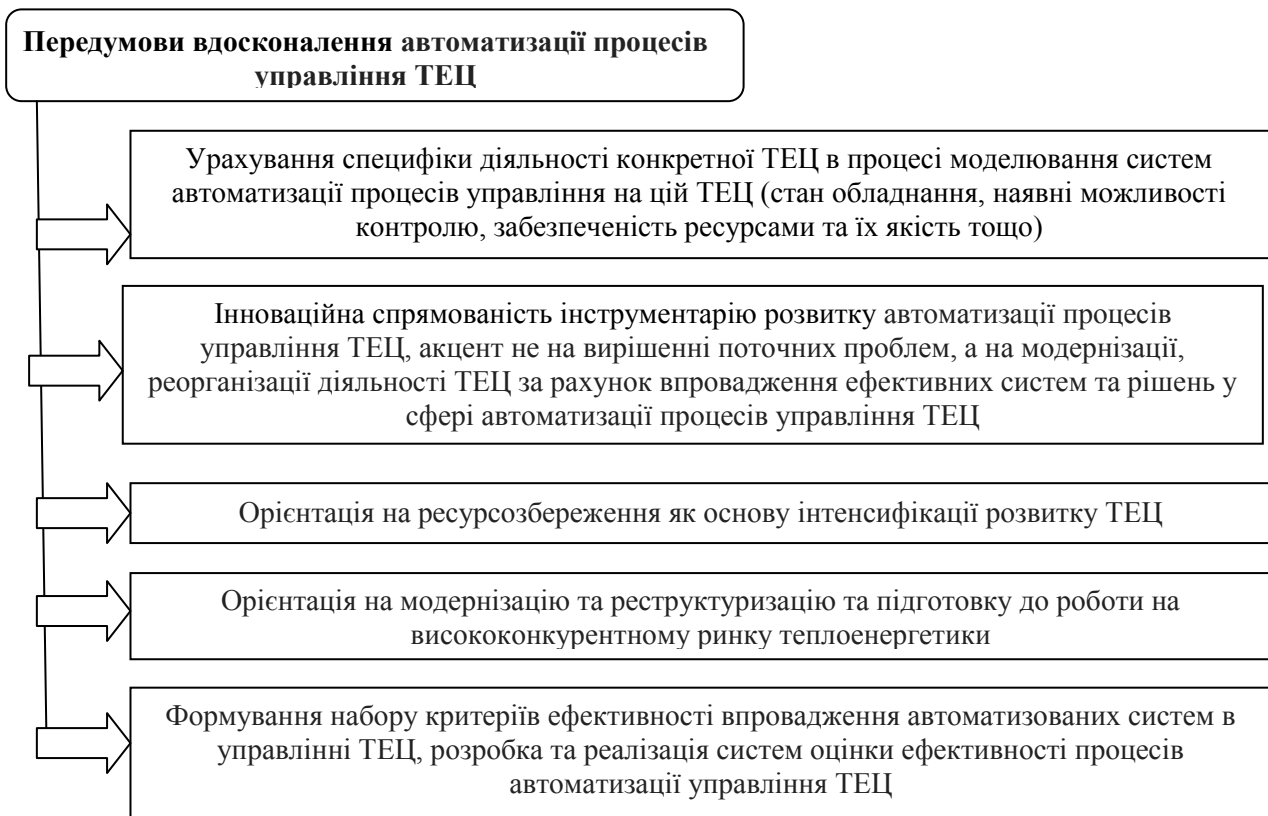


Рис. 1. Передумови вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ

З-поміж передумов вдосконалення автоматизації процесів управління ТЕЦ України доцільно виділити детермінанти, які впливають на бізнес-процеси саме вітчизняних підприємств більш виражено. Такими передумовами є орієнтація на реструктуризацію та підготовку до роботи на висококонкурентних ринках в умовах євроінтеграції; орієнтація на ресурсозбереження як основу інтенсифікації розвитку та інноваційна спрямованість інструментарію розвитку автоматизованих систем управління.

Характеризуючи вплив визначених передумов на ефективність впровадження автоматизації процесів управління ТЕЦ слід відзначити, що з огляду на відсутність передумови, яку можна виділити як головну, доцільно приділяти особливу увагу комплексному розвитку позитивного впливу передумов розвитку з огляду на потребу мінімізації негативного впливу, та, за можливості вирішення основних проблем впровадження ефективних автоматизованих систем управління ТЕЦ.

Висновки. В статті здійснено пошук науково обґрунтованих шляхів вирішення проблеми забезпечення розвитку підприємств електроенергетики, спрямованого на забезпечення оптимального використання ресурсів (сировинних, енергетичних, матеріальних та людських). В цьому контексті в якості дієвого інструменту розвитку теплоелектроцентралей розглянуто автоматизацію процесів управління ТЕЦ.

Високий рівень розвитку електроенергетики та автоматизації процесів управління призводить до створення складних автоматичних систем, які вимагають нових, більш досконалих підходів, як до процесу розробки систем автоматизації процесів управління ТЕЦ, так і до процесу їх експлуатації. Одним із основних завдань автоматизації процесів управління ТЕЦ є підтримка максимальної або необхідної кількості елементів і систем в справному стані. Це може бути досягнуто за рахунок застосування досконалих методів і систем автоматизації, що включають елементи забезпечення контролю, оптимального управління ресурсами, зниження часу відновлення і підвищення ефективності проектування об'єктів і систем контролю.

В статті обґрунтовано передумови вдосконалення автоматизації процесів управління теплоелектроцентралями, що дозволить розвинути науково-методичний апарат управління складними організаційно-технічними системами на основі врахування особливостей діяльності ТЕЦ та в подальшому сформулювати аналітично-управлінські процедури стосовно автоматизації процесів управління в практиці цих підприємств. Результати дослідження показують найбільший позитивний вплив на ефективність автоматизації процесів управління вітчизняними

теплоелектроцентралями передумов, пов'язаних з орієнтацією на модернізацію та реструктуризацію та підготовку до роботи на висококонкурентних ринках в умовах євроінтеграції; орієнтація на ресурсозбереження як основу інтенсифікації розвитку та інноваційна спрямованість інструментарію розвитку автоматизованих систем управління ТЕЦ.

Література:

1. Буданов П. Ф. Динамічна просторово-часова модель інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів АСУ ТП енергоблоку електростанції / П. Ф. Буданов, К. Ю. Бровко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків : Харків. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2016. – Вип. 4 (49). – С. 80 - 85.
2. Буданов П.Ф. Повышение надёжности функционирования энергообъектов на основе усовершенствования программно-технического комплекса автоматизированной подсистемы аварийной и предупредительной защиты / П. Ф. Буданов, К. Ю. Бровко, П. В. Васюченко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків : Харків. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2016. – Вип. 3 (48). – С. 161-167.
3. Виноградов В.М. Технологические процессы автоматизированных производств / В.М. Виноградов, А.А. Черепахин, В.В. Клепиков.- Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2017.-272 с.
4. Дуэль М. А. Автоматизированное управление объектами и технологическими процессами тепловых и атомных электростанций / М. А. Дуэль. – Харьков: ЧП «КиК», 2010. – 448 с.
5. Дуэль М. А. Алгоритмическое обеспечение автоматизированных систем управления энергоблоками электростанций / М. А. Дуэль. – Харьков: Знание, 2000. – 283 с.
6. Иванов А.А. Проектирование систем автоматизированного машиностроения / А.А. Иванов .- Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017.-320 с.
7. Костюковський Б.Л. Методи та засоби дослідження перспектив розвитку електроенергетики в умовах впровадження ринкових відносин / Б. Л. Костюковський, С. В. Шульженко, Т. Я. Гольденберг, С.В. Власов // Проблеми загальної енергетики 2002; 2. – С. 6-13.
8. Меренков А. П. О соотношении теории, уровня математического моделирования и практики управления развитием и функционированием больших систем энергетики / А. П. Меренков, Ю. Н. Руденко // Первые Мелентьевские теоретические чтения. Сб. науч. трудов. – М., 1990. – С. 280-293.
9. Оценка экономической эффективности модернизации энергетических объектов / Н.В. Гусева, П.Ю. Шевченко, Ю.В. Лебедева / Инновационные технологии в обучении и производстве : матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф., г. Камышин, 23–25 ноября 2011 г. В 3 т. Т. 1 / ФГОБОУ ВПО ВолгГТУ КТИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - С. 125-129.
10. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования / В. Я. Ротач. – М. : Энергия, 1973. – 438 с.
11. Складов В. Ф. Диагностическое обеспечение энергетического производства / В. Ф. Складов, В. А. Гуляев. – К. : Техника, 1995. – 215 с.
12. Стратегія розвитку електроенергетичної галузі до 2030 року [Електронний ресурс].- Режим доступу: mre.kmu.gov.ua/fuel/doccatalog/document?id=50372
13. Тульчинська С. О. Функціонування організаційно-економічного механізму інноваційного процесу / С. О. Тульчинська // Стратегічні пріоритети. – 2008. – №1(6). – С. 89-95.
14. Шульженко С. В. Особливості розрахунку вартісних показників в задачах прогнозування розвитку електроенергетичних систем в ринкових умовах їх функціонування / С. В. Шульженко // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – № 18. – С. 16-20.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2018

УДК 614.87

Н.М. Витрикуш, Н.М. Параняк, А.С. Романів, О.С. Дацько, С.М. Мохняк*Інститут сталого розвитку ім. В. Чорновола, Національний університет «Львівська політехніка»***ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ КРАЇН ЄВРОПИ**

В роботі розглянуто динаміку виникнення стихійних лих та уразливість до них населення та територій за останнє століття. Оцінено організацію та функціонування структур цивільного захисту населення у надзвичайних ситуаціях деяких європейських країн. Зазначено важливість співпраці структур цивільного захисту сусідніх європейських країн та залучення міжнародних організацій. Проведено порівняльний аналіз фінансування структур цивільного захисту відповідно до кількості населення та площі країн.

Ключові слова: стихійне лихо, надзвичайна ситуація, цивільний захист, Індекс людського розвитку.

Н.М. Витрикуш, Н.М. Параняк, А.С. Романів, А.С. Дацько, С.М. Мохняк
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
СТРАН ЕВРОПЫ

В работе рассмотрена динамика возникновения стихийных бедствий и уязвимость к ним населения и территорий за последнее столетие. Оценены организацию и функционирование структур гражданской защиты населения в чрезвычайных ситуациях некоторых европейских стран. Указано важность сотрудничества структур гражданской защиты соседних европейских стран и привлечения международных организаций. Проведен сравнительный анализ финансирования структур гражданской защиты в соответствии с количеством населения и площади стран.

Ключевые слова: стихийное бедствие, чрезвычайная ситуация, гражданская защита, Индекс человеческого развития.

N. Vytrykush, N. Paranyak, A. Romaniv, O. Datsko, S. Mokhniak
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CIVIL PROTECTION ORGANIZATION IN EUROPE
COUNTRIES

The article deals with the dynamics of natural disasters occurrences and their vulnerability to the population and territories over the past century and the beginning of the present. The organization and functioning of civil protection structures in emergency situations of some European countries are estimated. The mechanisms of public administration, creation of reliable warning systems and provision of the required level of readiness for adverse events in accordance with European safety standards are assessed. The importance of cooperation between national civil protection structures of neighboring European countries and the involvement of international regional organizations in cooperation in the field of security is noted. A comparative analysis of financing sources and material support of civil protection structures in accordance with the population and area of countries is carried out.

Keywords: natural disaster, emergency situation, civil protection, Human Development Index.

Актуальність теми. Людство на протязі усього свого існування потерпає від різних надзвичайних ситуацій природнього, техногенного, соціально-політичного чи воєнного характеру. Проте, на сьогодні це питання набуло особливо гострого та глобального характеру. Мільйони людей у всьому світі все частіше стикаються зі стихійними лихами, економічними кризами, проблемами у галузі охорони здоров'я, а також расової, національної, релігійної нетерпимості та насильством.

Якщо порівнювати дані спостережень з 1901 по 2017 роки, то з часом кількість та інтенсивність стихійних лих зростає. Так у період з 1901 по 1910 рр. було зареєстровано 82 катастрофи, а за останнє десятиліття з 2003 до 2013 роки їх було більше 4000 [1]. Особливе занепокоєння викликає динаміка зростання гідрологічних та метеорологічних катастроф (Рис. 1). Незважаючи на те, що кількість загиблих від стихійних лих знижується, зростає кількість постраждалих через збільшення населення і вимушеного проживання значної його частини на територіях, які знаходяться в зонах затоплення, зсувів, землетрусів.

Через ці нові реалії та прагнення збереження людського життя та майна, концепція людської безпеки залишається дуже актуальною. Основна увага повинна полягати у досягненні глибокого розуміння загроз, ризиків та криз, а також їх подолання шляхом спільних дій на основі ключових концепцій та підходів розвитку і безпеки людства.

Зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій є чималою та постійною проблемою, яка вимагає державних зобов'язань та розуміння громадськості. Її вирішення спрямоване на зменшення уразливості людей та майна до несприятливого впливу небезпек. Реалізація поставлених завдань вимагає систематичних зусиль для аналізу та управління небезпечними чинниками, в тому числі за рахунок зниження уразливості до них, ефективного управління,

створення надійних систем попередження і підвищення рівня готовності до несприятливих подій. Це передбачає участь різних структур, починаючи від громадських організацій, до державних установ, регіональних та міжнародних організацій із залученням науковців та експертів.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження у галузі цивільного захисту вносять свій внесок у безпеку сучасного світу, готовність до реагування та протидії різноманітним загрозам, а також до заохочення урядів проводити відповідну політику щодо гарантування безпеки своїм громадянам.

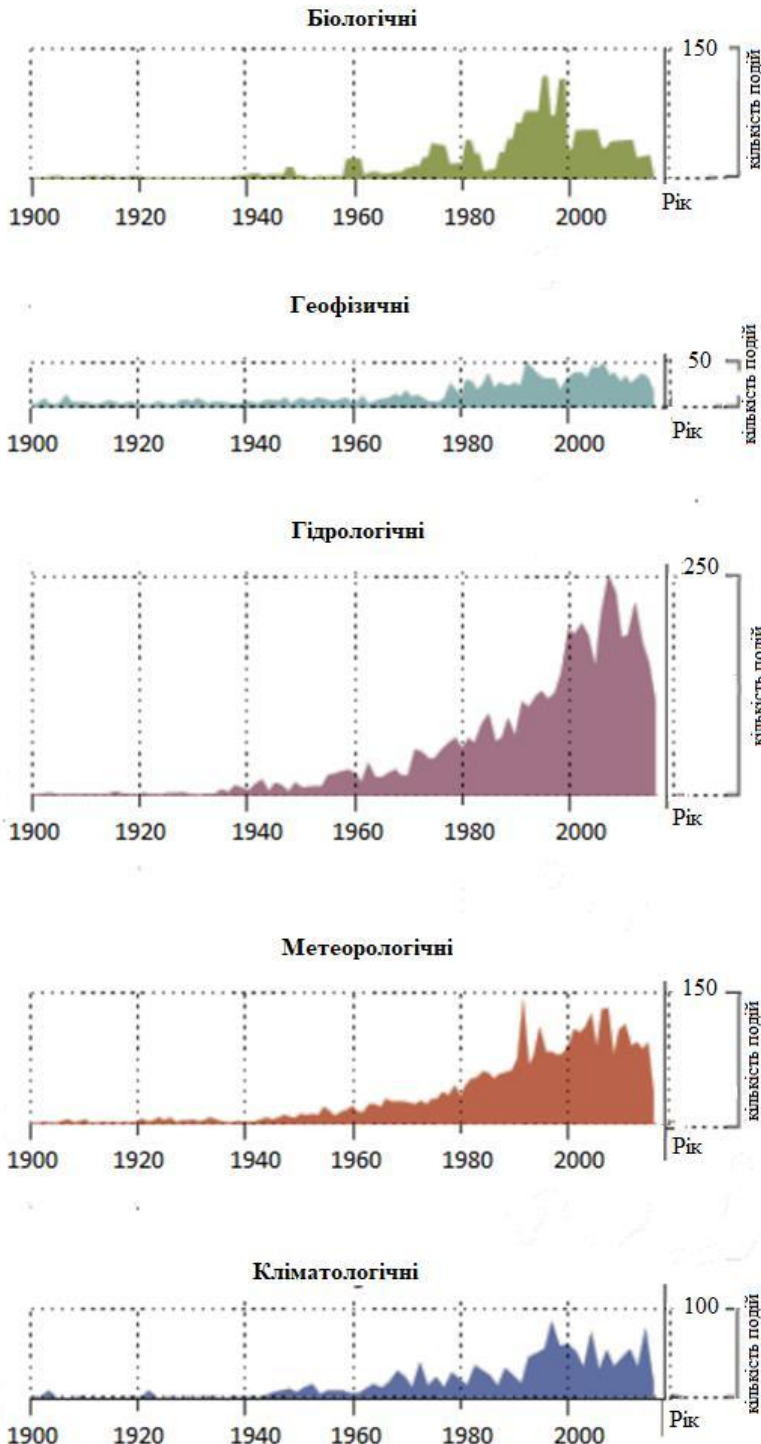


Рис. 1. Динаміка виникнення природних катастроф за минуле століття

ситуація в Україні ставить перед найвищим керівництвом держави першочергове завдання прискорення базових реформ у сфері цивільного захисту і вдосконалення механізмів державного управління відповідно до європейських стандартів безпеки.

Зокрема, А. Качинський [2], досліджуючи різні аспекти екологічної безпеки України, концентрує увагу на організації безпеки та захисту населення й регіонів від надзвичайних ситуацій, О. О. Груш [3] займається вивченням питань структурно-функціонального забезпечення територіального управління із запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій у сфері пожежної безпеки на місцевому рівні. У своїх роботах автори Н. Нижник, Г. Ситник, Т. Біловус приділяють увагу питанням державного управління в умовах надзвичайних ситуацій, вони зокрема розглядають організаційно-управлінські аспекти запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій, як одну з проблем забезпечення національної безпеки [4].

Метою дослідження є аналіз досвіду сусідніх європейських країн у сфері побудови та матеріального забезпечення структури цивільного захисту.

Завдання дослідження є оцінка державної політики сусідніх європейських країн у сфері захисту цивільного населення і територій від надзвичайних ситуацій та порівняння систем фінансування структур цивільного захисту населення цих країн.

Виклад основного матеріалу. Теперішня

Вивчаючи досвід європейських країн, можна сказати, що їх структура з організації системи захисту населення у надзвичайних ситуаціях дуже схожа до нашої. Відмінність полягає у поділі територій країн на округи, зони, сектори, райони і дільниці та їх підпорядкуванні і управлінні.

Наприклад, у Франції, Німеччині, Великобританії, Ізраїлі керівні функції покладені на Міністерство внутрішніх справ, а в Швейцарії, Норвегії, Іспанії та Ісландії на міністерства (департаменти) юстиції та поліції; в Італії – на Міністерство захисту населення.

Як свідчать публікації зарубіжних фахівців, в системі захисту населення у надзвичайних ситуаціях європейських країн, особлива увага приділяється плануванню дій і підтримці у постійній готовності органів управління та формувань рятувальників на рівні місцевих органів влади, на які покладається найбільший обсяг робіт в умовах надзвичайної ситуації [5]. Також велика увага приділяється розвитку систем оповіщення. Основним засобом безпосереднього оголошення небезпеки в більшості країн є сирени (на території Німеччини - понад 20 тисяч, у Великобританії - 18 тисяч). Крім того, інформація надзвичайного характеру доводиться за допомогою радіо, телебачення і мобільного зв'язку. Питання про фінансування заходів запобігання і реагування на надзвичайні ситуації займає одне з центральних місць. У більшості країн світу, зазвичай видатки на цивільний захист розподіляються між державним і місцевим бюджетами та приватним сектором. Наприклад, у Швейцарії витрати покриваються з державного бюджету – 46 %, з бюджетів кантонів – 43 %, інші витрати покладаються на комуни. У Німеччині прийнятий спеціальний закон, відповідно до якого основна частина витрат на заходи з підготовки системи захисту населення і територій у надзвичайних ситуаціях покладена на місцеві органи влади [6, 7].

З метою посилення співробітництва в області цивільного захисту і надання ефективної невідкладної допомоги в надзвичайних ситуаціях у 2001 році в ЄС було створено Механізм Цивільного Захисту Співтовариства (Community Civil Protection Mechanism), який сприяє співпраці національних структур цивільного захисту в Європі. До складу цієї структури крім 28 країн-членів ЄС увійшли Ісландія, Чорногорія, Норвегія, Сербія, колишня Югославська Республіка Македонія та Туреччина. В рамках Механізму цивільного захисту ЄС європейські країни працюють разом для реагування на природні та техногенні катастрофи на європейській території та за її межами, надають рятувальників, експертів, спеціалізоване обладнання та багато іншого для порятунку постраждалих. Оперативним центром Механізму є Центр координації реагування на надзвичайні ситуації (Emergency Response Coordination Center), який цілодобово проводить моніторинг надзвичайних ситуацій у світі і координує дії країн-учасниць у випадку кризи.

Механізм також надає країнам-учасникам можливість обмінюватись досвідом, піднімаючи рівень підготовки своїх загонів цивільного захисту. Крім того, Механізм надає засоби невідкладної комунікації та моніторингу, через Спільну екстрену комунікаційно-інформаційну систему (Common Emergency Communication and Information System) створену під егідою Центру координації реагування на надзвичайні ситуації і яка базується на зборі електронних повідомлень та оповіщень, що дозволяє здійснювати обмін інформацією в реальному часі між країнами-учасниками та Центром координації реагування на надзвичайні ситуації [8].

Будь-яка країна світу може звернутися до Механізму цивільного захисту ЄС за допомогою. З часу свого створення ця структура отримала близько 300 звернень про допомогу і брала участь у ліквідації таких найбільш руйнівних катастроф, як землетрус в Гаїті (2010 р.), Цунамі в Японії (2011 р.), Тайфун на Філіппінах (2013 р.), спалах Еболи (2014 р.), конфлікт в Україні (2014), землетрус в Непалі (2015 р.), криза біженців, повені та лісові пожежі в Європі [8].

Зважаючи на збільшення кількості надзвичайних ситуацій, з якими стикається світ останнім часом, Комісія ЄС оголосила в листопаді 2017 року нові плани щодо підвищення ефективності дій ЄС із забезпечення цивільного захисту з метою вчасного реагування та кращу підготовку до природних та техногенних катастроф держав-учасниць. Бюджет для реалізації Механізму цивільного захисту ЄС на 2014-2020 рр. становить 368,4 млн. євро, з яких 223,7 млн. євро будуть використані для запобігання надзвичайних ситуацій, підготовки та реагування на них в рамках ЄС та 144,6 млн. євро для дій поза межами ЄС. Ці суми доповнюються внесками країн, які беруть участь у Механізмі цивільного захисту ЄС і не є членами Європейського Союзу [8].

В таблиці 1 приведено приклади фінансування національних системи цивільного захисту деяких європейських країн [9 - 16]. За критерій відбору були вибрані такі параметри держав, як різноманітне географічне розташування, територіальна близькість до України, подібність кліматичних та рельєфних умов, подібність соціально-політичного устрою. А для порівняння

країн за рівнем життя (табл. 1) використано інтегральний показник Індекс людського розвитку (Human Development Index, HDI), який розраховується щорічно, з врахуванням основних характеристик людського потенціалу (грамотність, освіченість, тривалість життя) [12].

У більшості країнах, які розглядаються, видатки на цивільний захист розподіляються між державним та місцевими бюджетами, причому частка місцевих бюджетів є більшою. Розрахунок витрат на цивільний захист був проведений нами тільки з врахуванням частки державних бюджетів країн через складність отримання значень місцевих кошторисів. І якщо порівнювати витрати в грошовому еквіваленті на душу населення, то найменше коштів на захист населення у надзвичайних ситуаціях виділяється в країнах з меншим Індексом людського розвитку (HDI). Виняток становить наша країна через потреби витратити більше з огляду на ситуацію, яка склалась в останні роки.

Таблиця 1

Фінансування структур цивільного захисту європейських країн

№ п/п	Країна	Видатки на цивільний захист, % бюджету		Витрати на цивільний захист з держбюджету, (долар США в рік / на душу населення)	Бюджети країн 2017 р. [13, 14], (млрд. долар США в рік)	Індекс людського розвитку країни
		державний	місцевий			
1.	Швеція	0,076	0,25	20,7	274,8	0,913
2.	Словенія	0,013	0,066	1,27	20,2	0,890
3.	Італія	0,1	0,02	14,6	884,4	0,887
4.	Хорватія	0,017	0,081	1,06	25,79	0,827
5.	Румунія	0,013	-	0,39	58,5	0,802
6.	Сербія	0,0216	0,0234	0,497	16,5	0,776
7.	Туреччина	0,0023	0,0453	0,05	173,9	0,767
8.	Албанія	0,013	0,027	0,16	3,486	0,764
9.	Україна	0,3	-	2,52	35,6	0,743
10.	Молдавія	0,033	-	0,26	2,796	0,735

Для оцінки необхідного фінансування структур цивільного захисту деяких країн важливим параметром також є площа, оскільки у надзвичайних ситуаціях важливо вчасно організувати рятувальні роботи і надання допомоги постраждалим. Країни, приклади матеріального забезпечення структур цивільного захисту яких розглядаються, є різними за величиною територій та густотою населення. В таблиці 2 для порівняння приведені значення таких параметрів, як площа та густина населення [16]. Розрахунок витрат на структуру цивільного захисту з розрахунку на 1 км² площі країни був проведений з врахуванням тільки частки витрат державного бюджету. Результати розрахунків представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення параметрів площі та населення країн

№ п/п	Країна	Площа, тис. км ²	Населення, млн. осіб	Густина населення, осіб/км ²	Витрати на цивільний захист з держбюджету, (долар США в рік / на 1 км ² площі країни)
1.	Швеція	450,3	10,2	21	463,8
2.	Словенія	20,27	2,07	99	129
3.	Італія	301,4	60,8	205	2934,3
4.	Хорватія	56,59	4,16	80	77,47
5.	Румунія	238,4	19,8	91	31,90

6.	Сербія	88,41	7,03	115	40,31
7.	Туреччина	783,6	80,6	93	5,10
8.	Албанія	28,75	2,88	134	15,78
9.	Україна	603,6	42,3	81	177,9
10.	Молдавія	33,85	3,55	129	27,26

Якщо розглядати витрати країн на цивільний захист по відношенню до території, то найбільше коштів на одиницю площі припадає в Італії на відміну від попереднього розрахунку за відношенням до кількості населення де на першому місці була Швеція. Серед представлених країн, з найменшими витратами як на душу населення, так і на одиницю площі є Туреччина. Ця країна є найближчою до нашої за площею, проте, на відміну від України, в цій країні фінансування надходить як з державного так і місцевого бюджетів, причому частка держбюджету є значно меншою у порівнянні з місцевим. Крім того, Туреччина є країною учасницею європейської структури цивільного захисту і може розраховувати на його бюджет для реалізації Механізму цивільного захисту ЄС на 2014-2020 рр. щодо запобігання надзвичайних ситуацій, підготовки та реагування на них.

Якщо оцінювати ефективність системи цивільного захисту країни за коштами, які виділяються на цю структуру, то наша країна, незважаючи на проблеми в економіці, займає не останнє місце серед європейських країн. Проте, можливо складна політична ситуація та військові дії на території країни змусили керівництво держави до збільшення фінансування структури цивільного захисту.

Проаналізувавши фінансування структур цивільного захисту у різних країнах можна сказати, що кожна країна розбудовує та формує власний варіант національної структури захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, виходячи із конкретних обставин, економічних можливостей, фізико-географічних, кліматичних, природних особливостей. Важливу роль у запобіганні, готовності та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій в Європі відіграє Механізм цивільного захисту ЄС, який підтримує, координує та доповнює дії держав. Основна відповідальність за захист людей, а також навколишнє середовище та майно, включаючи культурну спадщину, лежить на самих державах. Країни ЄС несуть основні фінансові витрати на більшість заходів з цивільного захисту, залишаючи бюджет ЄС у сфері цивільного захисту відносно невеликим, оскільки Європейський Союз зосереджує увагу на сферах, де колективний підхід є більш ефективним, ніж окремі дії кожної країни [8]. Для підвищення рівня стандартів безпеки, важливими напрямками спільної діяльності європейських країн є підвищення якості та доступності інформації щодо стихійних лих, заохочення досліджень, спрямованих на підвищення стійкості територій до стихійних лих, та удосконалення систем раннього попередження.

Висновки. Право людини на захист під час стихійних лих, техногенних катастроф, соціально-політичних потрясінь та воєнних конфліктів є характеристикою соціального та економічного розвитку суспільства, яке у більшості європейських країн гарантується законодавством. А надійне та належне функціонування структури цивільного захисту та наявність ресурсів для запобігання, боротьби з наслідками і відновлення після катастроф забезпечується належним її фінансуванням. У більшості європейських країн значну роль у цьому відіграють місцеві органи влади. Для підвищення рівня безпеки в сучасному світі важливу роль відіграє співпраця країн в області цивільного захисту і, як наслідок, можливе швидке реагування на надзвичайні ситуації та допомога в організації рятувальних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Human Development Report 2014 Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience. Режим доступу: <http://hdr.undp.org/en/2014-report/consultations>.
2. Качинський А.Б. Екологічна безпека України : системний аналіз перспектив покращення : (Монографія)-К.: НІС, 2001.-312с.
3. Труш О. О. Структурно-функціональне забезпечення територіального управління запобіганням та ліквідацією надзвичайних ситуацій (на прикладі Управління пожежної безпеки Харківської області) Дис... канд.наук держ. упр. 25.00.02;- захищена 19.12.2003.-Х., 3003.-174 с.
4. Нижник Н.Р. Національна безпека України (методологічні аспекти, стан і тенденції розвитку): навч. посіб. для вищих навч. зал. / Нижник Н.Р. Ситник Г.П., Білоус В.Т.; за заг. ред. П.В. Мельника, Н.Р. Нижник, Ірпінь, 2000.-304 с.

5. Труш О. О. Досвід побудови та функціонування систем цивільного захисту країн-членів Європейського Союзу Південної Європи / О. О. Труш // Теорія та практика державного управління: зб. наук. пр. – 2010. – № 1. – Режим доступу: <http://www.kbuara.kharkov.ua/e-book/tpdu/2010-1/index.html>
6. Труш О. О. Досвід побудови та функціонування систем цивільного захисту країн – членів Європейського Союзу Західної Європи / О. О. Труш // Теорія та практика державного управління : зб. наук. пр. – Х. : Вид-во ХарПІ НАДУ “Магістр”, 2009. – Вип. 4 (27). – С. 441–447.
7. New legislation to strengthen European policy on disaster management. European Commission - MEMO/13/1120 10/12/2013 [Electronic resource]. — Access mode:[http:// europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-1120_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-1120_en.htm).
8. http://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/mechanism_en
9. The Structure, Role and Mandate of Civil Protection in Disaster Risk Reduction for South Eastern Europe <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/9346>
10. <http://www.lv.ukrstat.gov.ua>
11. http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016_RU_Overview_Web.pdf
12. Human Development Report 2016 – "Human Development for Everyone" (PDF). HDRO (Human Development Report Office) United Nations Development Programme. pp. 198–201. <http://hdr.undp.org>
13. <http://www.dsns.gov.ua/ua/Finansovo-gospodarska-diyalnist.html>
14. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2056.html>
15. World Economic Outlook Database-October 2017, International Monetary Fund. Accessed on 18 January 2018.
16. <https://www.imf.org>

Рецензенти:

Нагурський О.А. завідувач кафедри цивільної безпеки Інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола НУ «Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор.

Бабаджанова О.Ф. доцент кафедри цивільного захисту та КМЕП Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук..

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 539.4, 539.375

Б.К. Гануліч

Луцький національний технічний університет

РЕНТГЕНОГРАФІЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОНИ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ КВАЗІКРИХКОМУ РУЙНУВАННІ МЕТАЛУ

У даній роботі рентгенографічними дослідженнями встановлено товщину пластично деформованого шару при квазікрихкому зламі шляхом поширення попередньо створеної втомної тріщини. Зроблено оцінку залишкових напружень другого роду, на основі чого оцінено питому енергію руйнування. Встановлено, що у даних дослідженнях товщина пластично деформованого шару співпадає з висотою нерівностей поверхні злому.

Ключові слова: квазікрихке руйнування, рентгенографічні дослідження, пластична зона, енергія руйнування.

Б.К. Гануліч**РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ КВАЗИХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ МЕТАЛЛА**

В предлагаемой работе рентгенографическими исследованиями определено толщину пластически деформированного слоя при квазихрупком изломе путем распространения предварительно созданной усталостной трещины. Произведена оценка остаточных напряжений второго рода, на основе чего оценено удельную энергию разрушения. Установлено, что в рассмотренных исследованиях толщина пластически деформированного слоя равна высоте шероховатостей поверхности излома.

Ключевые слова: квазихрупкое разрушение, рентгенографические исследования, пластическая зона, энергия разрушения.

B.K. Ganulich**XENGRAPHIC DETERMINATION OF PLASTIC DEFORMATION ZONE WITH A QUASIC DRINKING METAL**

In this work X-ray studies have established the thickness of a plastic-deformed layer at a quasi-crisal fracture through the propagation of a pre-created fatigue crack. An estimation of residual stresses of the second kind is made on the basis of which the specific energy of destruction is estimated. It is established that in these studies the thickness of the plastic-deformed layer coincides with the height of the roughness of the cracking surface.

Key words: quasiclean destruction, X-ray examination, plastic zone, energy of destruction.

Робота виконана у рамках науково-дослідної теми «Створення фізичної моделі тріщиностійкості металів», державна реєстрація №0116U001958.

Постановка проблеми. Ідеально крихке чи просто крихке руйнування відбувається без пластичної деформації. Після крихкого руйнування можна заново скласти тіло попередніх розмірів із уламків руйнування без порожнин між ними. Як приклад крихко руйнується скло при кімнатних і нижчих температурах. Квазікрихке руйнування передбачає наявність пластичної зони перед краєм тріщини, поширення якої ї є, власне, руйнування. Квазікрихко руйнуються усі метали і сплави.

При розтязі пластинки з еліптичним вирізом (рис.1) найбільші розтягуючі напруження $\sigma_{y \max}$ отримуються біля вершин еліпса A_1A_2

$$\sigma_{y \max} = \sigma_0 \left(1 + 2 \frac{a}{b}\right), \quad (1)$$

a, b – півосі еліпса .

Згідно формули (1) напруження біля вершин сплюсненого еліпса ($\frac{a}{b} \rightarrow \infty$) можуть стати як завгодно великими. Відношення $\sigma_{y \max} / \sigma_0$ називається коефіцієнтом концентрації напружень чи, просто, концентрацією напружень. Якщо ввести у формулу (1) величину ρ , що називається радіусом кривизни у вершині вирізу, то отримується

$$\sigma_{y \max} = \sigma_0 \left(1 + 2 \sqrt{\frac{a}{\rho}}\right). \quad (2)$$

Виявляється, що у такому вигляді концентрація напружень має місце не тільки для еліптичних вирізів, але й для отворів будь-якої форми, на контурі яких є точки з малим радіусом кривизни.

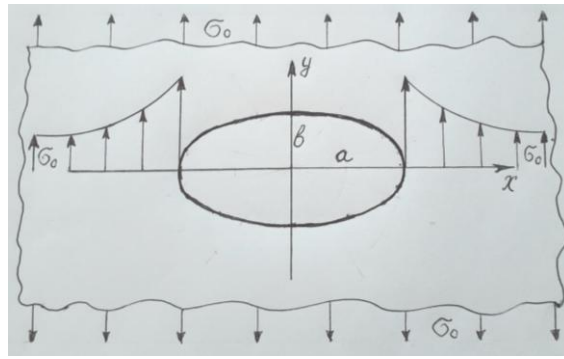


Рис.1. Схема розтягу зразка з еліптичним вирізом

Згідно формули (2) велика концентрація напружень спостерігається там, де різко змінюється геометрія конструкції, деталі і т.д., а також біля вершини подряпини на віконному склі. Звичайно ж, у реальному матеріалі напруження можуть зростати лише до певної величини. У зоні концентрації напружень відбуваються незворотні процеси, які знижують концентрацію напружень (наприклад, у металах такими незворотніми процесами є пластичні деформації).

Якщо відомі сили зчеплення, що зв'язують атоми у твердому кристалічному тілі, можна визначити міцність матеріалу точним розрахунком, тобто визначити так звану теоретичну міцність. Якщо виготовити відповідний зразок із того ж матеріалу, то можна визначити значення міцності експериментально, тобто значення технічної міцності. Виявляється, що технічна (реальна) міцність у десятки і сотні разів менша від теоретичної. Багаточисельними експериментами (А.Ф. Йоффе, А.П. Александров, С.Н. Журков, А.В. Степанов, Ф.Ф. Вітман) показано, що така різюча невідповідність між теоретичною і реальною міцністю матеріалів пояснюється наявністю у реальних матеріалах різноманітних дефектів – концентраторів напружень, найнебезпечніші з яких – тріщини.

Напруження біля вершини тріщини (рис.2) визначаються відомими [1,2] формулами:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma \sqrt{\frac{l}{2r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\right) \\ \sigma_y &= \sigma \sqrt{\frac{l}{2r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\right) \\ \tau_{xy} &= \sigma \sqrt{\frac{l}{2r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

$\sigma_z = 0$ – плоско напружений стан,

$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$ – плоско деформований стан.

Рівняння (3) можна переписати у вигляді

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta), \text{ де } K_I = \sigma \sqrt{\pi l} \quad (4)$$

Коефіцієнт K_I називається коефіцієнтом інтенсивності напружень (КІН), де індекс І означає І тип руйнування: поширення тріщини нормального відриву. Якщо відомий КІН, то поле напружень біля вершини тріщини є повністю визначеним. Коли напруження (відповідно деформації) біля вершини тріщини досягають критичних значень, відбувається ріст тріщини, тобто руйнування. Силовий критерій Дж.Р. Ірвіна початку росту тріщини має вигляд

$$K_I = K_{IC} \quad (5)$$

У лінійній механіці руйнування величину K_{IC} вважають константою і називають тріщиностійкістю матеріалу.

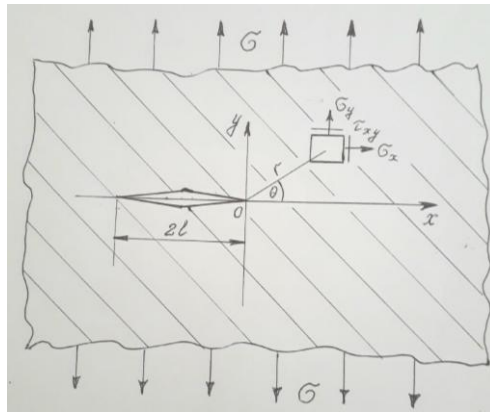


Рис.2. Тріщина у нескінченній пластині

Із (4) слідує, що напруження біля вершини тріщини сингулярні (нескінченно великі). На практиці матеріали, зокрема метали, мають межу текучості, при напруженнях, більших від цієї межі, матеріали пластично деформуються. Таким чином, у металах в околі вершини тріщини завжди є область (зона), де виникають пластичні деформації. Пластичні деформації є визначальним фактором зменшення концентрації напружень. Процеси, що відбуваються у пластичних зонах, поряд з теоретичною, максимально можливою міцністю матеріалу, зумовлюють його тріщиностійкість. Отже, дослідження зон пластичних деформацій і поверхонь зломів є актуальним.

Результати досліджень. Рентгенографічний аналіз поверхні руйнування зразків здійснювали на приладі УРС-50 ИМ у $\text{Cr } K_{\alpha}$ – випромінюванні. Величину напружень II-го роду визначали по розширенню лінії $[211] \alpha - \text{Fe}$ згідно методики, що описана у роботі [3].

Для досліджень були взяті поверхні зломів зразків, початкові розміри яких $3 \times 3 \times 20$ см, з V-подібним концентратором напружень та попередньо створеною втомною тріщиною довжини $2,5 \dots 3$ мм (глибина концентратора 2мм, довжина тріщини $0,5 \dots 1$ мм). Зразки сталі зруйновані за схемою трьох точкового згину. Механічні характеристики і визначене значення тріщиностійкості на Табл.1

Таблиця 1

Сталь	σ_s , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	K_{IC} , МПа $\sqrt{м}$
40Х, гарт. 1133К, відпуск 673К	1550	1380	10	51	45,9
45ХН2МФА, гарт.1133К	1680	1490	12	42	65,1

Результати рентгенографічних досліджень представлені на рис.3.

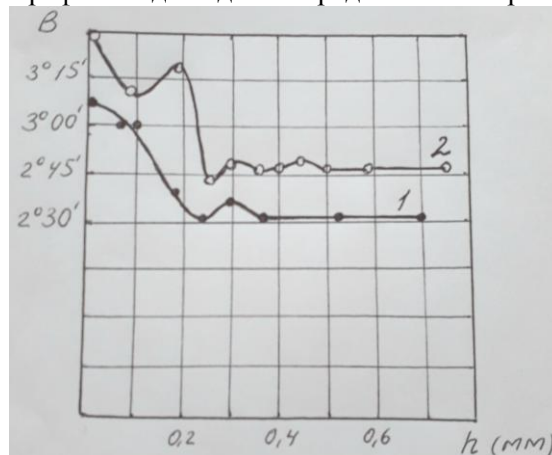


Рис.3. Результати рентгенографічного дослідження поверхні квазікрихкого злому сталей (див.табл.1).

B – ширина (на половині висоти) дифракційної лінії [211] $\alpha - Fe$ у $Cr - K_{\alpha}$ – випромінюванні, h – глибина електрохімічного стравлювання, $\Delta d / d = \Delta \theta / \operatorname{tg} \theta$, d – міжплощинна віддаль, $\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} 78^{\circ} 06' = 4.74$, $\Delta \theta = B - b$, для сталі 40X $b = 2^{\circ} 32'$, для сталі 45ХН2МФА $b = 2^{\circ} 47'$. Глибина шару, з якого отримується дифракційна лінія при заданих умовах дослідження, складає 0,08мм [3].

За результатами рентгенографічних досліджень можна отримати наступні висновки:

1. В обох досліджених квазікрихких зломах область пластичних деформацій поширюється у шарі, товщина якого рівна висоті характерних виступів поверхні злому (див. рис.4) і рівна $\approx 0,35\text{мм}$.

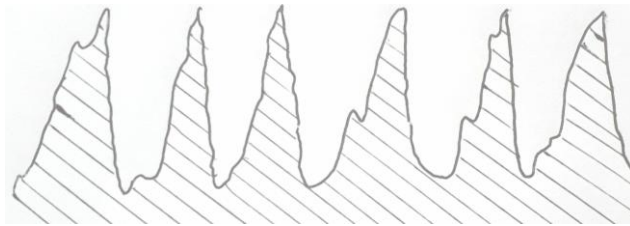


Рис. 4. Профілограми поверхні злому сталей (табл.1)

2. Найбільші спостережувані значення залишкових напружень, що обчислювали за формулою $\pm \sigma = E * \Delta d / d$, ($E = 2,1 * 10^5 \text{МПа}$) складають 558МПа і 493 МПа.

3. Приблизне значення [4] прихованої енергії деформації, обчислене за формулою

$$W = \frac{3E}{2(1 + 2\mu^2)} \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \quad (6)$$

$$W_{1\max} = 1294078 \text{ Дж} / \text{м}^3, \quad W_{2\max} = 1342020 \text{ Дж} / \text{м}^3 \quad (\mu = 0,28)$$

4. Поверхнева енергія руйнування $\gamma_1 = W_1 h_1 = 1294078 \text{ Дж} / \text{м}^3 * 3 * 10^{-4} \text{ м} = 388 \text{ Дж} / \text{м}^2$,
 $\gamma_2 = W_2 h_2 = 1342020 \text{ Дж} / \text{м}^3 * 4 * 10^{-4} \text{ м} = 537 \text{ Дж} / \text{м}^2$.

5. Згідно формули [5]

$$K_1 = \sqrt{\frac{E\gamma}{1 - \mu^2}} \quad (7)$$

обчислено значення тріщиностійкості $K_1 = 9,4 \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ для зразка 1 та $K_1 = 11,1 \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ для зразка 2, що у 4,9 і 5,9 рази менше відповідно від отриманих (див.табл.1).

Література.

1. Разрушение (ред. Г.Либовиц), т.1-7. - М: Мир, 1973-1977.
2. Механика разрушения и прочность материалов. Справочное пособие в четырех томах (под. ред. В.В. Панасюка), т.1-4. - Киев: Наукова думка, 1988.
3. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. - М.: Гос.изд-во физ.-мат. литературы, 1961. - 863с.
4. Уманский Я.С. Ренгенография металлов. - М.: Металлургиздат, 1960. - 448с.
5. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. - М.: Наука, 1985. - 502с.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018

УДК 621.43

А.А. Дудніков, І.А. Дудніков, А.О. Келемеш, О.І. Біловод, В.В. Дудник, О.В. Горбенко
Полтавська державна аграрна академія

ВПЛИВ ЗМІЦНЕННЯ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ

У роботі досліджено вплив способів зміцнення робочих поверхонь деталей сільськогосподарських машин на їх довговічність.

Ключові слова: поверхневе пластичне деформування, мікротвердість, вібраційна обробка, глибина зміцнення, надійність.

А.А. Дудников, И.А. Дудников, А.А. Келемеш, А.И. Беловод, В.В. Дудник, А.В. Горбенко
ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

В работе исследовано влияние способов упрочнения рабочих поверхностей деталей сельскохозяйственных машин на их долговечность.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, микротвердость, вибрационная обработка, глубина упрочнения, надежность.

A. Dudnikov, I. Dudnikov, A. Kelemesh, O. Bilovod, V. Dudnyk, O. Gorbenko
INFLUENCE OF STRENGTHENING OF MACHINE PARTS MATERIALS ON THEIR
DURABILITY

In this work the influence of methods of strengthening working surfaces of parts of agricultural machines on their durability is investigated.

Key words: surface plastic deformation, microhardness, vibration treatment, depth of hardening, reliability.

Постановка проблеми. Підвищення надійності машин та довговічності їх деталей в процесі експлуатації є комплексом переліку проблем, до числа яких слід віднести: застосування матеріалів, що мають необхідні фізико-механічні властивості; застосування ефективних методів відновлення деталей в процесі ремонту, а також дотримання правил їх експлуатації.

В багатьох випадках надійність машин визначається довговічністю пар тертя, підвищенням зносостійкості деталей. Тому важливою проблемою є проведення робіт по додатковому пошуку засобів та методів зміцнення поверхневих робочих шарів, а також по підвищенню ефективності зміцнюючої обробки. Необхідно розширювати роботи по подальшому удосконаленню процесів зміцнення робочих поверхонь деталей як в процесі їх виготовлення, так і відновлення.

Тому актуальним є застосування методів пластичного деформування, при яких точність і необхідна якість поверхні деталей досягається ущільненням шарів матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує ряд досліджень по розробці способів покращення фізико-механічних властивостей зміцнюючого матеріалу деталей машин [1, 2].

Відомо, що спосіб поверхневого пластичного деформування (ППД) є ефективним способом, що забезпечує зміцнену структуру матеріалу оброблюваних деталей. Це дозволяє формувати зміцнений шар з більш високими показниками якості: підвищення твердості, глибини зміцнення, стискаючих залишкових напружень, що сприяють збільшенню ресурсу машин [3, 4].

Основними характеристиками ППД є параметри, що характеризують статичну або динамічну силу деформування.

Ефективність динамічного деформування, на нашу думку, залежить від параметрів оброблюваної деталі, її матеріалу, геометричних параметрів оброблюваного матеріалу, конструктивних рішень установки.

Слід відмітити, що в літературі недостатньо викладено застосування пластичного деформування в ремонтному виробництві, що викликає необхідність проведення самостійних досліджень [5].

Мета досліджень. Метою роботи є забезпечення показників якості зміцненого поверхневого шару матеріалу деталей за рахунок розробки основ управління технологічним процесом обробки їх матеріалу поверхневим пластичним деформуванням.

Результати досліджень. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі: визначити основні параметри обробки ППД при відновленні деталей машин; виявити технологічні параметри вібраційного деформування (форму, геометричні розміри обробного інструменту), що забезпечують необхідний ударний імпульс в осередку деформації.

Оцінку якості поверхневого шару проводили по наступним показникам: твердість матеріалу деталей після обробки; залишкові напруження (стискаючі і розтягуючі); параметри шорсткості; структура матеріалу до і після деформування [6].

Ступінь зміцнення (наклепу) визначали вимірюванням твердості HV та мікротвердості H_μ по глибині h оброблюваного матеріалу [7].

Зміна мікротвердості оцінювалася наступною залежністю:

$$\Delta H_\mu = \frac{H_\mu - H_{\mu 0}}{H_{\mu 0}}, \quad (1)$$

де H_μ – мікротвердість матеріалу деталей після зміцнення;

$H_{\mu 0}$ – вихідна мікротвердість матеріалу до обробки.

Мікроструктурні дослідження зразків після звичайної та вібраційної обробки проводились на шліфах, що виготовлялись по наступній методиці:

а) вирізаний зразок поміщався в оправку і заливався сумішшю з вихідних матеріалів пластмаси;

б) після остигання суміші приводилося грубе шліфування на абразивному крузі;

в) тонке шліфування проводилося по загальноприйнятій методиці;

г) полірування проводилося на сукні з водою протягом 15-20 хв.;

д) проявлення мікроструктури проводилось методом хімічного травлення.

Розрахункові значення ступеня зміцнення (наклепу) пустотілих циліндричних зразків (втулок) при куті нахилу $\beta = 11^\circ$ робочого органу представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення ступеня наклепу

Матеріал втулки	Припуск на обробку, мм	Ступінь наклепу (зміцнення)	
		Звичайне деформування	Вібраційне деформування
Ст 3	0,2	0,012	0,054
	0,4	0,021	0,060
	0,6	0,029	0,066
Ст 45	0,2	0,016	0,021
	0,4	0,024	0,031
	0,6	0,028	0,047
Бронза БрОЦС 5-5-5	0,2	0,024	0,035
	0,4	0,037	0,046
	0,6	0,041	0,060

Ступінь зміцнення зразків зі Ст 3 при припуску на обробку 0,6 мм в 1,13 рази вища при звичайній роздачі та в 1,94 рази при вібраційному деформуванні.

Ступінь зміцнення зразків з БрОЦС 5-5-5 при вібраційному деформуванні при припуску 0,6 мм в 1,46 рази більша порівняно зі звичайною роздачею.

Розроблена математична модель, що враховує величину деформації ε матеріалу та глибину h його зміцнення з частотою коливань n пуансона, твердість HV і амплітуду A коливання пуансона:

$$\varepsilon = 0,325 + 0,004n - 0,347 \frac{HV}{1000} + 0,005 \lg A. \quad (2)$$

Ступінь деформації зразків по зовнішньому діаметру в 1,48...1,55 рази більша при вібраційному деформуванні.

На сьогодні існує ряд методик [6] для визначення глибини зміцнення матеріалу в результаті вібраційного зміцнення.

При вібраційному деформуванні глибину зміцнення визначали по наступній залежності:

$$h = 1,54 \sqrt[4]{\frac{6n \cdot D}{HB}}, \quad (3)$$

де n – частота коливань пуансона;

D – діаметр калібруючого пояса пуансона.

Глибину наклепу (зміцнення) при звичайній обробці (роздачі) визначали через зусилля деформування P та межу текучості σ_T оброблюваного матеріалу:

$$h = \frac{1}{1,07} \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}. \quad (4)$$

Дослідженнями встановлено, що при однакових вихідних даних технологічного процесу глибина шару зміцнення складала 515 мкм, а при вібраційному навантаженні 790 мкм, тобто в 1,53 рази менша.

Після обробки матеріалу деталі в ньому залишаються радіальні, тангенціальні та осьові напруження внаслідок пластичної деформації. Останні при певних параметрах обробки можуть досягати значень, наближених до межі текучості σ_T , що призводять, як правило, до руйнування деталі.

Значення указаних напружень визначались методом послідовного зняття (видалення) розточування шарів матеріалу внутрішньої поверхні зразків, який дозволяє визначити величину та характер розподілу найбільш небезпечних тангенціальних напружень по товщині стінки деталі.

По даним послідовних розточувань будувались епюри залишкових напружень по товщині стінки зразка та в залежності від глибини його загартованого шару визначали граничну товщину стінки, при якій розточування припинялося. Глибина кожного розточування складала 0,6-0,8 мм.

Указані залишкові напруження після кожного розточування визначали по наступним залежностям.

Радіальні:

$$\sigma_R = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{F_H - F_{II}}{2F_{II}} \cdot \theta; \quad (5)$$

тангенціальні:

$$\sigma_T = \frac{E}{1-\mu^2} \left[(F_H - F_{II}) \cdot \frac{d\theta}{dF_{II}} - \frac{F_H - F_{II}}{2F_{II}} \cdot \theta \right]; \quad (6)$$

осьові:

$$\sigma_l = \frac{E}{1-\mu^2} \left[(F_H - F_{II}) \cdot \frac{d\Lambda}{dF_{II}} - \theta \right], \quad (7)$$

де E – модуль пружності;

μ – коефіцієнт Пуассона;

F_H – площа зовнішньої поверхні зразка;

F_{II} – площа поперечного перерізу зразка після кожного розточування.

Величини θ і Λ визначали за формулами:

$$\theta = \Delta d + \mu \Delta l; \quad \Lambda = \Delta l + \mu \Delta l \quad (8)$$

Потім розраховували значення похідних $\frac{d\theta}{dF_H}$ та $\frac{d\Lambda}{dF_{II}}$ і визначали залишкові напруження після кожного розточування (табл. 2).

Таблиця 2

Значення залишкових напружень

Номер розточування	Внутрішній діаметр після кожного розточування, мм	Напруження, МПа		
		σ_R	σ_T	σ_l
0	17,88	0	0	-178,9
1	17,94	-9,0	-13,9	+71,1
2	18,00	-3,7	81,2	+126,8
3	18,06	+6,2	160,4	+160,5
4	18,12	+12,1	222,4	+200,7

В умовах звичайного та вібраційного деформування на якість оброблюваної поверхні впливає висота калібруючого пояса. Одержані дані зміни шорсткості поверхні деформованих зразків представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Зміна шорсткості оброблених зразків

Висота калібруючого пояса, мм	Значення параметра R_a , мкм	
	Звичайне деформування	Вібраційне деформування
3	12,9	6,0
4	9,0	2,9
5	9,2	3,5
6	12,8	5,8

Установлено, що мінімальні значення шорсткості в обох видах навантажень, характерні для висоти калібруючої частини 4-5 мм.

Дослідженнями встановлено, що шорсткість залежить від припуску на обробку, кута нахилу робочої поверхні пуансона, зусилля та швидкості деформування.

На основі проведених досліджень технологічних можливостей поверхневого пластичного деформування виявлені технологічні фактори, що впливають на параметри якості поверхневого шару, та визначають його міцність (табл. 4).

Таблиця 4

Параметри якості вібраційної обробки

Конструктивно-технологічні та технологічні параметри ППД	Значення
1. Кут нахилу пуансона, β	10°-11°
2. Висота калібруючого пояса пуансона, h	4-5 мм
3. Амплітуда коливань	1,0-1,25 мм
4. Швидкість деформування	0,03-0,05 м/с
5. Частота коливань	2000-2200 хв^{-1}

Висновки. Поверхнєве пластичне деформування матеріалу деталей при їх відновленні (виготовленні) дозволяє підвищити властивості міцності, що сприяє підвищенню надійності машин в процесі експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Р.Г. Гаврилук. – К.: Каравелла, 2004. – 552 с.
2. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак. – Тернопіль: ВАТ «ТВПК», 2003, –332 с.
3. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малехов, М.І. Черновол та інш. – К.: Урожай, 1998. – 208 с.
4. Афтаназів І.С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням / І.С. Афтаназів. – Житомир. 2011. – 516 с.
5. Лапенко Т.Г. Упрочнение поверхностей деталей при обычном и вибрационном деформировании / Т.Г. Лапенко. БСХ. – Горки: 1998. – С. 110-115.
6. Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Клендій М.Б. та ін. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / А.С. Опальчук, Є.Г. Афтанділянц, М.Б. Клендій. – Ніжин: «Аспект-Поліграф». 2011. – 792 с.
7. Опальчук А.С. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / А.С. Опальчук, Є.Г. Афтанділянц, Л.Л. Роговський, О.Є. Семеновський, М.Б. Клендій, О.І. Біловод., І.А. Дудніков. – Ніжин: ПП Лисенко М.М. 2013. – 752 с.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2018

UDC: 004.415:681

В.В. Євсєєв*Харківський національний університет радіоелектроніки***ГРАФІЧНЕ ПОДАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ СХЕМИ І ОСНОВНИХ БАЗОВИХ ПОНЯТЬ ОПИСУ ВІЗУАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ І МОДУЛІВ В РІШЕННІ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ КІС ТПВ**

У даній статті пропонується новий підхід до графічного подання структури опису програмних продуктів і модулів для КІС ТПВ в рішенні задачі автоматизації проектування. На базі розробленого математичного опису властивостей і якостей елементів інтерфейсу користувача, а також їх взаємодії для мов високого рівня програмування була вдосконалена методологія структурних карт Константайна (СКК), фундаментальні елементи якого відповідають міжнародним стандартам IBM, ISO і ANSI. Розроблене графічне подання дозволить спростити складність опису параметрів візуалізації інтерфейсу користувача, функціонала програмного продукту, що проектується, задати всі необхідні вимоги, що пред'являються замовником, прив'язати до графічних елементів необхідні властивості та події з використанням «лінгвістичних змінних», які посилаються на певний «контейнер рішень» з уже реалізованими фрагментами програмного коду. Запропонована концепція дозволить скоротити час розробки програмного продукту або модуля для КІС ТПВ за рахунок зменшення ймовірності внесення змін на етапах тестування і впровадження, а також дозволить розрахувати вартість і час розробки на стадії складання ТЗ.

Ключові слова: карти Константайна, автоматизація, КІС ТПВ.

В.В. Евсеев*Харьковский национальный университет радиоэлектроники***ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ОСНОВНЫХ БАЗОВЫХ ПОНЯТИЙ ОПИСАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ И МОДУЛЕЙ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КИС ТПП**

В данной статье предлагается новый подход к графическому представлению структуры описания программных продуктов и модулей для КИС ТПП для решения задачи автоматизации проектирования. На базе разработанного математического описания параметров и свойств элементов интерфейса пользователя, а также их взаимодействия для языков высокого уровня программирования была усовершенствована методология структурных карт Константайна (СКК), фундаментальные элементы, которой соответствуют международным стандартам IBM, ISO и ANSI. Разработанное графическое представление позволит упростить сложность описания параметров визуализации интерфейса пользователя, функционала проектируемого программного продукта, задать все необходимые требования, предъявляемые заказчиком, привязать к графическим элементам необходимые свойства и события с использованием «лингвистических переменных», которые ссылаются на определенный «контейнер решений» с уже реализованными фрагментами программного кода. Предлагаемая концепция позволит сократить время разработки программного продукта или модуля для КИС ТПП за счет уменьшения вероятности внесения изменений на этапах тестирования и внедрения, а также позволит рассчитать стоимость и время разработки на стадии составления ТЗ.

Ключевые слова: карты Константайна, автоматизация, КИС ТПП.

V. Yevsieiev*Kharkiv National University of RadioElectronics***CONCEPTUAL SCHEME AND BASIC CONCEPTS GRAPHIC REPRESENTATION OF SOFTWARE AND MODULES VISUAL ELEMENTS DESCRIPTION IN CIS TPP DESIGN AUTOMATION PROBLEM SOLUTION**

In this article, we propose a new approach to the graphical representation of software and modules description structure for CIS TPP for design automation problem solution. On the basis of the developed user interface elements parameters and properties mathematical description, as well as their interaction for high-level programming languages, the methodology of the Constantine's structural maps (CSM) was improved, the fundamental elements that correspond to the international standards of IBM, ISO and ANSI. The developed graphical representation will simplify the complexity of describing user interface visualization parameters, projected software function, set all the necessary customer's requirements, link the necessary elements and events to the graphic elements using "linguistic variables" that refer to a certain "solution container" with already implemented program code fragments. The proposed concept will allow to reduce the time for software or module development for CCI TPP by reducing the possibility of introducing changes at the testing and implementation stages, and also will allow calculating the cost and development time at TT compilation stage.

Keywords: Constantine's structural maps, automation, CIS TPP.

Problem formulation. Development and improvement of computer-information systems of technological preparation of production (CIS TPP) for the specificity of each enterprise is a complex scientific and technical problem. At this time, much attention is paid to CIS TPP developing process,

during which it is necessary not only to develop a system, but also to determine at an early stage its cost, risk level and constructing complexity. Also at technical task (TT) preparation early stage, it is necessary to organize development correctly for software and software modules (SM). As a consequence, a complex scientific task arises to develop new methodologies for software and modules for CIS TPP design automation. Currently visual programming methods are widely used, but these methods do not solve the issues of calculating the cost at TT compilation stage and is determined experimentally by each developer, and therefore has a large error and statistically exceeds the declared minimum by 25% or more. Proceeding from the above, there actual task arises for design automation system development, that will enable software prototype development with the functional implementation and its structure it will allow to take into account all the customer's wishes and production specifics and TT compilation stages and to minimize the error in the software and SM estimated cost for CIS TPP.

Last Reseaches and Publications Analysis. Software and SM graphical representation existing methodologies and methods studies showed that to solve posed task following methods can be used:

- Heine-Sarson Structural Analysis (order of construction procedural oriented, using frequency 20,2 %)[1];
- Yodana De Marco Structural Analysis and Design (order of construction procedural oriented, using frequency 36,5 %)[2];
- Jackson Systems (building order oriented on data, using frequency 7,7 %)[3];
- Varnier-Orré Structural Systems (building order oriented on data, using frequency 5,8 %)[4];
- Martin Information Modeling (information-oriented building order, using frequency 22,1 %)[5];
- Constantine Methodology, signal-code structure (SCS) information (procedural-oriented building order of construction, using frequency 10,6 %)[6].

Based on the analysis, it was suggested to improve the method of Constantine, which makes it possible to simplify the complexity of the software or SM description for CIS TPP graphical representation.




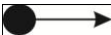
Tasks Set. This study main objective is to improve graphical representation method on the basis of Constantine's structural maps (CSM) methodologies for software and modules design automation for CIS TPP that will simplify main parameters describing process, properties and interrelationship between visual elements and will enable to graphically develop the structure of the developed software using "linguistic variables" and "solution containers" at TT compilation early stage.

Software and Software Modules for CIS TPP Basic Visual Elements Graphical Representation Development. Based on the fact that the software developed for CIS TPP in most cases is a multi-window solution, since problems solution specificity requires working with large amounts of data, hence for convenience in modern CAD / CAM / CAE / PLM systems need their grouping according to common logical characteristics, in accordance with this, a multi-window interface is used, which requires the development of a mathematical method for relationships between forms description. Based on the proposed mathematical descriptions of the main entities, rules and relationships [7,8], it is necessary to develop a graphical representation that will fully allow to display all the necessary information about the parameters and events that belong to each window, as well as the conditions for occurrence of events when the user interacts with one or another component of the interface. Let us denote by P developing software and SM for CIS TPP, that contains graphical forms ($Form$), in which user interface visual representation is implemented, and is structured according to the necessary logical principles, depending on the requirements for the presentation of information to the user. Let us denote by $Form_1^{master}$ main window existence for developing software or SM, and by $Form_n^{slave}$ possibility for additional windows existence, that obey $Form_1^{master}$, which allows to implement a multi-window user interface. Based on the methodology of object-oriented programming for the development environments of Windows-centric applications (RadStudioXE5, Visual Studio, etc.) $Form_1^{master}$ may be represented by sets $Form_1PE$, that represent main visual parameters $MP_1(mp_1^1, \dots, mp_i^1)$ of form display, and their values $PP_1(pp_1^1, \dots, pp_q^1)$ that they can take and events set $ME_1(me_1^1, \dots, me_h^1)$ which are inherent in each form and are regulated by the development environment. Event me_1^1 may have "linguistic variables" set $EA_1(ea_1^1, \dots, ea_z^1)$, which are set with the help of natural language, each "linguistic variables" (ea_z^1) refers to the "solution container" containing the program code (cod_n) or its fragment in the knowledge base, and solves the task


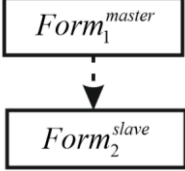
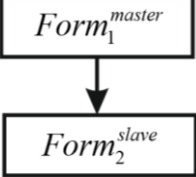
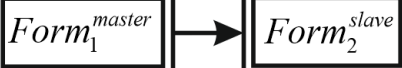
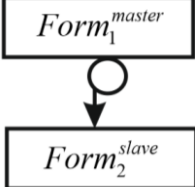
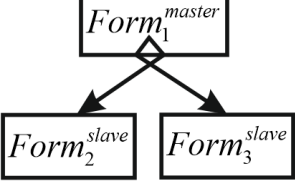
set by the customer in accordance with the TT requirements. Set CF_n describes presence of visual components CD_1^1 (Button, Grid, etc.) necessary for the implementation of the required graphical user interface. Performance CD_1^1 by such sets $PC_1^1(pc_1^1, \dots, pc_m^1)$ - main components visual parameters, and their values $PP_1^1(pp_1^1, \dots, pp_q^1)$, and events set $CE_1^1(ce_1^1, \dots, ce_w^1)$, where to each ce_w^1 belongs "linguistic variables" set $EA_1^1(ea_1^1, \dots, ea_z^1)$ which are set with the help of natural language and its description presented above [9]. For required properties graphical representation (*Form*), it is proposed to improve the Constantine method, the main blocks are presented in the Table 1.

Table 1

**Visual Elements Description Basic
Concepts Graphical Representation Basic Blocks**

Graphical Representation	Description
<p style="text-align: center;">1</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;"> $Form_1^{master}$ $mp_1^1 = pp_1^1$ $mp_2^1 = pp_2^1$... $mp_t^1 = pp_q^1$ </div>	<p style="text-align: center;">2</p> <p>$Form_1^{master}$ - main user window without events and components; $mp_1^1, mp_2^1, \dots, mp_t^1$ - set of parameters, where 1 in uppercase denotes the membership of this parameter $Form_1^{master}$, and in the lower case its numbering in the set MP_1; $pp_1^1, pp_2^1, \dots, pp_q^1$ - the value assigned to a particular mp_t^1 (the value depends on the parameter and on the development environment).</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;"> $Form_1^{master}$ $mp_1^1 = pp_1^1$ $mp_2^1 = pp_2^1$... $mp_t^1 = pp_q^1$ <hr/> $me_1^1 = ea_z^1$ </div>	<p>$Form_1^{master}$ must process some event me_1^1 (closing a window, activating or creating) to which "linguistic variable" is assigned ea_z^1 which refers to a specific "solution container" that contains a code fragment that performs certain actions.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;"><i>Library</i></p> </div>	<p>The knowledge base of all possible existing "Linguistic variables" (set $EA_1^1(ea_1^1, \dots, ea_z^1)$), which are set by the user of software and SM for CIS TPP automated design system</p>
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; margin: 5px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;"><i>Domain</i></p> </div>	<p>A set of global variables (digital or logical) that transfer the necessary data between $Form_1^{master} \xrightarrow{\text{Domain}} Form_2^{slave}$ provided that $(Form_1^{master}, Form_2^{slave}) \in P$, necessary for further work</p>
<div style="text-align: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;"> $Form_1^{master}$ </div> </div>	<p>Initialization $Form_1^{master}$ provided that no data is transferred to it.</p>
<div style="text-align: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;"> $Form_2^{slave}$ $CD_1^2(pc_m^1)$ </div> </div>	<p>Transferring the result of the "Solution Container" to the graphical element CD_1^2 on the parameter pc_m^1, that is situated at $Form_2^{slave}$. Example output to a graphic element Edit (CD_1^2) to parameter Text (pc_m^1) "Solution Container" result execution.</p>
<div style="text-align: center;">  </div>	<p>Communication by data (variables)</p>
<div style="text-align: center;">  </div>	<p>Communication on the control of events CD_1^2 visual elements through the "solution container"</p>

Continuation of Table 1

	<p>Flow - call $Form_1^{master}$ in $Form_2^{slave}$. Used to graphically mark the execution of asynchronous and synchronous operations, which allows the execution of long operations and in parallel with this work with the interface $Form_1^{master}$</p>
	<p>Parallel call - work with asynchronous operations, which allows for long-term calculations to interact with $Form_1^{master}$, and the result of the execution will be displayed in $Form_2^{slave}$.</p>
	<p>Serial call - working with the graphical interface $Form_1^{master}$ is blocked for the user until a long operation is performed, the result is displayed in the $Form_2^{slave}$, after the end of the user's work with $Form_2^{slave}$ by results of which it will be closed, the user can continue working with $Form_1^{master}$.</p>
	<p>$Form_1^{master}$ calls $Form_2^{slave}$ as a coroutine that uses the principle of multi-threaded code, without requiring the presence of multiple threads, and can be performed within a single thread. Within these studies, when developing automated control system of technological production preparation, coroutines are useful for implementing finite state machine methods, actors model, and generators (iterators).</p>
	<p>The loop is intended for instructions set repeatedly execution organization until the conditions are met. "Solution container" which implements a cycle belonging to an event (me_1^1) $Form_1^{master}$ or event (ce_w^1) of an element CD_n^1 on its implementation initializes the transfer of the result (just a call) $Form_2^{slave}$.</p>
	<p>Branching "Solution container" provides execution of certain commands sets (command) under conditions of truth of some logical expression. It can exist with one branch, with two branches, with several conditions. When "Solution Container" is run, which belongs to the $Form_1^{master}$ depending on the fulfillment of the truth conditions, can initialize / transmit the result $Form_2^{slave}$ or $Form_3^{slave}$</p>

Based on the proposed descriptions in Table 1, the main blocks of the graphical representation of the software and SM visual elements for CIS TPP description basic concepts, we give an example of the fragment of the development of the main window of the "Automated system for accelerometer production technological process design "AcCAM" copyright certificate of Ukraine No. 65348 of 16.05.16 with the using of "Automated System for Designing Software for the CIS TPP "CAD-Programming Code", author's certificate of Ukraine No. 65348 of 09.11.2017, in which a new methodology and concept for solving the automation task were implemented.

Let us represent developing system "AcCAM" as a visual windows interaction logically grounded structure, which is necessary for the task set by the customer solution. The enlarged graphical representation of the conceptual scheme and the main visual elements of the "AcCAM" program are presented in the Figure 1.

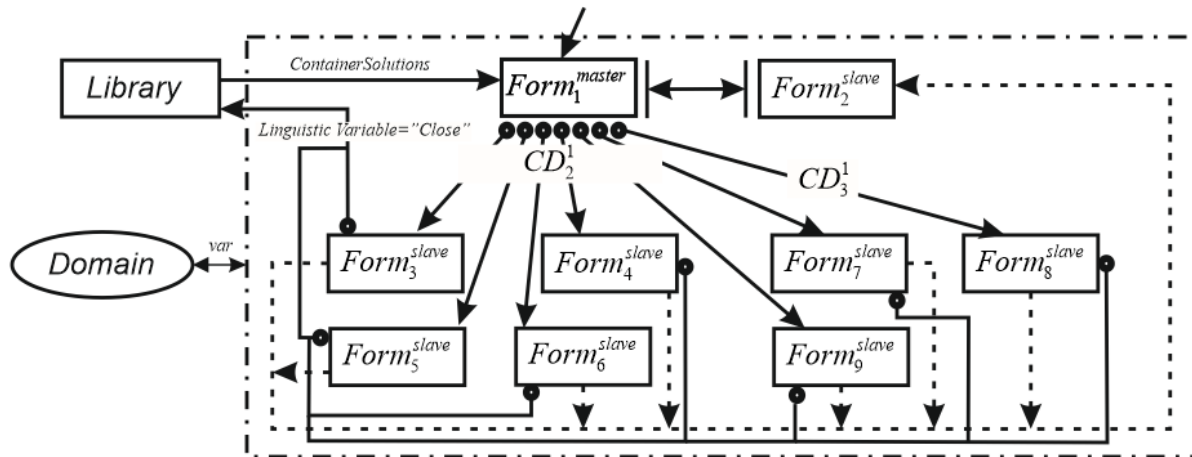


Figure 1 – Enlarged Graphical Representation of the Conceptual Scheme and the Main Visual Elements of the "AcCAM" Program

Let us describe the main graphic elements of the conceptual scheme:

$Form_1^{master}$ – the user initializes the main window, without data transmission, the fragment of the visual components structure is shown in Figure 2, and the description of the main parameters and events in Figure 3.

$Form_2^{slave}$ – DataModule contains not visual elements of work with the database and is called as an integral part of $Form_1^{master}$;

$Form_3^{slave}$ – window for adding new stages, is called using a visual element PopupMenu, which is bound to the parameter PopupMenu by right-clicking on an element DBGidEh, which is on GroupBox parameter Caption:= "Stage name";

$Form_4^{slave}$ – window for adding new equipment, is called with the help of a visual element PopupMenu, which is bound to the parameter PopupMenu by right-clicking on an element DBGidEh, which is on GroupBox parameter Caption:= "Equipment name";

$Form_5^{slave}$ – window for adding new operations, is called with the help of a visual element PopupMenu, which is bound to the parameter PopupMenu by right-clicking on an element DBGidEh, which is on GroupBox parameter Caption:= "Operations";

$Form_6^{slave}$ – window for adding new transitions, is called using the visual element PopupMenu, which is bound to the parameter PopupMenu by right-clicking on an element DBGidEh, which is on GroupBox parameter Caption:= "Tansitions";

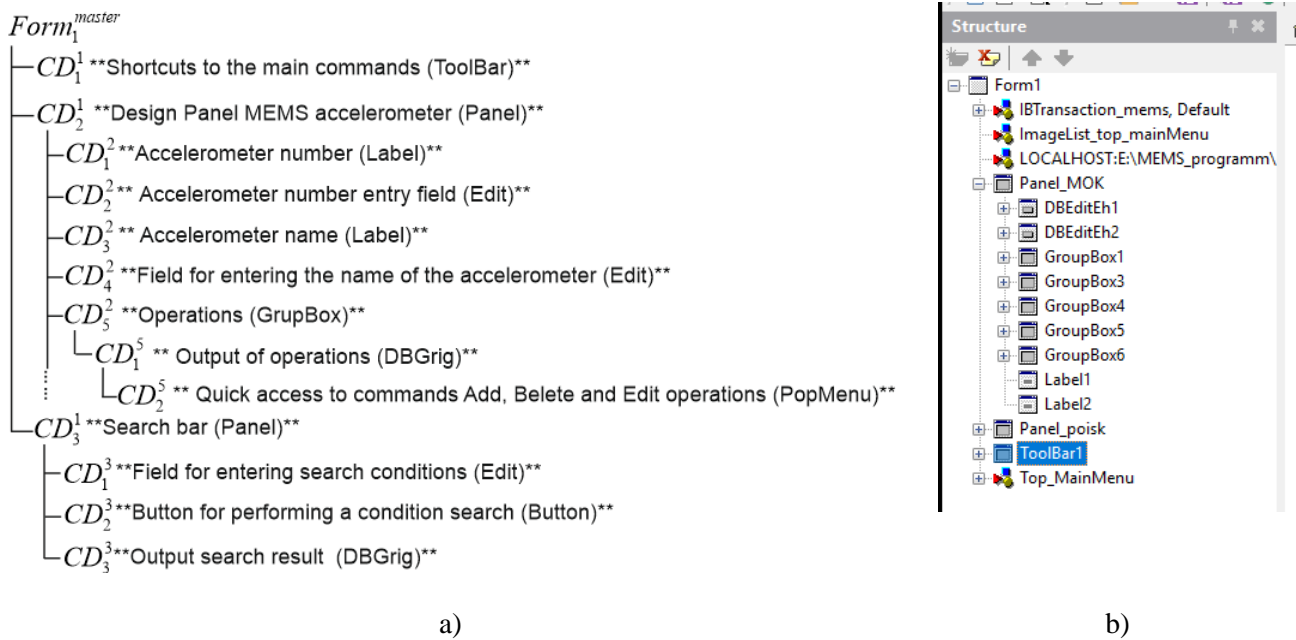
$Form_7^{slave}$ – window for editing transitions, is called with a visual element PopupMenu, which is bound to the parameter PopupMenu by right-clicking on an element DBGidEh, which is on GroupBox parameter Caption:= "Tansition parameters";

$Form_8^{slave}$ – called through the graphic element CD_2^3 (Button), which is on CD_3^1 (Panel Search bar), which belongs to $Form_1^{master}$.

After performing the actions in $Form_3^{slave}$, $Form_4^{slave}$, $Form_5^{slave}$, $Form_6^{slave}$, $Form_7^{slave}$, $Form_8^{slave}$ required by the user, the user performs the action with the help of visual elements Button1 and Button2, Button1 performs the "Save" action, and Button2 performs the "Close" action. Figure 1 shows the action LinguisticVariable with name "Close", which refers to the Library of CAD-Programming Code automated system and returns a ContainerSolution that contains the program code. Domain – contains all necessary variable names that are necessary for data transfer within the developed program «AcCAM».

Initially, the tree of automated system "AcCAM" main window all visual elements belonging was developed. At the request of the customer, the development environment was "RadStudio XE6". Main window tree structure fragment with visual elements designed in the "CAD-Programming Code

automated system" (a) and the result of generating the given structure in RadStudio (b) is shown in Figure 2



a) Main window tree structure fragment with visual elements "AcCAM"

b) Resulting tree in development environment RadStudio XE6

Figure 2 – Result of Main Window Given Structure Generating "AcCAM" Using "CAD-Programming Code"

Fragment of main program window main parameters and events graphical description "AcCAM" ($Form_1^{master}$) without visual components is shown in Figure 3.



Figure 3 – "AcCAM" Main Window Parameters and Events

Figure 3 shows the minimum permissible parameters and their values set of for generation of an empty form with the name " MEMC Accelerometers Production Process Design" with an icon and a binding at $Form_1^{master}$ of visual component Top_MainMenu. This form has also to process events OnCreate, OnShow, Menu the program code of which is set with the help of linguistic variables (in this example the Russian language was used) "Call the menu", "Connect to the database", "Output user's name" which are set in natural language.

Solution container example (program code) for the linguistic variable "Connect to the database" generated by the "CAD-Programming Code" automated system and adapted by the programmer for the name of the components IBDatabase, IBTransaction, etc. is presented below.

```

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  IBDatabase_mems.Open;
  IBTransaction_mems.StartTransaction;
  IBDataSet_nac_etap.Active:=true;
  IBDataSet_nac_oborud.Active:=true;
  Panel_poisk.Visible:=False;
  Panel_MOK.Visible:=True;
end;

```

Solution container example (program code) for the linguistic variable "Output user's name" is the following:

```

procedure TForm1.FormShow(Sender: TObject);
var
  UserName,result : string;
  UserNameLen : Dword;
begin
  UserNameLen := 255;
  SetLength(userName, UserNameLen);
  if GetUserName(PChar(userName), UserNameLen) then
  begin
    Result := Copy(userName,1,UserNameLen - 1);
    Form1.Caption:=Form1.Caption+result;
  end
end
else
  Result := 'Unknown';
end;

```

On an example the description of the basic parameters and events and also structure $Form_1^{master}$, generation of the developed automated system "AcCAM" program code was implemented for the environment RadStudio XE6. Figure 4 shows the result obtained in the "Designer window"

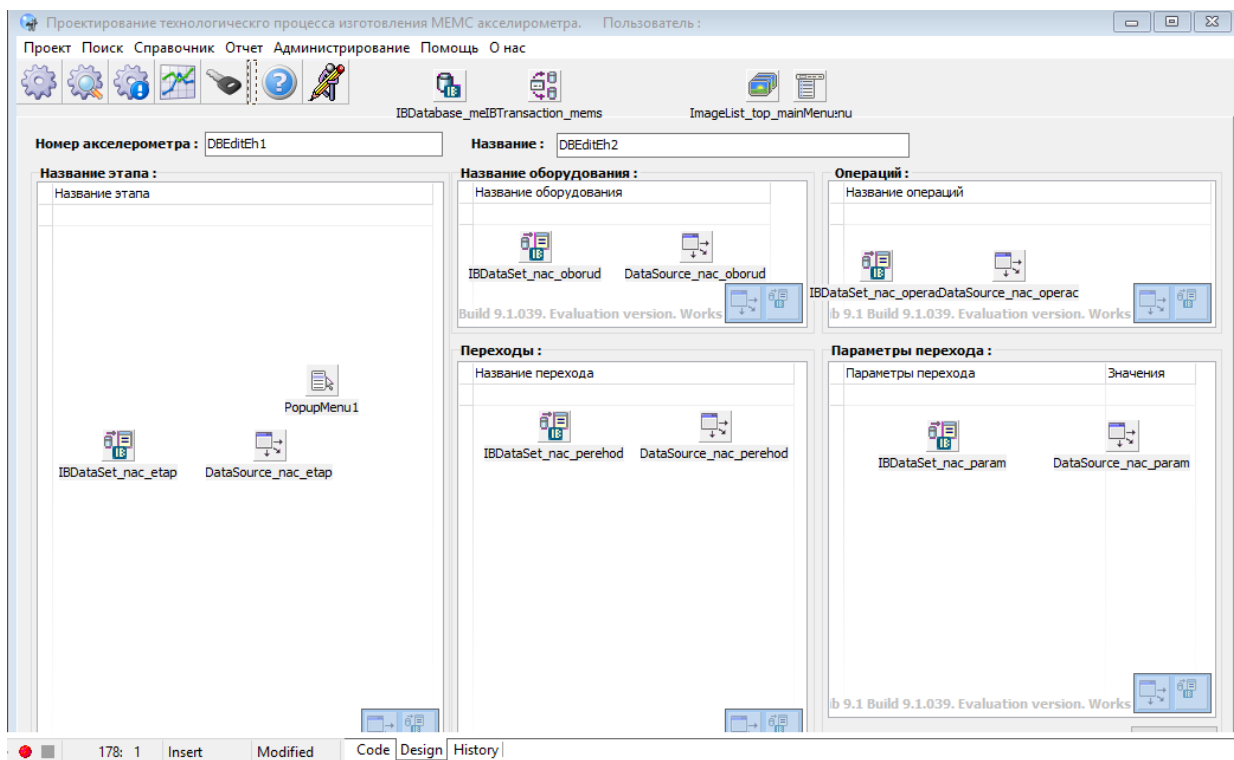


Figure 4 – "AcCAM" Automated System Main Window ($Form_1^{master}$) Obtained Result

Conclusion. A graphical representation of software and modules visual elements description conceptual scheme and basic concepts for solving the problem CIS TPP design automation. It is implemented at "CAD-Programming Code". It allowed to obtain the following results with "Automated system for accelerometer production technological process design "AcCAM" design: reduce the user interface design time up to 15%, writing code up to 30% (it is possible to increase if the database is expanded with "Solution Containers"). At TT compilation early stage the user interface was shown and coordinated with the customer's preferences. In the future, it is planned to develop own language and syntax for describing software design for CIS TPP based on the use of natural language.

References.

1. Дэвид А. Марка, Клемент Л. МакГоуэн Методология структурного анализа и проектирования SADT. -М.:1993, 243с
- 2 Thomas A.Bruce. Designing Quality Databases with IDEF1X Information Models. - New York: Dorset house publishing, 1992. - 548 p.
- 3 Barker R. CASE Method. Entity-Relationship Modeling. - N.Y.: Addition-Wesley Publishing Company, 1991. - 431 p
4. Design/CPN User's Manual, Version 1.5: Meta Software Corporation. - Cambridge, Massachusetts. - 1989. - 387 p.
5. Jensen K., Rozenberg G. High-level Petri Nets: theory and application. - Berlin: Spingler-Verlag. - 1991. - 120 p.
6. Гейн К., Сарсон Т. Системный структурный анализ: средства и методы. – М.: Эйтэкс,2010.-545с.
7. V. Yevsieiev Program code automated system development at early stage of software life cycle // Наукові праці донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація», №1(30)-2017. Покровськ .,-157с. с.69-78с ISSN 2075-4272
8. I. Nevlyudov, V. Yevsieiev , S. Miliutina, K. Kollesnyk Object semantic model for life cycle model "Jamp // CAD in Machinery Design. Implementation and Educational Issues. 25 Proceedings of Polish- Ukrainian Conference CADMD'2017, October 20-21, 2017, Bielsko Biala, 31-32 P

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018

УДК 628.1.033:628.336

І.Б. Засідко¹, М.С. Полутренко², О.М. Мандрик²¹Державне агентство водних ресурсів України²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**ВИКОРИСТАННЯ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД ЯК СТРУКТУРОУТВОРЮЮЧОГО КОМПОНЕНТУ У ВИРОБНИЦТВІ ЦЕГЛИ**

Державне регулювання сфери поводження з відходами спрямовується на реалізацію національної політики охорони навколишнього природного середовища та ресурсозбереження. Важливим напрямом ресурсозбереження є залучення до виробництва сировинного ресурсу промислових та побутових відходів. До таких відходів належать осади стічних вод (ОСВ) комунальних підприємств. За можливістю використання ОСВ входять в групу відходів, що можуть бути використані як вторинна сировина та домішки до первинної сировини.

В роботі обґрунтовано можливість використання ОСВ як структуроутворюючого компонента при виробництві цегли повнотілої рядової. Встановлено, що введення модифікуючої добавки ОСВ в керамічну масу дозволяє покращити якісні показники цегли – підвищити пористість, знизити щільність та зменшити теплопровідність цегли повнотілої рядової. Використання ОСВ при отриманні цегли вирішує екологічні проблеми, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища, розширює сировинну базу для керамічних матеріалів.

Ключові слова: ресурсозбереження, вторинна сировина, модифікуюча добавка, керамічна маса

І.Б. Засідко¹, М.С. Полутренко², О.Н. Мандрык²¹ Государственное агентство водных ресурсов Украины² Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД КАК СТРУКТУРООБРАЗУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА В ПРОИЗВОДСТВЕ КИРПИЧА**

Государственное регулирование сферы обращения с отходами направлено на реализацию национальной политики охраны окружающей природной среды и ресурсосбережения. Важным направлением ресурсосбережения является привлечение в производство сырьевого ресурса промышленных и бытовых отходов. К таким отходам принадлежат осадки сточных вод (ОСВ) коммунальных предприятий. По возможности использования, ОСВ входят в группу отходов, которые применяются в качестве вторичного сырья и в качестве примесей к первичному сырью.

В работе обоснована возможность использования ОСВ как структурообразующего компонента в производстве кирпича полнотелого рядового. Установлено, что введение модифицирующей добавки ОСВ в керамическую массу, позволяет улучшить качественные показатели кирпича – повысить пористость, снизить плотность и уменьшить теплопроводность кирпича полнотелого рядового.

Использование ОСВ в производстве кирпича решает экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды, расширяет сырьевую базу для керамических материалов.

Ключевые слова: ресурсосбережение, вторичное сырье, модифицирующая добавка, керамическая масса

I.B. Zasidko¹, M.S. Polutrenko², O.M. Mandryk²¹ State Agency of Water Resources of Ukraine² Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**USAGE OF SEWAGE SLUDGE AS A STRUCTURE-FORMING COMPONENT IN THE PRODUCTION OF BRICKS**

The governmental regulation of waste management field aims at implementing the national environmental protection policy and resource conservation. An important trend of resource conservation is using raw material resources of industrial and domestic waste in the production. Such waste includes sewage sludge from the utilities. Sewage sludge is classified by intended use as a group of waste, which can be applied as secondary raw materials and admixtures to primary raw materials.

The given research work substantiates the possibility of using sewage sludge as a structure-forming component in the production of ordinary solid bricks. It was found out that adding a modifying additive - sewage sludge - to the ceramic mass can improve the quality characteristics of bricks - increase porosity, reduce density and thermal conductivity of ordinary solid bricks. The use of sewage sludge in the production of bricks solves the ecological problems, associated with environmental pollution, expands the raw material base for ceramic materials.

Key words: resource conservation, secondary raw materials, a modifying additive, ceramic mass.

Актуальність проблеми.

Однією з найактуальніших суспільних і соціальних проблем в Україні є проблема поводження з відходами, обмеження їх негативного впливу на навколишнє природне середовище. В останні десятиліття катастрофічно зростають масштаби утворення та накопичення відходів, що призводить до відчуження нових територій та забруднення довкілля. Одним з таких видів відходів, кількість яких зростає, є осади стічних вод (ОСВ).

Загальна кількість ОСВ в Україні перевищила 5 млрд. т, до яких щорічно додається ще 3 млн. т нових осадів. Для зберігання такої кількості осадів із господарського обороту вилучено більше 10 тис. га землі і з кожним роком ця територія збільшується. Подальше зростання об'ємів осадів стічних вод збільшує навантаження на мулові карти, вимагає розширення площ для їх зберігання і саме цим робить питання їх утилізації актуальним [1-2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

ОСВ містять значну частку ресурсно-цінних компонентів, які можуть бути використані як вторинна сировина. Проте, тільки незначна частина осадів утилізується, оскільки ОСВ є багатокомпонентними відходами і для їх перетворення у якісну вторинну сировину необхідні додаткові технологічні операції, що можуть ускладнювати процес утилізації.

Поширений метод утилізації осадів стічних вод – це їх застосування в якості наповнювача в асфальтобетон та в підстилаючий шар дорожнього покриття. При приготуванні асфальтобетонної суміші мінеральний порошок замінюють наповнювачем з висушеного осаду стічних вод. Дослідженнями встановлено, що осадки стічних вод за своїми фізико-механічними властивостями подібні до мінерального порошку-компонента асфальтобетону [3]. Одним із перспективних напрямів утилізації ОСВ є їх використання у виробництві керамічних матеріалів. При цьому ОСВ є інтенсифікатором плавлення та вигоряючою добавкою [4-7].

Метою досліджень є встановлення можливості використання ОСВ як структуроутворюючого компоненту при виробництві цегли.

Методика експерименту.

Для встановлення можливості використання ОСВ як структуроутворюючого компоненту при виробництві цегли дослідження проводили у два етапи. На першому етапі ОСВ перед введенням в керамічну масу проходили попередню обробку шляхом зневоднення, подрібнення, а потім їх піддавали піролізу – прокалювали в безкисневому середовищі при температурі 600-700°C. При цьому ОСВ перетворюються на горючий газ, а оксиди металів залишаються в камері газифікації і їх використовують як модифікуючу добавку.

На другому етапі готували шихту для випалу цегли з жовтої і сірої глини у співвідношенні 65 % і 35 %. Сировину подрібнювали, змішували і зволожували до формувальної вологості і тоді в масу вводили модифікуючу добавку в кількості 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 % та 10 % від маси зразка. Лабораторні зразки формувались в металічних формах розміром 50*50*15 мм за допомогою дерев'яного молотка. На сформованих зразках вказували відсоток ОСВ та залишали для повітряного висушування протягом 5 діб, а потім випалювали. Випал лабораторних зразків проводився в електричній печі при температурі 950°C за таким режимом:

- підйом від 20 °С до максимальної температури зі швидкістю 120 °С /год – 7,5-8 годин;
- витримка при кінцевій температурі - 2 години [8].

Отримані після випалу зразки проходили лабораторні випробування в процесі яких визначалися їх фізико-механічні властивості: водопоглинання, щільність, пористість, теплопровідність та міцність.

Результати дослідження та обговорення.

В результаті досліджень встановлено, що керамічна маса непридатна для отримання цегли лицьової, оскільки на поверхні зразків виявлено видимі крапини ОСВ, проте може бути використана для цегли повнотілої рядової, якщо фізико-механічні показники будуть відповідати вимогам нормативної документації [9].

При визначенні фізико-механічних показників одним із перших визначали водопоглинання і зразки, водопоглинання яких становить 11 % – 13 %, досліджені на пористість та щільність. Встановлено, що пористість зразків збільшується із збільшенням вмісту модифікуючої добавки, а їх щільність відповідно зменшується, при цьому міцність на стиск відповідає марці М 125 (таблиця 1).

Таблиця 1.

Пористість та щільність лабораторних зразків

№ з/п	ОСВ, %	Пористість, %	Щільність, кг/м ³	Міцність при стиску, кгс/м ³
1	1	8,00	1650	125,9
2	2	8,10	1632	125,6
3	3	8,13	1609	125,5
4	4	8,22	1595	125,3
5	5	8,30	1570	125,0

Аналіз фізико-механічних властивостей лабораторних зразків вказує на те, що найбільш ефективним буде введення модифікуючої добавки ОСВ в кількості 5 % від маси цегли. При такій кількості добавки пористість цегли найбільша, щільність найменша і міцність цегли при стиску відповідає марці М 125.

Проведено порівняльні дослідження фізико-механічних властивостей лабораторних зразків з модифікуючою добавкою в кількості 5 % від маси цегли із властивостями цегли, виготовленої за технологічним регламентом підприємства Івано-Франківського ПАТ «Будівельні матеріали». Окрім пористості, щільності та міцності визначено теплопровідність зразків, яка залежить від щільності цегли і зменшується зі зниженням щільності цегли (таблиця 2).

Таблиця 2.

Порівняльний аналіз зразків цегли

№ з/п	Показники	Стандартні зразки	Зразки з добавкою 5 % ОСВ
1	Пористість, %	8,00	8,30
2	Щільність, кг/м ³	1650	1570
3	Теплопровідність, Вт/м*К	0,62	0,60
4	Марка міцності	125	125

Порівняльний аналіз стандартних зразків цегли, отриманих за технологічним регламентом підприємства Івано-Франківське ПАТ «Будівельні матеріали» із зразками з добавкою 5 % ОСВ підтверджує, що в результаті введення модифікуючої добавки ОСВ в керамічну масу пористість збільшилась на 4 %, щільність зменшилась на 5 %, теплопровідність знизилася на 3,2 %, а міцність цегли не змінюється. Отже, покращилися значення всіх фізико-механічних показників. Отриманню таких результатів сприяло те, що ОСВ – це полідисперсна багатокомпонентна система, яка завдяки вмісту органічних і неорганічних компонентів є універсальним структуроутворювачем.

Для отримання якісної цегли необхідна глина з відповідним вмістом елементів. Дуже важливою характеристикою глини є вміст у ній глинозему Al_2O_3 та кремнезему SiO_2 . Глинозем є тугоплавким мінералом (тем.пл. 2044⁰С) і в нашій сировині вміст глинозему становить 4 %-15 %, кремнезем має каркасоутворюючі властивості і його вміст в глині становить 51 %-74 % (тем.пл. 1714⁰С). В глинах частина кремнезему знаходиться у зв'язаному вигляді в глиноутворюючих мінералах і в незв'язаному вигляді як домішка. Кальцій міститься у вигляді карбонатів і сульфатів, а магній – у вигляді доломіту, загальна їх кількість не перевищує 10 %. Сполуки кальцію і магнію переважно негативно впливають на міцність керамічних виробів і якщо їх вміст більше 20 %, то глина не використовується без відповідної обробки. Оксиди заліза, титану та інших металів містяться в глинах у кількостях до 10 %-12 %. Найбільший вплив мають оксиди заліза, які знаходяться у вигляді оксиду Fe_2O_3 і гідроксиду $Fe(OH)_3$. Вони покращують спікання виробів та надають їм забарвлення. Калій і натрій входять у глини у вигляді лужних оксидів в кількості 3 %-5%. Сірка присутня в глинах у різних сполуках, її вміст незначний і не має негативного впливу на якість стінових керамічних виробів[10-12].

З погляду випалу глина представляє собою суміш легкоплавких та тугоплавких мінералів. При випалі легкоплавкі мінерали зв'язують і частково розчиняють тугоплавкі мінерали. Структура і міцність цегли після випалу визначається процентним співвідношенням цих мінералів, температурою і тривалістю випалу. В процесі випалу легкоплавкі мінерали утворюють склоподібну фазу, а тугоплавкі – кристалічну фазу. З підвищенням температури все більше тугоплавких мінералів переходить у розплав і зростає вміст склофазы, підвищується морозостійкість і знижується міцність цегли. При збільшенні тривалості випалу зростає процес дифузії між склоподібною і кристалічною структурою. У місцях дифузії виникає велика механічна напруга, оскільки коефіцієнт термічного розширення тугоплавких мінералів перевищує цей коефіцієнт легкоплавких мінералів, що і приводить до зниження міцності цегли. Після випалу частка склоподібною фазы має складати не більше 8 %-10 % і тому температурний режим та тривалість випалу підбирається так, щоб забезпечити максимальну міцність цегли [13].

Хімічний склад ОСВ дуже важливий для технологічного процесу виробництва цегли. В склад осадів входять оксиди алюмінію та заліза в кількості 5,8 % та 7,8 % відповідно вони покращують процеси спікання глини, оксид кальцію, вміст якого рівний 19 %, буде використовуватися в якості інтенсифікатора спікання, адже він є сильним плавнем внаслідок

утворення з Al_2O_3 і SiO_2 порівняно легкоплавких сполук. Мікроелементи, що входять в склад ОСВ, впливають на баланс внутрішніх сил в процесі формування структури цегли і змінюючи степінь гідrataції обмінних іонів у глині, вони змінюють вміст різних категорій води і мікроструктуру цеглини-сирця. Домішки важких металів виконують роль гетерогенних кристалізаторів, сприяють кристалізації розплаву.

Модифікуюча добавка після введення в глину поступово і повільно вбирає вологу з глини, не збільшуючи концентрацію дисперсної фази, прискорює структуроутворення і коагуляційні процеси в глині, сприяє більш рівномірній сушці по всьому об'єму цегли і значить сприяє зменшенню напружень, що виникають при сушці, що приводить до підвищення якості готової продукції.

Висновки:

1 У виробництві цегли глина і модифікуюча добавка ОСВ об'єднуються завдяки високій дисперсності і гідрофільності, здатності до сорбції і іонного обміну.

2 Введення модифікуючої добавки в керамічну масу дозволяє підвищити пористість, знизити щільність та зменшити теплопровідність цегли повнотілої рядової.

3 Використання техногенної сировини при отриманні цегли сприяє утилізації осадів стічних вод, вирішує екологічні проблеми, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища, розширює сировинну базу для керамічних матеріалів.

Список використаних джерел:

1 Міністерство екології та природних ресурсів України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. LAT & K. – 2012. – 258 с.

2 Міністерство екології та природних ресурсів України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2012 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. Київ: ТОВ «Центр», 2013. – 415 с.

3 Бреус Р.В. Зниження об'ємів накопичення відходів водоочищення – осадів стічних вод, шляхом їх утилізації в асфальтобетон; автореф. дис. канд. техн. наук: 21.06.01/ Р.В. Бреус; Український науково-дослідний інститут екологічних проблем. – Харків, 2007. -20с.

4 Гироль Н.Н. Разработка технологии производства керамического гравия из осадков промстоков водоочистой станции для их утилизации / Н.Н. Гироль, С.Д. Бойчук, В.А. Мякишев и др. // Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов НАПКС. – Симферополь, 2006. - № 15-16. - С. 143-147.

5 Патент RU 2481303. Керамическая композиция для изготовления легковесного кирпича МПК С 04 В 33/132. / Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С.; владельцы патента: автономное муниципальное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарская академия государственного и муниципального управления", патентный поиск, 2012-2017, <http://www.findpatent.ru/patent/248/2481303.html>.

6 Абдрахимов В.З. Експериментальне дослідження теплопровідності легковажкої цегли на основі бейделітової глини і горілих порід. / В.З.Абдрахимов, Е.А.Белякова, Д.Ю.Денисов // Вогнетриви та технічна кераміка. - 2010. - № 11-12. - С.49-52.

7 Абдрахимов Д.В. Керамический кирпич из отходов производств / Д.В.Абдрахимов, Е.С.Абдрахимова, В.З.Абдрахимов//Строительные материалы.- 1999. - №9. - С. 34-35.

8 Технологічний регламент виробництва цегли Івано-Франківського заводу ПАТ «Будівельні матеріали», 2010.

9 ДСТУ Б.2.7-61:2008. Вироби бетонні стінові дрібно штучні. Технічні умови – К., Мінрегіонбуд України, 2009. – 51 с.

10 Кривенко П.В. Будівельне матеріалознавство. – К, ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. –704 с.

11 Юхневський П.І., Широкий Г.Т. Будівельні матеріали та вироби. – Мн, УП «Технопринт», 2002. – 293 с.

12 Лукин Е.С. Технический анализ и контроль производства керамики: учеб. пособие для техникумов / Е. С. Лукин, Н. Т. Андрианов. - изд. 2-е, пер. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 272 с.

13 Леонович С.Н., Петренко С.В. Основи фізики твердого тіла. – Мн, УП «Технопринт», 2002. – 270 с.

Стаття надійшла до редакції 21.02.2018

Д.О. Зуєв¹, А.В. Кропачев², О.Є. Усов³, Д.М. Мостовщиков⁴
 провідний архітектор мереж і хмарних обчислень, США¹
 керівник департаменту рішень автоматизації Bell Integrator USA²
 ПАТ СК "Росгострах" Росія³
 керівник відділу рішень системої інсталяції Bell Integrator, Росія⁴

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ В РАМКАХ ПАРАДИГМИ «ІНТЕРНЕТУ ВСЬОГО»

Розглянуто тенденції розвитку хмарних сервісів в рамках парадигми «Інтернету Всього». Проведено аналіз взаємодії вузлів Інтернету Всього на рівнях машина-машина, людина-машина, людина-людина. Показані моделі надання послуг і особливості віртуалізації апаратно-програмних ресурсів хмарних сервісів. Розглянуто класифікацію кібер-загроз на прикладі життєвого циклу віртуальної машини як комплексу програмно-апаратних ресурсів хмарного сервісу. Запропоновано математичну модель визначення ефективності роботи нейромережі як частини інфраструктури хмарного сервісу. Розглянуто основні переваги туманних і росистих сервісів.

Ключові слова: хмарні сервіси, автоматизація сервісу, віртуалізація інфраструктури, штучна нейронна мережа, туманні обчислення, росисті обчислення.

Д.О. Зуев¹, А.В. Кропачев², А.Е. Усов³, Д.Н. Мостовщиков⁴
 независимый консультант, ведущий архитектор сетей и облачных вычислений, США¹
 руководитель департамента решений автоматизации Bell Integrator USA²
 технический архитектор ПАО СК "Росгострах", Россия³
 руководитель отдела решений системной инсталляции Bell Integrator, Россия⁴

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В РАМКАХ ПАРАДИГМЫ «ИНТЕРНЕТА ВСЕГО»

Рассмотрены тенденции развития облачных сервисов в рамках парадигмы «Интернета Всего». Проведен анализ взаимодействия узлов Интернета Всего на уровнях машина-машина, человек-машина, человек-человек. Показаны модели предоставления услуг и особенности виртуализации аппаратно-программных ресурсов облачных сервисов. Рассмотрена классификация кибер-угроз на примере жизненного цикла виртуальной машины как комплекса программно-аппаратных ресурсов облачного сервиса. Предложена математическая модель определения эффективности работы нейросети как части инфраструктуры облачного сервиса. Рассмотрены основные преимущества туманных и росистых сервисов.

Ключевые слова: облачные сервисы, автоматизация сервиса, виртуализация инфраструктуры, искусственная нейронная сеть, туманные вычисления, росистые вычисления.

D.O. Zuev¹, A.V. Kropachev², A.Ye. Usov³, D.N. Mostovshchikov⁴
 Independent Consultant Lead Architect, Network and Cloud, USA¹
 Bell Integrator USA Automation Solution Department Manager USA²
 Technical Architect Russian Govt Insurance Russia³
 Bell Integrator Russia, Moscow System Installation Solutions Department Manager⁴

DEVELOPMENT OF CLOUD COMPUTING METHODS WITHIN THE PARADIGM OF "INTERNET OF EVERYTHING"

The development trends of cloud services are considered within the paradigm of "Internet of Everything". Interaction of three levels of Internet of Everything (machine-to-machine, person-to-machine, person-to-person) was discussed. Machine-to-machine communication type application was divided to services, people and environment sectors. Classification of cyber-attacks Run-Time Attacks, Start / Stop Attacks and Application Attacks based on stages of the virtual machine life cycle (creation, launch, working process, end and destruction) was proposed. Models of service providing and virtualization peculiarities of hardware and software resources of cloud services are demonstrated. A mathematical model for determining the efficiency of a neural network as part of the cloud service infrastructure is proposed. The main advantages of fog and dew services are considered.

Keywords: cloud services, service automation, virtualization of infrastructure, artificial neural network, fog computing, dew computing.

Introduction. "Internet of Everything" (IoE) is a modern paradigm of computer network which integrates all users, their devices, personal things, equipped with sensors, processes and data as nodes. This approach was most successful in establishing infrastructure, production lines and data centers of large corporations. But in recent years this trend has been spread to small-scale businesses and private users who actively use cloud services [1-3].

The IoE paradigm implies a newfound ubiquity of digital connectivity, which in general is divided into three levels (Fig. 1):

- machine-to-machine (M2M);

- person-to-machine (P2M);
- person-to-person (P2P).

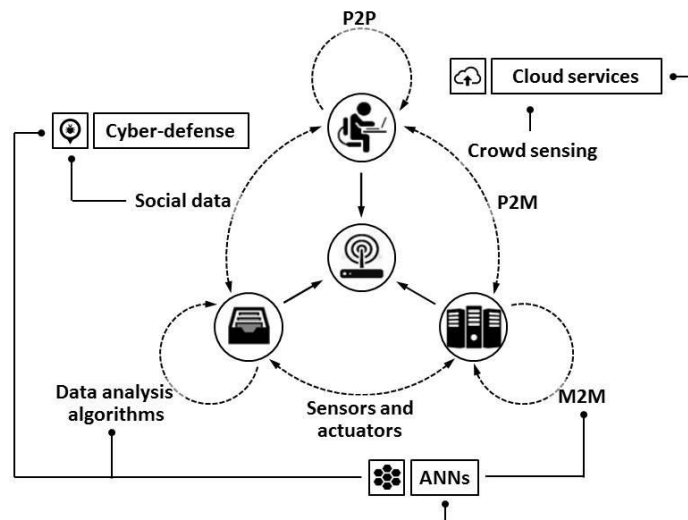


Fig.1. Current trends in the development of the IoE paradigm

Main trend of the IoE development is growth of the M2M communication type role and human resource management (HRM). Further spread of information technologies (IT) should not increase in the number of staff involved in supporting of network infrastructure but rather improve employee productivity.

M2M communication type application sectors are:

- Services: smart traffic monitoring; network infrastructure automation and defense; energy supply automation;
- People: healthcare monitoring; management in case of emergencies; maintenance of public order;
- Environment: the concept of "smart home"; logistics automation; the concept of "smart city".

Thus, M2M communication type not only significantly reduce number of P2M communication calls, which imply a specialization of employees and involve considerable labor costs, but also takes a part of the load for those P2P contacts that are associated with the analysis of the large groups of people interaction, where machine algorithms works better, excluding the so-called "human factor".

As it shown at fig.1 IoE paradigm trends could be linked with following IT-megatrends:

- implementations of processors, RAM, transmitters and sensors to household items;
- development of cloud services, including the virtualization of hardware and software resources
- implementation of fog and dew computing concepts;
- automation of the infrastructure of cloud services, including automation of hardware and software resources distribution and cyber protection;
- extensive adoption of artificial neural networks (ANNs).

In the framework of this work, it is proposed to consider modern approaches related to the virtualization of cloud storage resources, the use of fog and dew computing, and also to analyze the algorithms for the effective use of ANNs in the network services. The paper should comprise a good balance between theoretical part which summarizes the experience of cloud services and practical issues.

1. Virtualization of hardware and software resources of cloud services

Aspects of cloud computing hardware and software resources virtualization could be completely covered during analysis of typical cloud services (Fig. 2). Recently there are further cloud services types [3, 4]:

- Hardware as a Service (HaaS);
- Infrastructure as a service (IaaS);
- Platform as a service (PaaS);
- Software as a service (SaaS).

HaaS service model implies providing of user with equipment, which could be used to organize own infrastructure. In similar IaaS service model hardware resources are provided as the system evolves and user has control over the operating system (OS), as well as data storage and security policy protocols.

PaaS service model is based on the IaaS model but also includes an API programming interface. The user, therefore, has all tools to change the configuration of the hosting environment and software applications. In other hand, in the case of SaaS service model user accesses directly to the software resources of the cloud service. Therefore operability assurance, software updates and licenses obtaining remains on the provider side.

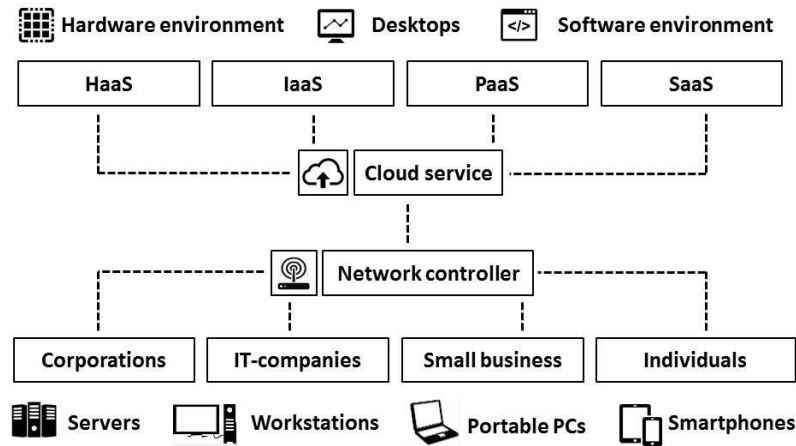


Fig. 2. Basic algorithm of cloud services management

All of the services mentioned above have their advantages and disadvantages depending on the area of use and working environment. For large corporations, it is important to have a possibility of infrastructure scaling and all network resources use, so HaaS and IaaS models would be preferred. At the same time, a lot of IT-companies cannot afford such a level of financial cost, so they choose PaaS as a compromise solution. For private entrepreneur and individual users time-based payment SaaS model will be sufficient.

Big cloud service providers often provide services at all possible levels. Let's analyze cloud services of transnational corporation "Google, Inc". "Google Cloud Storage" can be considered as IaaS model, "Google App Engine" is typical PaaS service, and the well-known applications "Gmail" and "Google Docs" are referred to SaaS model (Table 1). It should be noticed that servers and information storages that works in different models of services are not physically separated, since the separation of hardware and software resources is realized at the level of virtual machines (VM).

Table 1.

Cloud services management models

Cloud service provider	Cloud services management model		
	IaaS	PaaS	SaaS
IBM	IBM SmartCloud Enterprise	IBM SmartCloud Application Services	IBM LotusLive
Google Inc.	Google Cloud Storage	Google App Engine	Gmail, Google Docs
Amazon.com, Inc.	Amazon EC2	Amazon Web Services	AWS Mobile

VM should be considered as a hardware/software system that emulates a platform with the specified parameters to perform a certain tasks. VM construction is based on virtualization hardware and software resources provided to build an equivalent of a real environment for software algorithms implementation. During arrangement of the cloud service infrastructure work process, the service is considered as a complex of VMs, and every VM has its own security strategy and a security policy model. The security policy must contain a full set of possible types of data exchange, and thus any communication that goes beyond the security policy model is automatically considered as data transmission over a hidden channel, i.e. a data leakage channel or a cyber-attack channel. It should be noticed that the analysis of the classification of cyber-attacks on cloud storage as a VM complex differs

significantly from the classification of cyber threats for real network server, and this difference helps to understand the very mechanism of virtualization.

Classification of cyber-attacks on the VM complex methodology depends on life cycle analysis, i.e. period of VM existence and performing of the assigned tasks. After the project completion VM must be destroyed, which corresponds to the reorganization of the hardware and software resources of the cloud service.

There are further stages of the VM life cycle: VM creation, VM launch (start), working process, end of work (stop) and VM destruction. Thus there are three possible types of cyber-attacks: Run-Time Attacks (RTA), Start / Stop Attacks (SSA) and Application Attacks (AA). RTA-class of cyber-attacks is implemented before the VM creation and aimed at hardware environment and servers' OS of the VM complex. They use the hidden channels of the central processing units (CPU) and caches of real servers or some vulnerability of the OS. Obviously, this type of cyber-attack cannot be blocked by means of security policies to the VM. SSA cyber-attacks occur before the beginning of the VM work process or after the end of the VM work process. Usually they could be implemented by inserting of a code into the VM image right after VM creation or by copying sensitive data before its destruction. AA-class cyber-attacks intercept system queries or change the response code. This class of cyber-attacks is the most common one. The peculiarities of its implementation on cloud services are related to the fact that in this case it is necessary to analyze the vulnerabilities of the VM, rather than the real hardware and software complex, which gives more opportunities in the development of security strategies.

2. Application of artificial neural networks in cloud services. Recently application of ANNs in cloud services should be considered as a key mechanism to reduce the volume of P2M-communication and class of P2P-communications which are not related to social interaction on a personal level. The development of the IoE paradigm led to an exponential growth in the data that comes from each node of the system and should be analyzed in real time.

One can say that ANNs are used to recognition of images, which helps computer network to conduct an adequate analysis of the situation with minimal attendance of the support staff or completely independently. The procedures of image recognition includes recognition objects on a photograph, determining the nature of objects' interaction on a video, recognition of speech patterns and tracking intonation in an audio recording, recognition the cyber-attacks signatures which could be based on a known samples, etc.

Main advantage of ANNs is the principle of work process which is close to the principle of the human brain work. Thus, ANNs can replace a person in those areas where building of effective machine algorithms would be a nontrivial task [1, 5].

The basic elements ANN building (Fig. 3) are:

- selection of the ANN structure, first of all the organization of hidden layers and the hardware capabilities of the server environment;
- aggregation of database that contains a training samples;
- expert judgment that evaluates the ANN tutoring results and makes changes to the training samples database or the structure of the ANN.

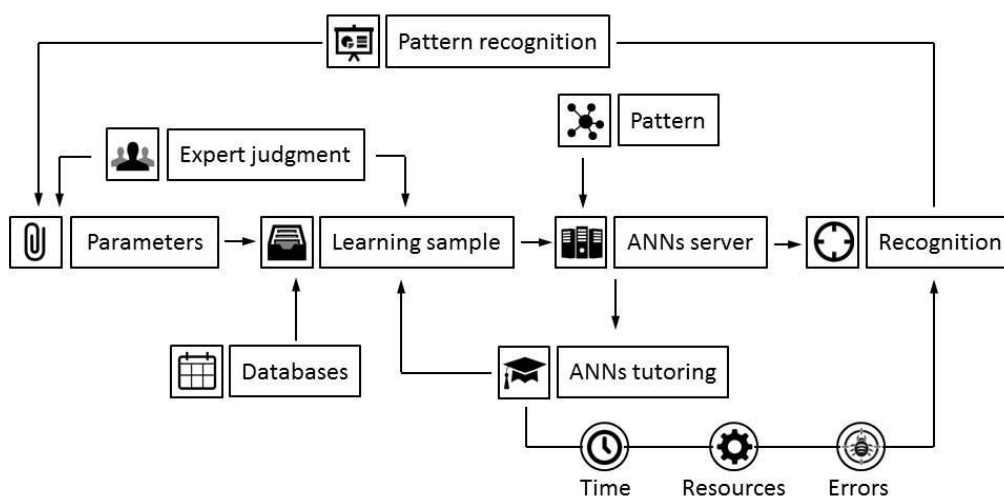


Fig. 3. Basic algorithm of ANNs tutoring and work

A systematic analysis of ANNs use in cloud services have shown that the key factors that characterize the efficiency of the network are following [1, 5]:

- the number of unrecognized images;
- number of falsely recognized images;
- adaptation of the ANN to the network service infrastructure;
- training samples database aggregation time;
- training time.

This list could be used to form concept of ANNs' use efficiency as a mathematical function, represented as:

$$E_{\Sigma} = f(E_{ANN}, E_{TS}), \quad (1)$$

where function E_{ANN} represents ANN efficiency and function E_{TS} represents efficiency of the training set. Those functions could be obtain by the following equations set:

$$\begin{cases} E_{ANN} = f(E_O, E_p, E_R) \\ E_{TS} = f(E_F, E_A) \end{cases} \quad (2)$$

where E_O determines optimal structure of the ANN hidden layers, E_p — ANN parameters, E_R — ANN resource usage, E_F — efficiency of selection of the training sample features, E_A — efficiency of the training sample aggregation.

At the moment, for most practical problems, the class of suitable ANNs is already defined, which greatly simplifies the search for the optimal solution. The algorithm of the cloud service ANN work process can be demonstrated most clearly by the example of monitoring of cyber-attacks signatures in the framework of the cloud service security system, which is considered as a VM complex. As was shown above, cyber-threats are carried out through the transmission of data in hidden channel (TDHC). In the context of cloud service virtualization, the following three groups of TDHC can be considered:

- TDHC-1: the processes are performed within the same OS of one domain; the data is transferred from a more secure to a less secure level of the complex;
- TDHC-2: the processes are on different domains and, consequently, different platforms, and the data transfer is done through the network data storage or synchronization channels;
- TDHC-3: the channels are built within the VM OS, the transfer is carried out between different domains within the same platform.

To demonstrate the ANN work as a part of cyber-defense algorithms VM complex (Fig. 4), we will choose TDHC-3 cyber-attack group where hardware virtualization parameters analysis is an important part of are important security policies. At the physical level, the cyber-attack would be implemented through standard channels: CPU load, cache memory channel and networked shared storage.

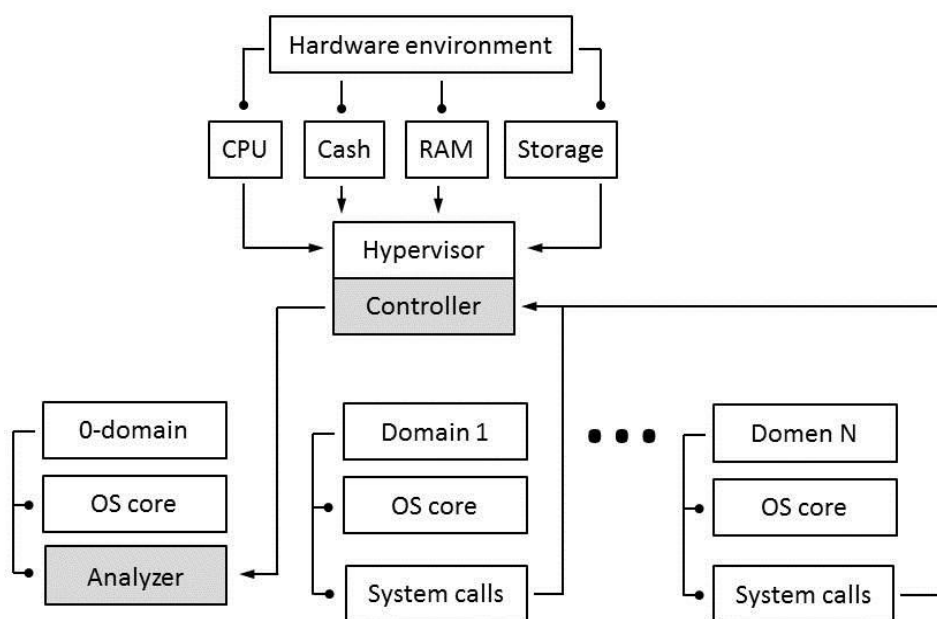


Fig. 4. The algorithm of the cloud service ANN work process

An effective algorithm for TDHC-3 tracking should meet following requirements:

- ultimate analysis of all available communication channels;
- 100% detection of cyber-attack signatures;
- tools for updating and scaling security algorithms;
- minimal VM platform resource usage;
- support of confidentiality regimes, policies and guidelines.

In the case of cloud services, the standard scheme of the cyber-defense system consists of an active controller (as part of the hypervisor) that intercepts the operations launched by the network's guests and the back-end server analyzer that is in the zero-domain and analyzes the intercepted operations to identify the TDHC (Fig. 4).

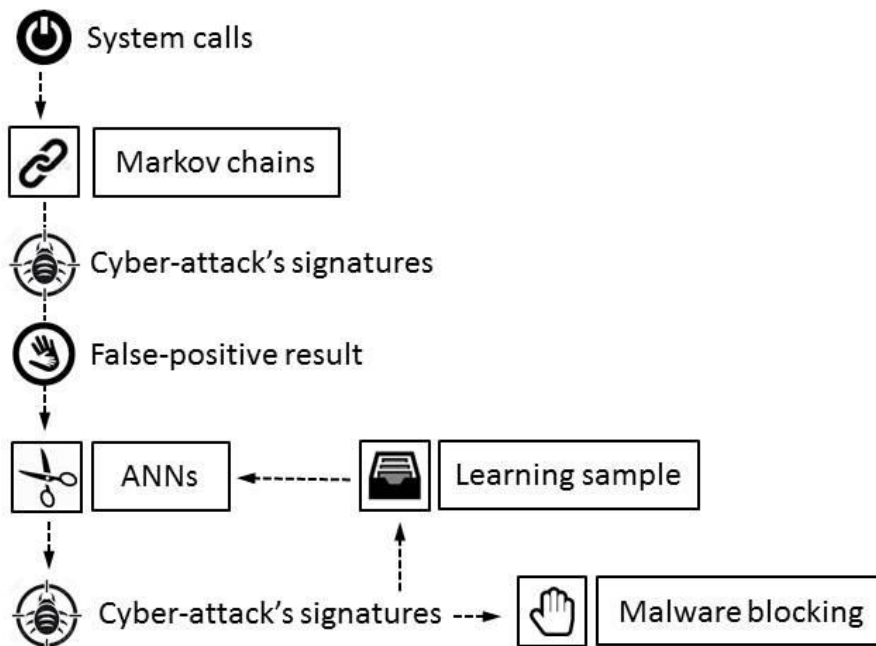


Fig. 5. Analyzer of cloud service cyber-defense algorithm

The hypervisor intercepts all signals that change state of the system and affect any processes within the cloud service infrastructure, so the controller is placed exactly in the hypervisor. In the framework of TDHC-3 group malware processes interact through common network resources in a hidden way. The detection algorithm should record all operations and changes in the system state, and even if the indications do not go beyond the limits defined by the security policy of the service VM, collected data should be transferred to the detector. The detector includes a detection module based on Markov chains, which in addition to determining the signatures of cyber-attacks gives a certain part of false positive results and a neural network detection module that separates false positive results from the cyber-attack signatures (Fig. 5).

3. Advantages of fog and dew computing within the "Internet of Everything". Development of the cloud computing concept is associated with the exponential growth of hardware capacities of computer hardware and network tools. Main trends in this area are:

- growth of the density of information recording (Fig. 6a);
- growth of the CPU frequency (Fig. 6b);
- growth of the network channel capacity (Fig. 6c).

Though, network channel capacity became a bottleneck of cloud services as part of IoE. Arrangement of all devices in a single network leads to most popular cloud services to the problem of request overstock which significantly affects the data transfer speed. Thus, "fog computing" was proposed. This concept implies redirection of user request to the least loaded and territorially close cloud service network (etymology of "fog computing" shows that "cloud" approaches to user and turns to the "fog"). This approach allows to significantly increase mobility of cloud computing and is suitable for working with data in use, while using classic cloud services is convenient to store large volumes of archival information and backup copies [6, 7]. However, within the framework of the fog computing

concept remains the problem of user dependence on the stable Internet channel. This problem is solved at the level of the concept of "dew computing" (Fig. 6d), which involves saving the most relevant data on the internal network drives of the user (similar to dewfall which indicates whether fog was likely to have occurred).

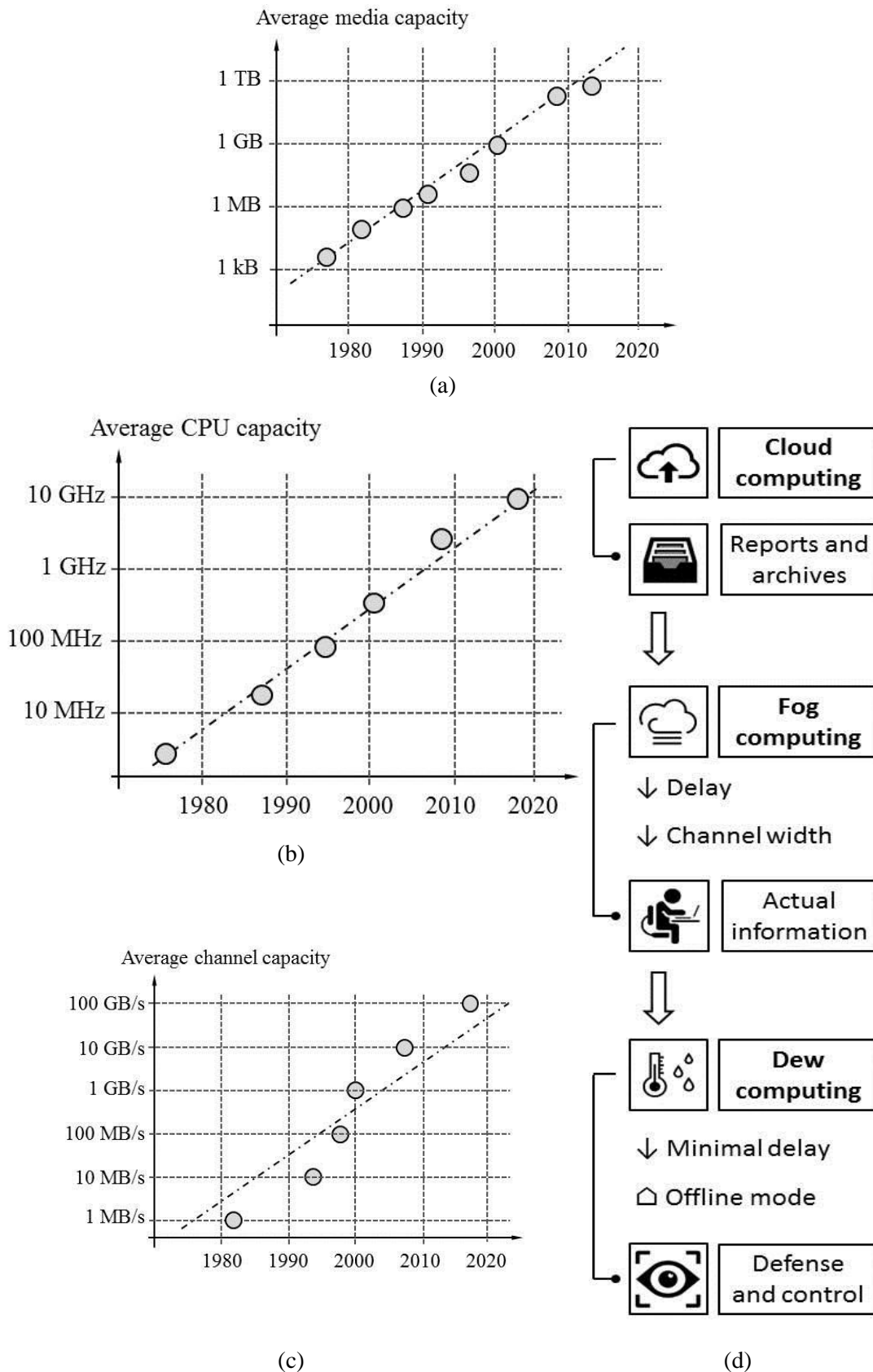


Fig. 6. Development of the hardware capacities of the network services infrastructure (a, b, c) and the algorithm for the development of cloud computing to fog and dew computing (d)

On the individuals' level, such an internal network can be considered FTP-servers of providers of housing estate, shopping and entertainment centers, multimedia servers of trains and excursion buses, as well as computers and smartphones of users. The concepts of fog and dew computing significantly improve cloud services and provide a high level of security.

The architecture of fog and dew services is similar to the architecture of standard cloud services, but certain parameters are more important. There are:

- security of the network infrastructure;
- confidentiality of data transmission;
- complete anonymity of resources;
- capabilities to scale the service.

These requirements are associated with an open and variable architecture of fog and dew services, most of which can be anonymous, which makes it impossible to pre-design the complex. Defense of system nodes should include the use of cryptographic methods for encrypting transmitted data, monitoring compliance with security policies that are carried out in real time, and the use of neural network methods to identify potentially dangerous code.

Conclusions. The development of cloud services are considered in the framework of the "Internet of Everything" paradigm. It is shown that the megatrends of the new paradigm are the virtualization of hardware and software resources, the development of the fog and dew computing concepts, the automation of the distribution of hardware resources and cyber-security of cloud services, and also adoption at network services of artificial neural networks. Models of providing services by cloud service providers are considered, in particular, HaaS, IaaS, PaaS and SaaS models. A mathematical simulation for determining the efficiency of a neural network as part of the cloud service infrastructure is proposed.

1. Manashty, A., & Thompson, J. L. (2017). Cloud Platforms for IoE Healthcare Context Awareness and Knowledge Sharing. *Internet of Things Beyond the Internet of Things*, 303.
2. Khaddar, M. A., & Boulmalf, M. (2017). Smartphone: The Ultimate IoT and IoE Device. *Smartphones from an Applied Research Perspective*. doi:10.5772/intechopen.69734.
3. Gordon, D. G. (2016). Legal Aspects of Cloud Computing. *Encyclopedia of Cloud Computing*, 462-475. doi:10.1002/9781118821930.ch38.
4. Appendix A: Example Of Microsoft Azure Cloud Service: Filemanager. (2016). *Trustworthy Cloud Computing*, 299-308. doi:10.1002/9781119114215.app1.
5. Security in the Cloud. (2017). *CCSP® (ISC)2® Certified Cloud Security Professional Official Study Guide*, 87-113. doi:10.1002/9781119419372.ch5.
6. Linthicum, D. S. (2017). Connecting Fog and Cloud Computing. *IEEE Cloud Computing*, 4(2), 18-20. doi:10.1109/mcc.2017.37.
7. Sojaat, Z., & Skalaa, K. (2017). The dawn of Dew: Dew Computing for advanced living environment. 2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). doi:10.23919/mipro.2017.7973447.

Стаття надійшла до редакції 23.02.2018

УДК 621.78.04:621.775.2

В.И. Зурнаджи¹, В.Г. Ефременко¹, Н.П. Зайчук², В.Г. Гаврилова¹, А.В. Джеренова¹
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»¹
Луцкий национальный технический университет²

КИНЕТИКА АТЕРМИЧЕСКОГО МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛЯХ 60С2ХФА И 55С3Г2ХФМБА

В статье описаны особенности кинетики атермического мартенситного превращения и положение мартенситной точки M_n в сталях 55С3Г2ХФМБА и 60С2ХФА. Установлено, что кинетика превращения носит характер, близкий к взрывному, а мартенситные точки составляют 240 и 257 °С, соответственно. Кинетика мартенситного превращения в исследованных сталях достаточно точно описывается уравнением Koistinen-Marburger при фиттинг-параметре, равном 0,012.

Ключевые слова: мартенситное превращение, кинетика, мартенситная точка, структура.

В.І. Зурнаджи, В.Г. Єфременко, Н.П. Зайчук, В.Г. Гаврилова, А.В. Джеренова КИНЕТИКА АТЕРМІЧНОГО МАРТЕНСИТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ В СТАЛЯХ 60С2ХФА ТА 55С3Г2ХФМБА

У статті описані особливості кінетики атермічного мартенситного перетворення і положення мартенситної точки M_n в сталях 55С3Г2ХФМБА та 60С2ХФА. Встановлено, що кінетика перетворення носить характер, близький до вибухового, а мартенситні точки становлять 240 і 257 °С, відповідно. Кінетика мартенситного перетворення в досліджених сталях досить точно описується рівнянням Koistinen-Marburger при фіттинг-параметрі, рівному 0,012.

Ключові слова: мартенситні перетворення, кінетика, мартенситна точка, структура.

V.I. Zurnadzhy, V.G. Efremenko, N.P. Zaichuk, V.G. GavriloVA, A.V. Dgherenova KINETICS OF ATHERMAL MARTENSITIC TRANSFORMATIONS IN STEELS 60Si2CrVA AND 55Si3Mn2CrVMoNbA

The vision of martensitic transformation kinetics is very essential for designing the heat treatments modes concerning quenching-and-partitioning technology. The paper presents the data on the kinetics of athermal martensitic transformation in springs steels 60Si2CrVA (0.53 % C; 1.46 % Si; 0.44 % Mn; 0.95 % Cr; 0.10 % V; 0.016 % S; 0.013 % P) and 55Si3Mn2CrVMoNbA (0.56 % C; 2.50 % Si; 1.70 % Mn; 0.50 % Cr; 0.21 % Mo; 0.12 % V; 0.05 % Nb; 0.006 % S; 0.015 % P) after quenching heating at 880 °C and 900 °C respectively. The steel samples were cooled at still air to 50 °C and further - at fridge or liquid nitrogen up to minus 196 °C. The transformation kinetics was recorded using magnetometer equipped with strain gauges for fixing the increase in the amount of the ferromagnetic phase as the temperature in the sample decreases. It was established that the temperatures of the start of martensitic transformation in above mentioned steels are 240 i 257 °C, accordingly. The kinetics of martensitic transformation was to be similar to explosive character. The martensite appears mostly in the temperature range which is by 150 °C below the M_s temperature. At 100 °C the both steels contain in the structure about 80-90 volume % of martensite. It is shown that the application of known empirical equations could be useful for fairly accurate calculation of the position of the M_s point for these steels. It was found that the empirical equations of Andrews and Rowland-Lyle are the best for adequate predicting the temperature M_s for the steels 60Si2CrVA and 55Si3Mn2CrVMoNbA. The kinetics of the martensitic transformation in these steels is described quite accurately by the Koistinen-Marburger equation with a fitting parameter a_m of 0.012.

Keywords: martensitic transformation, kinetics, martensitic point, structure.

Постановка проблеми. Мартенситное превращение играет исключительно важную роль в формировании комплекса механических свойств стали [1]. Температурный интервал протекания превращения определяет морфологию и свойства мартенсита, количество остаточного аустенита, уровень закалочных напряжений, влияя тем самым на свойства закаленной стали. Как правило, при анализе диаграмма превращения аустенита ориентируются на положение температуры начала мартенситного превращения (точку M_n), меньше внимания уделяя температуре конца превращения (M_k) и кинетике превращения в интервале M_n – M_k .

Анализ последних исследований и публикаций. В ряде случаев знание кинетики мартенситного превращения позволяет правильно выбрать режим и спрогнозировать результаты термической обработки, особенно если она предполагает приостановку охлаждения в мартенситном интервале температур. К таким обработкам относится Q-n-P-технология, заключающаяся в прерывании закалки (Quenching) при температуре ниже M_n с последующим нагревом до более высокой температуры для диффузионного перераспределения (Partitioning) углерода из мартенсита в аустенит [2]. Насыщение аустенита углеродом приводит к его стабилизации, что обеспечивает повышенную долю остаточного аустенита в структуре стали даже при невысоком уровне ее легирования [3]. С целью сохранения углерода в гамма-фазе и предотвращении его выделения в виде карбидов сталь, предназначенную для Q-n-P обработки,

легируют кремнием или алюминием [4]. После Q-p-Р обработки низколегированные стали приобретают высокий комплекс прочностных и пластических свойств, что позволяет им успешно конкурировать со сталями с повышенным содержанием легирующих элементов [5].

Правильный выбор температуры прерывания закалочного охлаждения при Q-p-Р обработке важен с точки зрения соотношения объемов мартенсита и аустенита, что, с одной стороны предопределяет степень насыщения аустенита углеродом, а с другой – уровень прочности стали. Экспериментальные данные о кинетике атермического мартенситного превращения в сталях встречаются в литературе редко, что приводит к необходимости проведения специальных исследований.

Цель работы – построение кинетической кривой мартенситного превращения в сталях 60С2ХФА и 55С3Г2ХФМБА для дальнейшего выбора режима их Q-p-Р обработки.

Методика. Материалом исследований служили стандартная сталь 60С2ХФА (0,53 % С; 1,46 % Si; 0,44 % Mn; 0,95 % Cr; 0,10 % V; 0,016 % S; 0,013 % P) и экспериментальная сталь 55С3Г2ХФМБА (0,56 %С; 2,50 % Si; 1,70 % Mn; 0,50 % Cr; 0,21 % Mo; 0,12 % V; 0,05 % Nb; 0,006 % S; 0,015 % P). Кинетику мартенситного превращения исследовали с помощью магнитометра, оснащенного тензометрической системой фиксации намагниченности образца. Образец размерами 2x10x12 мм аустенизировали при 880 °С (60С2ХФА) или 900 °С (55С3Г2ХФМБА) в течение 5 мин, после чего охлаждали на спокойном воздухе в подвешенном состоянии между полюсами магнита. По мере остывания и развития мартенситного превращения образец втягивался в магнитное поле магнитометра, деформируя балку с тензодатчиками. Сигнал от тензодатчиков записывался на компьютере посредством аналого-цифрового преобразователя фирмы «Advantech». Температуру образца фиксировали с помощью приваренной к нему хромель-алюмелевой термопарой. До 50 °С образец охлаждали на воздухе (средняя скорость охлаждения в интервале 880...500 °С составляла 13,3 К/с). Затем образец последовательно охлаждали вне магнитометра до 4 °С, до минус 20 °С и до минус 196 °С (в жидком азоте), после чего помещали в магнитометр и измеряли прирост магнитной фазы.

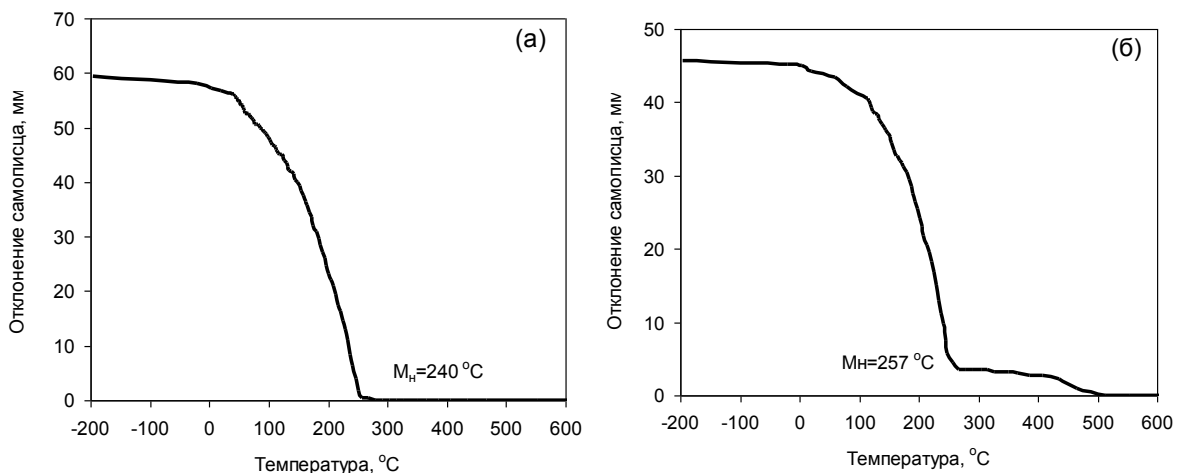


Рис. 1. Магнитометрические кривые охлаждения сталей 55С3Г2ХФМБА (а) и 60С2ХФА (б).

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 1 приведены магнитометрические кривые охлаждения, характеризующие нарастание магнитности образцов по мере снижения их температуры. В стали 55С3Г2ХФМБА ферромагнитная фаза появляется при охлаждении до 240 °С, что фактически соответствует точке M_n этой стали. Особенностью стали 60С2ХФА (рис. 1, б) является то, что при охлаждении образца на воздухе превращение аустенита начинается в бейнитной области при 465 °С; при дальнейшем охлаждении количество ферромагнитной фазы стабилизируется вплоть до 257 °С. Начиная с 257 °С, количества ферромагнитной фазы резко нарастает, свидетельствуя о начале мартенситного превращения. Таким образом, точка M_n для стали 60С2ХФА фиксируется при 257 °С.

Приняли, что охлаждение в жидком азоте обеспечивает достижение температуры конца мартенситного превращения для обеих исследуемых сталей, т.е. гарантирует получение 100 % мартенсита в структуре. Исходя из этого, а также с учетом частичного превращения аустенита в

бейнитной области в стали 60С2ХФА полученные магнитометрические кривые были пересчитаны в кинетические кривые мартенситного превращения, представленные на рисунке 2.

Как следует из рис. 2, для исследуемых сталей мартенситное превращение имеет кинетику, близкую к взрывной, т.е. основная доля мартенсита формируется в интервале температур на 120...150 градусов ниже точки M_n . Так в стали 55С3Г2ХФМБА охлаждение до 200 °С приводит к появлению 22 % мартенсита, а при 100 °С его количество возрастает уже до 80 %. При более низких температурах интенсивность мартенситного превращения резко снижается. При комнатной температуре в структуре стали 55С3Г2ХФМБА сохраняется около 7 % остаточного аустенита. Для стали 60С2ХФА наиболее резкое нарастание количества мартенсита соответствует интервалу $M_n - 200$ °С, когда образуется 45 % мартенсита. При более низких температурах интенсивность прироста мартенсита снижается. При охлаждении до 20 °С структура стали содержит около 4 % остаточного аустенита.

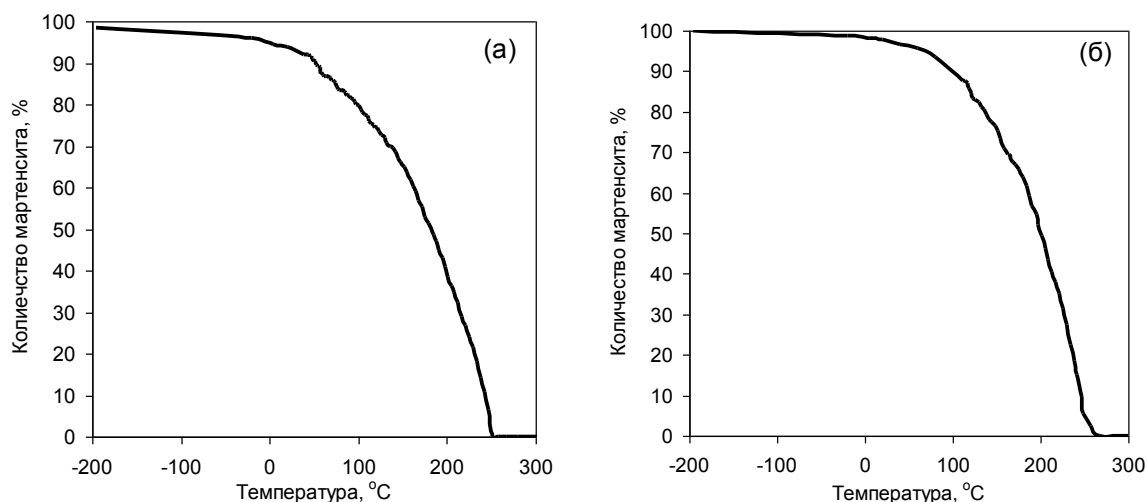


Рис. 2. Кинетические кривые мартенситного превращения в сталях 55С3Г2ХФМБА (а) и 60С2ХФА (б).

Учитывая сложности в экспериментальном определении кинетики и температуры начала мартенситного превращения, достаточно широкое применение находят математические модели и эмпирические уравнения, позволяющие определять указанные параметры расчетным путем [6-26]. Однако, они носят ограниченный характер, что обусловлено различиями в содержании углерода и специфике легирования в сталях различных классов. В связи с этим представляло интерес проанализировать известные уравнения с целью определения их пригодности применительно к рессорным сталям с повышенным содержанием кремния.

Был выполнен расчет положения точки M_n согласно эмпирическим уравнениям [6-23], результаты представлены в таблице 1. Как следует из таблицы, выражения № 10...15 позволяют с достаточной точностью ($\pm 4...-8$ °С) рассчитать положение точки M_n в стали 55С3Г2ХФМБА. Выражения Andrews [13] и Rowland-Lyle [14] дают наименьшую погрешность в определении температуры M_n для стали 60С2ХФА. Наибольшая погрешность в определении температуры начала мартенситного превращения применительно к исследованным сталям получается при использовании уравнений Tamura [21], Jaffe-Hollomon [22] и Carapella [23].

Наиболее часто для описания кинетики атермического мартенситного превращения используется уравнение [24], предложенное в 1959 году Koistinen и Marburger (К-М). Несмотря на то, что уравнение разработано применительно к нелегированным сплавам системы «железо-углерод», оно содержит фитинг-коэффициент a_m , при правильном выборе которого может достаточно точно описывать кинетику превращения в легированных сталях различного класса:

$$f = 1 - \exp(-a_m \cdot (M_n - T)) \quad (1)$$

где: f – объемная доля мартенсита, образованного при температуре T ниже точки M_n , °С;
 M_n – температура начала мартенситного превращения, °С;
 a_m – фитинг-параметр.

Позже в работах Hougardy [19], van Bohemen [25], Lee и Van Tyne [26] были предложены модифицированные варианты уравнения К-М (табл. 2). В двух последних случаях была

предпринята попытка связать фитинг-параметр с химическим составом стали. Теоретическая модель Hougardy, базируясь на подходе К-М, отличается наличием степенного параметра q . В уравнении Hougardy и показатель q , и сам фитинг-параметр (обозначенный в данном случае как k) рассчитываются в зависимости от температуры M_h . Выражение, предложенное van Bohemen, отличается от К-М тем, что фитинг-параметр a_m рассчитывается по содержанию в стали углерода, марганца, никеля хрома и молибдена. Выражение van Bohemen применимо к достаточно узкому кругу сталей и во многих случаях может давать весьма неточные результаты, поскольку далеко не все стали содержат такие элементы, как никель и молибден. Уравнение, разработанное Lee и Van Тупе в 2012 году, содержит в себе фитинг-параметр (K_{LV}) и степенной параметр (n_{LV}), значения которых рассчитываются в зависимости от химического состава стали.

Таблица 1

**Значения температуры M_h , полученные по выражениям [6-23] для сталей
55С3Г2ХФМБА (№ 1) и 60С2ХФА (№ 2)**

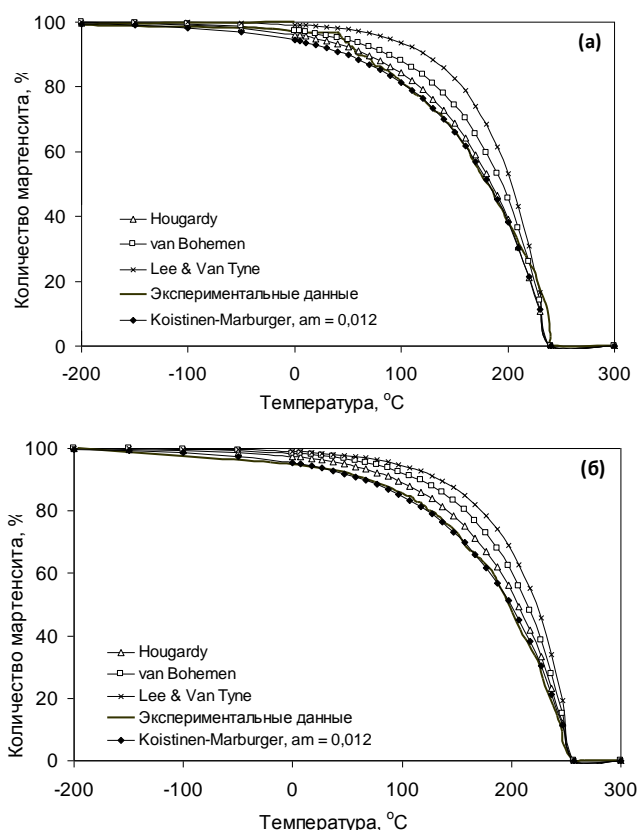
№	Авторы	Выражение	Температура M_h (°C) для стали	
			№ 1	№ 2
1	Попов А.А., Попова Л.Е.[6]	$M_h = 520 - 320[C] - 50[Mn] - 30[Cr] - 20[Ni+Mo] - 5[Cu+Si]$	224	293
2	Capdevila [7]	$M_h = 764,2 - 302,6[C] - 30,6[Mn] - 16,6[Ni] - 8,9[Cr] + 2,4[Mo] - 11,3[Cu] + 8,58[Co] + 7,4[W] - 14,5[Si]$	229	288
3	Krauss [8]	$M_h = 561 - 474[C] - 33[Mn] - 17[Cr] - 17[Ni] - 21[Mo]$	227	279
4	Zhichao [9]	$M_h = 540 - 420[C] - 35[Mn] - 12[Cr] - 20[Ni] - 21[Mo] - 10,5[Si] - 10,5[W] + 20[Al] + 140[V]$	225	289
5	Sverdlin & Ness [10]	$M_h = 561,1 - 473,9[C] - 33[Mn] - 16,7[Cr+Ni] - 21,1[Mo]$	224	293
6	Payson & Savage [11]	$M_h = 498,9 - 316,7[C] - 33,3[Mn] - 27,8[Cr] - 16,7[Ni] - 11,1[Si+Mo+W]$	221	274
7	van Bohemen [12]	$M_h = 565 - 31[Mn] - 13[Si] - 10[Cr] - 18[Ni] - 12[Mo] - 600(1 - \exp(-0,96[C]))$	223	284
8	Andrews [13]	$M_h = 539 - 423[C] - 30,4[Mn] - 17,7[Ni] - 12,1[Cr] - 11[Si] - 7,0[Mo]$	199	258
9	Rowland & Lyle [14]	$M_h = 498,9 - 333,3[C] - 33,3[Mn] - 27,8[Cr] - 16,7[Ni] - 11,1[Si+Mo+W]$	212	265
10	Liu [15]	$M_h = 525 - 350([C]-0,05) - 45[Mn] - 30[Cr] - 20[Ni] - 16[Mo] - 5[Si] - 8[W] + 6[Co] + 15[Al] - 35[V+Nb+Zr+Ti]$	233	298
11	Mahieu [16]	$M_h = 539 - 423[C] - 30,4[Mn] - 7,5[Si] + 30[Al]$	232	290
12	Nehrenberg [17]	$M_h = 498,9 - 300[C] - 33,3[Mn] - 22,2[Cr] - 16,7[Ni] - 11,1[Si+Mo]$	233	288
13	Grange & Stewart [18]	$M_h = 537,8 - 361,1[C] - 38,9[Mn+Cr] - 19,4[Ni] - 27,8[Mo]$	244	292
14	Hougardy [19]	$M_h = 0,495 M_h + 0,00095 M_h^2 + 40$	243	301
15	Kunitake [20]	$M_h = 560,5 - 407,3[C] - 37,8[Mn] - 14,8[Cr] - 19,5[Ni] - 4,5[Mo] - 7,3[Si] - 20,5[Cu]$	242	303
16	Tamura [21]	$M_h = 520 - 361[C] - 39[Mn] - 20[Cr] - 17[V] - 17[Ni] - 10[Cu] - 5[Mo+W] + 15[Co] + 30[Al]$	268	321
17	Jaffe & Hollomon [22]	$M_h = 550 - 350[C] - 40[Mn] - 35[V] - 20[Cr] - 17[Ni] - 10[Cu] - 10[Mo] - 8[W] + 15[Co] + 30[Al]$	270	324
18	Carapella [23]	$M_h = 496,1 \cdot (1 - 0,344[C]) \cdot (1 - 0,051[Mn]) \cdot (1 - 0,018[Si]) \cdot (1 - 0,025[Ni]) \cdot (1 - 0,039[Cr]) \cdot (1 - 0,016[Mo]) \cdot (1 - 0,010[W]) \cdot (1 - 0,067[Co])$	341	372

Прим. В скобках – содержание соответствующего элемента, масс. %

**Функции, описывающие зависимость объемной доли мартенсита от температуры
переохлаждения аустенита (во всех случаях M_n подставляется в °С)**

Авторы	Уравнение
Hougardy [19]	$f = 1 - \exp(-k \cdot (M_n - T)^q),$ где: $k = 0,36 \cdot 10^{-3} + 10^{-5} \cdot M_n - 0,34 \cdot 10^{-6} \cdot M_n^2 + 0,32 \cdot 10^{-8} \cdot M_n^3 - 0,52 \cdot 10^{-11} \cdot M_n^4$ $q = 2,08 - 0,76 \cdot 10^{-2} \cdot M_n + 0,16 \cdot 10^{-2} \cdot M_n^2 - 0,90 \cdot 10^{-8} \cdot M_n^3$
van Bohemen [25]	$f = 1 - \exp(-a_m \cdot (M_n - T)),$ где: $a_m = 0,0224 - 0,01007[C] - 7 \cdot 10^{-4}[Mn] - 5 \cdot 10^{-5}[Ni] - 12 \cdot 10^{-5}[Cr] - 10^{-4}[Mo]$
Lee & Van Tyne [26]	$f = 1 - \exp(-K_{LV} \cdot (M_n - T)^{n_{LV}})$ где: $K_{LV} = 0,0231 - 0,0105[C] - 0,0017[Ni] + 0,0074[Cr] - 0,0193[Mo]$; $n_{LV} = 1,4304 - 1,1836[C] + 0,7527[C]^2 + 0,0258[Ni] - 0,0739[Cr] + 0,3108[Mo]$

Для оценки применимости названных выражений относительно сталей 55С3Г2ХФМБА и 60С2ХФА, произвели расчет кинетики мартенситного превращения по выражению (1), варьируя величиной параметра a_m для минимизации различия между расчетными и экспериментальными данными. Кроме того, рассчитали кинетику по выражениям (2)...(4), приведенным в табл. 2. Сравнение расчетных данных с реальной кинетикой мартенситного превращения исследуемых сталей представлено на рисунке 3. Как следует из рисунка, наибольшее приближение к экспериментальным данным дает уравнение К-М при значении $a_m = 0,012$. Также достаточно точное описание кинетики дает модель на основе функции Hougardy.



**Рис. 3. Сравнение экспериментальной и расчетных кинетических кривых
мартенситного превращения стали 55С3Г2ХФМБА (а) и 60С2ХФА (б)**

Полученные в данной работе данные о положении мартенситной точки M_n и кинетике мартенситного превращения могут быть использованы для выбора параметров Q-p-R обработки сталей 55С3Г2ХФМБА и 60С2ХФА, что представляет интерес для дальнейших исследований.

Выводы.

1. Установлено, что температура начала мартенситного превращения для сталей 55С3Г2ХФМБА и 60С2ХФА составляет 240 °С и 257 °С соответственно. Показано, что

применение известных эмпирических уравнений в ряде случаев обеспечивает достаточно точный расчет положения точки M_n для данных сталей.

2. Стали 55С3Г2ХМФБА и 60С2ХФА характеризуются активной кинетикой мартенситного превращения в интервале температур от M_n до $\sim 100^\circ\text{C}$, с образованием 80-90 % мартенсита.

3. Показано, что кинетика мартенситного превращения в сталях 55С3Г2ХМФБА и 60С2ХФА достаточно точно описывается уравнением Koistinen-Marburger при фиттинг-параметре a_m , равном 0,012.

Литература

1. Bag A. Influence of martensite content and morphology on tensile and impact properties of high-martensite dual-phase steels / A. Bag, K. K. Ray, E. S. Dwarakadasa // Metallurgical and Materials Transactions A. – 1999. – № 30(5). – P. 1293-1202.
2. Speer J.G. Partitioning of carbon from supersaturated plates of ferrite, with application to steel processing and fundamentals of the bainite transformation / J.G. Speer, D.V. Edmonds, F.C. Rizzo [etc.] // Solid State and Materials Science. – 2004. – № 8. – P. 219-237.
3. Clarke A. J. Influence of carbon partitioning kinetics on final austenite fraction during quenching and partitioning / A. J. Clarke, J. G. Speer, D. K. Matlock [etc.] // Scripta Materialia. – 2009. – № 61(2). – P. 149-152.
4. De Moor E. Effect of carbon and manganese on the quenching and partitioning response of CMnSi steels / E. De Moor, J. G. Speer, D. K. Matlock [etc.] // ISIJ international. – 2011. – № 51(1). – P. 137-144.
5. Li H. Y. Microstructure and mechanical properties of an ultrahigh-strength 40SiMnNiCr steel during the one-step quenching and partitioning process / H. Y. Li, X. W. Lu, W. J. Li [etc.] // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2010. – № 41(5). – P. 1284-1300.
6. Попов А.А. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. Справочник термиста / А.А. Попов, Л.Е. Попова. М.: Metallurgiya, 1961. 36 с.
7. Capdevila C. Determination of M_s temperature in steels: A Bayesian neural network model / C. Capdevila, C. G. de Andrés // ISIJ international. – 2002. – Vol. 42, №. 8. – P. 894-902.
8. Krauss G. Steels: heat treatment and processing principles / G. Krauss // ASM International. – 1990. – P. 43-87.
9. Zhichao L. Computation of M_s temperature in carbon equivalence method / L. Zhichao, L. Pengyan, W. Minggang // Journal of Liaoning Technical University: Nature Science. – 1998. – Vol. 17, №. 3. – P. 293-295.
10. Sverdlin A. V. The Effects of Alloying Elements on the Heat Treatment of Steel / A. V. Sverdlin, A. R. Ness // Steel Heat Treatment Handbook, New York: Marcel Dekker. – 1997. – P. 45-91.
11. Payson P. Martensite reactions in alloy steels / P. Payson, C.H. Savage // Transactions of American Society for Metals. – 1944. – Vol. 33. – P. 261-280.
12. Van Bohemen S. M. C. Bainite and martensite start temperature calculated with exponential carbon dependence / S. M. C. Van Bohemen // Materials Science and Technology. – 2012. – Vol. 28, №. 4. – P. 487-495.
13. Andrews K. W. Empirical formulae for the calculation of some transformation temperatures / K. W. Andrews // Journal of the Iron and Steel Institute. – 1965. – № 203. – P. 721-727.
14. Rowland E.S. The application of M_s points to case depth measurement / E.S. Rowland, S.R. Lyle // Transactions A.S.M. – 1946. – Vol. 37. – P. 27-47.
15. Liu C. A new empirical formula for M_s temperature in pure iron and ultra low carbon alloy steels / C. Liu // Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – № 113. – P. 556-562.
16. Mahieu J. Phase transformation and mechanical properties of Si-free CMnAl transformation-induced plasticity-aided steel / J. Mahieu, B. C. De Cooman, J. Maki // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2002. – Vol. 33, №. 8. – P. 2573-2580.
17. Nehrenberg A. E. Contribution to discussion on Grange and Stewart / A. E. Nehrenberg // Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. – 1946. – Vol. 167. – P. 494-498.
18. Grange R. A. The temperature range of martensite formation / R. A. Grange, H.M. Stewart // Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. – 1946. – Vol. 167. – P. 467-501.
19. Hougardy H.P. Description and control of transformations in technical applications. Steel: A handbook for materials research and engineering – Volume 1: Fundamentals / H.P. Hougardy // Springer-Verlag. – 1992. – P. 167-200.
20. Kunitake T. Prediction of A_c1 , A_c3 and M_s Temperatures by Empirical Formulas / T. Kunitake // Heat Treating (Japan). – 2001. – № 41. – P. 164-168.
21. Tamura I. Steel material study on the strength / I. Tamura // Nikkan Kogyo Shinbun Ltd., Tokyo. – 1970. – 40 p.
22. Grange R.A. Hardenability and quench cracking / R.A. Grange, H.M. Stewart // Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. – 1946. – № 167. – P. 617-646.
23. Carapella L. A. Computing A_{11} or M_s (transformation temperature on quenching) from analysis / L.A. Carapella // Metal Progress. – 1944. – Vol. 46. – P. 108.
24. Koistinen D. P. A general equation prescribing the extent of the austenite-martensite transformation in pure iron-carbon alloys and plain carbon steels / D. P. Koistinen, R. E. Marburger // Acta metallurgica. – 1959. – Vol. 7, №. 1. – P. 59-60.
25. Van Bohemen S. M. C. Effect of composition on kinetics of athermal martensite formation in plain carbon steels / S. M. C. Van Bohemen, J. Sietsma // Materials science and technology. – 2009. – Vol. 25, №. 8. – P. 1009-1012.
26. Lee S. J. A kinetics model for martensite transformation in plain carbon and low-alloyed steels / S. J. Lee, C. J. Van Tyne // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2012. – Vol. 43, №. 2. – P. 422-427.

Рецензент

Маслов Владимир Александрович, д.т.н., профессор ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 648.18

E.V. Ivanyuk*National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»***SPINELE FORMATION IN OCHER PIGMENTS USING SLUDGE TREATMENT OF WASHING SOLUTIONS OF THE PROCESS OF HIGH-PRECISE CUTTING OF SILICON PLATES**

It was established that waste sludge treatment of high-precision cutting of silicon plates are a perspective raw material for the synthesis of ocheros pigments. The color of pigments is formed by a mixed reverse zinc-ferrum-chromium spinel, the formation of which is confirmed by X-ray diffraction analysis and IR-spectroscopy.

Key words: ocherpigment, sludge, washing solutions, mixture, equivalent replacement, derivatogram, IR- spectroscopy, decor.

О.В. Иванюк*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»***ШПИНЕЛЕУТВОРЕННЯ У ВОХРИСТИХ ПІГМЕНТАХ ОТРИМАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ШЛАМУ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИВНИХ РОЗЧИНІВ ПРОЦЕСУ ВИСОКОТОЧНОГО РІЗАННЯ КРЕМНІЄВИХ ПЛАСТИН**

Встановлено, що шлам очищення стічних вод високоточного різання кремнієвих пластин є перспективною сировиною для синтезу пігментів вохристої кольорової гами. Колір пігментів формується змішаною оберненою цинк-залізо-хромовою шпінеллю, утворення якої підтверджено методом рентгенофазового аналізу та ІЧ-спектроскопії.

Ключові слова: вохристий пігмент, промивні розчини, шламові відходи, шихта, еквівалентна заміна, дериватограми, ІЧ-спектроскопія, декор.

Е.В. Иванюк*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»***ШПИНЕЛЕОБРАЗОВАНИЕ В ОХРИСТЫХ ПИГМЕНТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШЛАМА ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ РАСТВОРОВ ПРОЦЕССА ВИСОКОТОЧНОГО РЕЗАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН**

Установлено, что шлам очистки сточных вод высокоточного резания кремниевых пластин является перспективным сырьем для синтеза пигментов охристой цветовой гаммы. Цвет пигмента формируется смешанной оборотной цинк-железо-хромовой шпинелью, образование которой подтверждено методом рентгенофазового анализа и ИЧ-спектроскопии.

Ключевые слова: Охристый пигмент, промывные растворы, шламовые отходы, шихта, эквивалентная замена, дериватограммы, ИК-спектроскопия, декор.

Formulation of the problem. The mineral pigments of the ocheros color of different shades and intensity are synthesized using pure ferrum (III) and chromium (III) oxides in the $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ oxide system [1]. The formation of the ocher color of pigments is due to the formation of simple, mixed or reversed spinelids of chromium (III) and of ferrum (III), which are in the octahedral and tetrahedral coordination of $\text{Fe}[\text{Cr}]_2\text{O}_4$, $\text{Zn}[\text{Al}]_2\text{O}_4$, $\text{Zn}[\text{Al,Cr}]_2\text{O}_4$, $\text{Zn}[\text{Fe,Cr}]_2\text{O}_4$ [2]. Extremely high concentrations of Cr_2O_3 , Fe_2O_3 in the mixture pigment compositions necessitate the search for cheap chromium and ferrum-containing raw materials suitable for the synthesis of these pigments.

Consequently, the study of processes in the synthesis of mineral ocheros pigments in the oxide system $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ using sludge non-traditional raw materials is relevant.

Analysis of recent research and publications. Information about the genesis of waste sludge from various industries indicates that the samples have an alternating chemical composition, which depends on many factors in the purification, and has a fairly large dispersal of values. Therefore, firstly, there is no universal approach of sludge utilization. It is only developed methods that solve the problems of specific industries. Secondly, in general, individual sludges are used on empirical technologies as fillers or additives for building materials without using the specific coloring properties of the sludge components. At the same time there is little information about other methods of real disposal of these slimes. In the most cases, sludge is stored in the sludge storage, which negatively affects the environment [3].

Along with this, the lion's share of wastewater treatment plants sludges has in its composition expensive oxides of non-ferrous metals - chromium (III), ferrum (III), aluminum (III), nickel (II) and others that are environmental pollutants, but include in sludge as part mineral pigments of the composition. Therefore it is advisable to dispose of it as raw materials for the synthesis of mineral pigments. In this case, the specific properties of non-ferrous metals are used [4].

Tasks formulation. The aim of the research is to develop and substantiate the scientific and technical bases for the utilization of multicomponent sludge in the process of high-precision cutting of silicon plates as raw materials for the synthesis of pigments. As a result of the silicon carbide regeneration by the acidic method from SiC-sludge, which is the precursor of precision cutting of silicon plates, washing waters with a rather high concentration of transition ions and heavy metals are formed (mg equivalent / l): Fe (III) -2829; Cu (II) - 113.1; Zn (II) - 42.46; Pb (II) - 0.58, calculated as dry residue, sludge contains,% by weight: Fe₂O₃- 96.47; CuO - 2.56; ZnO -0.95; PbO - 0.02 [5]. It can be attributed to a group of high-ferruginous sludge waste with a low concentration of cuprum (II) oxide, therefore, it can be considered a promising non-traditional raw material for the synthesis of mineral pigments.

Main material. For developing of utilization technology of ferrous sludge for treatment of solutions after of high-precision cutting of silicon plates, it is necessary to study the transformation and the possible interaction of the components of the sludge in conditions acceptable for the thermal synthesis of mineral pigments.

The diffraction pattern of the averaged slime sample are a background stripes with random spontaneous fluctuations of diffraction impulses. Regular reflexes from planes of crystalline lattice at sample diffractograms were not detected.

Based on the history of the formation of the sludge formed as a result of washing solutions treatment by neutralization with calcium hydroxide using PGMG as a flocculation and complexing component, and based on the results of X-ray diffraction studies, it can be argued that the sludge from treatment of washing solutions after high-precision cutting of silicon plates is a co-existence of amorphous hydroxides metal chromophore.

The thermographic analysis of the representative slime sample allowed to determine that amorphous, co-precipitated hydroxides of the main slurry composition, during spontaneous crystallization, are converted into a uniform mixture of crystalline oxides of non-ferrous metals, which is a favorable prerequisite for the formation of chromophoric compounds of the spinel type.

The basis for the creation of the mixture compositions of the experimental batch of pigments is the industrial pigment of the ocher color, which has in its composition pure metal oxides,% wt: Cr₂O₃ - 16, Fe₂O₃- 15.0, Al₂O₃ - 9.0, ZnO - 60.0 [6]. In experimental samples of ferrum (III)oxide was replaced with sludge from high-precision cutting of silicon plates as a source of Fe₂O₃. The choice of other components of the mixture is directed to the formation of chromophore compounds in spinels with the maximum intensity of coloration and for obtaining the necessary technological characteristics.

Mixtures models of batches experimental pigment samples are presented in Tab. 1. Mixing and powdering of the source components of pigments (sludges and pure metal oxides) was performed by wet method with, rubbing the mixture by a chimney on a palette for 30 minutes. The dried mixtures were sifted through a sieve with a grid 07 (100 holes/cm²) until it was completely passed. The prepared pigment compositions were then filled into refractory chamotte crucibles. The synthesis of pigments was carried out in an electric furnace at a temperature of 1100 K and 1553 K for 11 hours at a maximum temperature of 15-20 minutes. After the spall, the pigments were roughly crushed in an agate mortar. Thin powdering was carried out by wet method - a chime on a glass palette to passing through a sieve with a grid 0056 (10000 holes/cm²).

Tab. 1 demonstrated that, the use of sludge from treatment of the rinsing solutions after high-precision cutting of silicon plates for test coatings of pigments of ocher color makes possible due to synthesize the product of a given color gamut. The color of the décor varies from brown to ocher. Accordingly, the optimal ratio of the used sludge and chromium (III) oxide is achieved in the experimental samples B9 and B10, in which the mixtures achieve significant economies of Cr₂O₃ and Al₂O₃. In this case, the color is close to the standard [6], and a further increase in the concentration of Cr₂O₃ in the mixture composition of the pigment is not feasible (sample B6). An increasing of ZnO in the concentration in the samples B7, B8, B4 shifts the color of the decor in the brown area, which is not the task of this study.

Table 1

Pigments composition and characteristics of the Cr₂O₃-Fe₂O₃-Al₂O₃-ZnO system

Raw material - sludge from treatment of washing solutions after high-precision cutting of silicon plates
Color – ocher

Index of pigment	Components of the mixture, mass %					Characteristics of pigment		
	Sludge	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZnO	Al ₂ O ₃	Color	Colorful decor properties	
							porcelain	faience
Indust	-	16,0	15,0	60,0	9,0	ocher brown dirty	Brown light	ocher brown
B1	63.0	6.0	-	22.0	9.0	ocher brown	Brown light	ocher
B2	60.0	6.0	-	25.0	9.0	Dark ocher	Brown	ocher
B3	58.0	6.0	-	27.0	9.0	ocher dark brown	Brown	ocher dark
B4	53.0	7.0	-	31.0	9.0	ocher brown	Brown	ocher brown
B5	50.0	8.0	-	33.0	9.0	ocher dark	Brown	red-ocher
B6	43.0	9.0	-	43.0	5.0	ocher	Ocher brown	ocher dark
B7	40.0	9.0	-	46.0	5.0	ocher	ocher dark	ocher brown
B8	40.0	9.0	-	41.0	10.0	ocher brown	brown	ocher dark
B9	50.0	7.0	-	36.0	7.0	ocher	ocher bright	ocher dark
B10	50.0	7.0	-	38.0	5.0	ocher dark	ocher	ocher dark

Infrared spectroscopy and X-ray diffraction analysis were used out for the study of processes that occurred during the burning of pigment mixture at a temperature of 1100 K and 1553 K.

Fig.1 showed infrared spectra of experimental samples. As seen from the configuration of infrared spectra, temperature is a predominant factor and condition for the synthesis of spinelide-chromophore. Thus, the IR spectra of the zinc-ferrum model of ochrous pigments, burnt at 1100 K, as in the case of a zinc-chromium pigment model, reached the highest intensity of absorption bands corresponding to the wave numbers 1140 cm⁻¹, 1056 cm⁻¹ and 972 cm⁻¹. The maximum absorption at 1140 cm⁻¹, 1056 cm⁻¹ and 972 cm⁻¹ can be attributed to the range of the group frequency absorption of deformation oscillations of Fe-O product of incomplete dehydration of iron hydroxide (III) [7]. The intensity of the absorption band at the value of the wave number of 1640 cm⁻¹ was significantly changes.

In the range of low-frequency oscillations, low-intensity bands were observed at 612 cm⁻¹ and 552 cm⁻¹. The absorption band with a maximum at $\nu_3 = 612$ cm⁻¹ corresponds to the region of the antisymmetric oscillations of the Fe-O bond on the crystalline surface of Fe₂O₃ [8]. The absorption band with a maximum $\nu_4 = 552$ cm⁻¹ most likely corresponded to the antisymmetric oscillations of the crystalline Fe-O or Zn-O lattice, indicating the appearance of ferrum (III) oxide and zinc oxide in the reaction mixture.

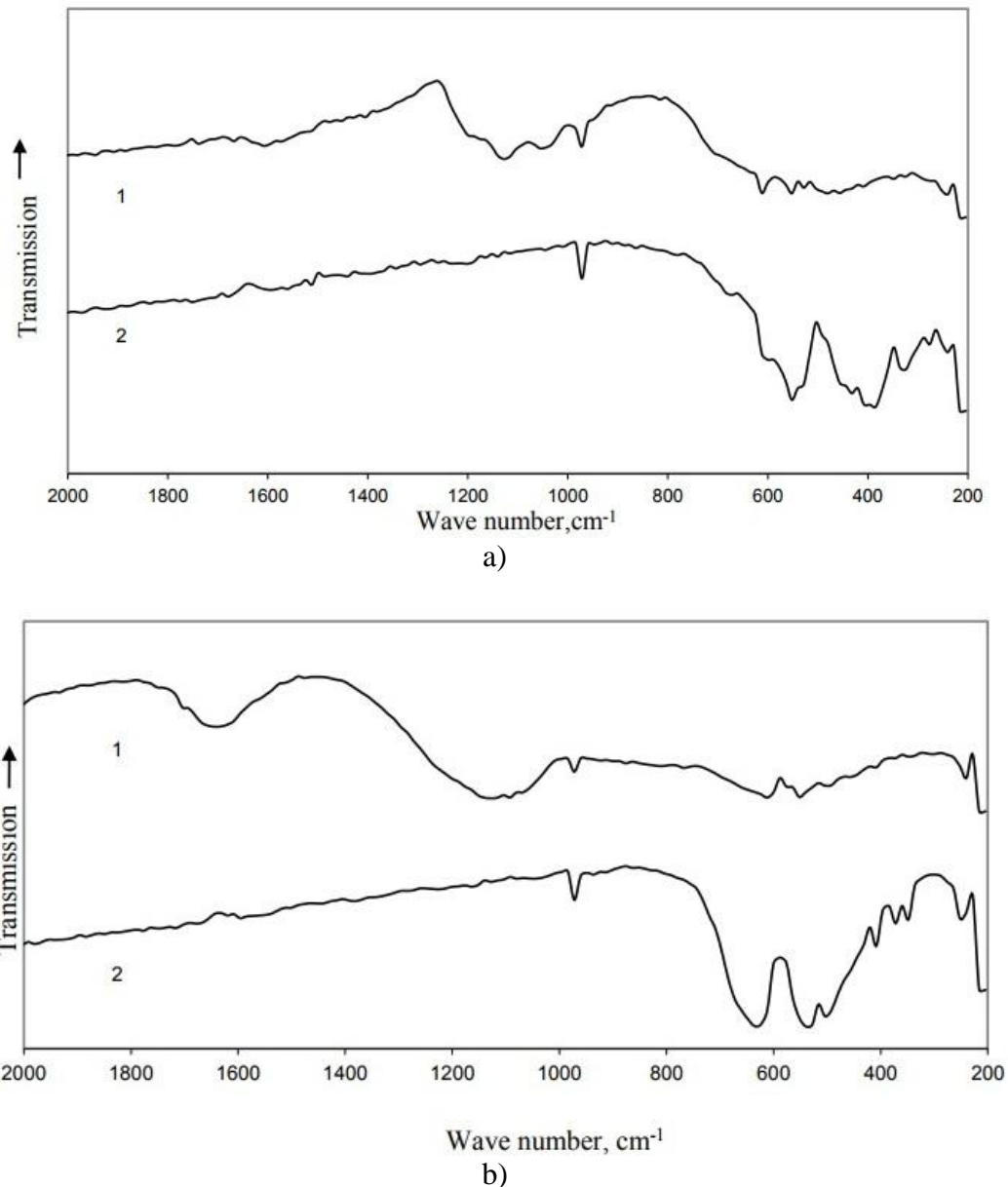
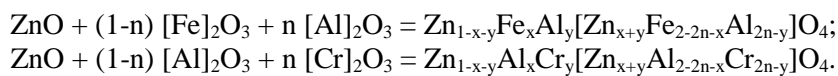


Fig.1.- Infrared spectra of formation a) zinc-ferrum spinel b) zinc-chromium spinel

Absorption bands at 1620 cm^{-1} , 1140 cm^{-1} and 1056 cm^{-1} were not observed at in the all IR spectrum of products burned at 1553 K , which indicated complete dehydration of hydroxides at this temperature. It should also be noted that the absorption bands of IR spectrum of burned zinc-ferrum mixtures were complicated, compared with zinc-chromium spinel. This complication was manifested in the fact that the absorption band with a frequency of 396 cm^{-1} , which corresponded to the antisymmetric deformation oscillation of the oxygen carcass of the octahedral cavity of the spinel lattice, was divided into several oscillations, which, upon superimposition, distorted the symmetry of the absorption band. It can be explained by the assumption of the formation of a disordered inverse zinc-ferrum spinel $\text{Zn}_{(x-1)}\text{Fe}_y[\text{Zn}_x\text{Fe}_{(2-y)}]\text{O}_4$ or a mixed $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Fe}_x\text{Al}_y[\text{Zn}_{x+y}\text{Fe}_{2-2n-x}\text{Al}_{2n-y}]\text{O}_4$ and $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Al}_x\text{Cr}_y[\text{Zn}_{x+y}\text{Al}_{2-2n-x}\text{Cr}_{2n-y}]\text{O}_4$ (when x, y are the molar part of the distribution of the corresponding ions between the tetra-octahedral cavities of the oxygen carcass of the mixed spinel), and the interaction in the oxide systems corresponded to the equation:



X-ray diffraction analysis of experimental pigments with optimal compositions which could be recommended for practical use showed that at diffractograms of specimens mostly present reflexes characteristic for mixed zinc-ferrum-chromium, zinc-aluminum, and zinc-chromium spinel. Tab. 2 demonstrated the decoding of diffractograms [9].

Table 2.

The decoding results for the diffractograms of the ocher pigments of optimal compositions

Pigment index							
B9 (bright ocher)				B10 (ocher)			
Θ	d, Å	I/I ₀ , %	Decoding of reflex	Θ	d, Å	I/I ₀ , %	Decoding of reflex
9.31	4.765	5.0	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	9.23	4.806	5.9	Zn[Cr] ₂ O ₄
11.62	3.827	6.4	ZnO	10.43	4.258	6.8	ZnO
12.79	3.482	7.8	ZnCr ₂ O ₄	10.62	4.182	4.2	Al ₂ O ₃
12.86	3.463	4.6	ZnCr ₂ O ₄	10.89	4.080	7.2	Al ₂ O ₃
15.27	2.927	50.2	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	11.23	3.958	4.5	ZnO
15.5	2.884	20.7	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	11.59	3.837	4.5	Zn[Cr] ₂ O ₄
15.89	2.815	27.6	ZnO, Al ₂ O ₃	12.08	3.683	4.5	ZnO
16.58	2.701	3.6	Al ₂ O ₃	12.81	3.476	5.9	Zn CrO ₄
17.03	2.632	7.8	ZnFe ₂ O ₄	13.86	3.218	9.5	Zn CrO ₄
17.23	2.602	21.2	ZnO, ZnAl ₂ O ₄	13.97	3.193	9.5	
17.47	2.567	5.3	Al ₂ O ₃	14.36	3.108	9.9	Zn CrO ₄
17.5	2.563	16.1	Al ₂ O ₃	15.77	2.836	54.1	ZnO, Al ₂ O ₃
18.0	2.494	100	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	16.31	2.745	6.8	ZnCrO ₄
18.17	2.472	39.2	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	17.58	2.552	7.7	Zn[Cr] ₂ O ₄
18.47	2.395	4.6	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	17.81	2.52	7.7	Zn[Cr] ₂ O ₄
19.43	2.317	4.6	Al ₂ O ₃	18.5	2.429	100	Zn[Cr] ₂ O ₄ , ZnAl ₂ O ₄
21.27	2.125	5.2	Zn CrO ₄	19.23	2.331	5.9	Al ₂ O ₃
21.87	2.074	14.6	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	19.31	2.034	13.9	ZnAl ₂ O ₄ ,
23.81	1.909	5.5	ZnO	22.27	1.667	13.0	Zn[Cr] ₂ O ₄ , Al ₂ O ₃
27.08	1.693	13.4	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄ Al ₂ O ₃	27.53	1.447	30.6	Zn[Al] ₂ O ₄
28.31	1.625	8.6	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	32.19	1.397	3.8	ZnO
28.39	1.621	9.2	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	33.48	1.296	4.9	Zn[Al] ₂ O ₄
31.49	1.475	4.6	ZnO, Al ₂ O ₃	36.48	1.296	6.9	Zn[Al] ₂ O ₄
31.69	1.467	27.6	Zn[Fe,Cr] ₂ O ₄	36.5	1.252	6.5	Zn[Al] ₂ O ₄ ,
34.0	1.378	31.7	ZnO, Al ₂ O ₃	37.98	1.104	3.0	ZnO
34.8	1.375	6.9	ZnO, Al ₂ O ₃	38.03	1.097	9.0	Zn[Al] ₂ O ₄
34.62	1.356	3.7	ZnO, Al ₂ O ₃	44.27	1.072	7.2	Zn[Al] ₂ O ₄
35.27	1.335	3.7	ZnCr ₂ O ₄	44.23	1.070	17.6	Zn[Al] ₂ O ₄
35.93	1.313	5.1	ZnCr ₂ O ₄	44.6	1.029	17.5	ZnO
37,5	1.266	19.8	Al ₂ O ₃				

Burning of optimal mixture(B9, B10), already at the temperature of 1553 K, in the synthesis of pigments with the use of co-precipitated hydroxides in the sludge waste with the corresponding molar ratio of zinc-chromium, zinc-aluminum and zinc-ferrum spinales, leaded, basically, to the formation of a spinel with the general formula, Zn[Fe,Cr]₂O₄ which was indicated by a set of reflexes with interplanar distances (d = 4.76, 2.93, 2.88, 2.49, 2.47, 2.07, 1.69, 1.625, 1.621, 1.47 Å). In addition, Zn[Al]₂O₄ (d = 2.83, 2.44, 2.03, 1.45, 1.29, 1.25, 1.09 Å) was formed. In the pigment there was also a residual amount of unreacted raw materials: corundum Al₂O₃ (d = 2.7, 2.567, 2.563, 2.31, 1.356, 1.266, 1.264 Å), zincite ZnO (d = 3.83, 2.81, 1.378, 1.375, 1.356 Å). Colour formation in ocher pigments using pure oxides occurred at an higher temperature (1623 K).

Accordingly, in the case of using a sludge from treatment of the rinsing solutions after high-precision cutting of silicon plates for complete replacement of Fe₂O₃ and partial replacement of Cr₂O₃ in the synthesis of ferrum pigments in the Fe₂O₃-Cr₂O₃-ZnO-Al₂O₃ system, the ocher color was explained by the formation of mixed spinels with the distribution of metal ions between octa and tetrahedral cavities in oxygen frame of the composition: Zn_(1-x-y)Fe_xCr_y[Zn_(x+y)Fe_(2-2n-x)Cr_(2n-y)]O₄ and Zn_{1-x-y}Al_xCr_y[Zn_{x+y}Al_{2-2n-x}Cr_(2n-y)]O₄.

Conclusions.

1. The possibility of using the sludge from treatment of the rinsing solutions after high-precision cutting of silicon plates during the synthesis of ochrous mineral pigments in as a high-iron raw material was established.

2. The temperature dependence of the crystalline lattice formation of spinel from co-precipitated hydroxides and standard reactive oxides was investigated by methods of IR spectroscopy and X-ray diffraction analysis. It has been established that the temperature of spinel-chromophore formation with the use of co-precipitated hydroxides on (100-150) K is lower than when using standard oxides.

3. It has been shown that mineral ocher pigments of optimal compositions, with the use of sludge, from treatment of the rinsing solutions after high-precision cutting of silicon plates were, in accordance with the requirements of the state standards of Ukraine.

References:

1. Масленникова Г.Н. Пигменты шпинельного типа // Стекло и керамика. 2001.-№6.-С.23-27
2. Визир В.А., Мартынов М.А. Керамические краски.-К.: Техника, 1964.-252с.
3. Галецкий Л.С., Лебедь Н.И., Польской Ф.Р., Современное состояние изучения и использования промтоходов предприятий Украины // Тезисы докладов конференции. Оценка состояния отходов промышленных предприятий и перспективы использования их в качестве техногенных месторождений, 13-15 декабря 1994 г.,Кривой Рог. – К.: Знание, 1994
4. Использование отходов очистки СВ в производстве строительной керамики / Н.Г. Олефиренко, Ю.Л. Пирумян, Ю.Д. Трусова и др. / Стекло и керамика.- 1994. –№ 6. – С.3.
5. І.М. Астрелін, О.І. Янушевська, О.В. Іванюк Регенерація SiC кислотною обробкою шламу різання монокристалічного кремнію та реагентно-флокуляційне очищення утворених промивних вод//Міжвузівський збірник «Наукові нотатки».-2017.-Випуск 57 (Технічні науки) .-С.22-26
6. А.С. 1395593 СССР, МКИ4 СОЗ С1/04. Подглазурная краска охристого цвета / Иркилевская О.Т., Демидовская А.Н., Кукушкина Г.Н. и др.; Заявл. 01.10.86; Оpubл. 15.05.88, Бюл. №18.
7. Поваренных А.С. ИК-спектры некоторых гидроокислов и оксигидратов / Конституция и свойства минералов.- 1979.-№ 3.-С.78-87.
8. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. -М.: Мир, 1991.-504с.
9. X-ray diffraction data cards, ASTM, 1973

Стаття надійшла до редакції 22.01.2018

УДК 515.2

Н.П. Ісмаїлова¹, Г.В. Трушков¹, Н.В. Олійник²*Військова академія (м. Одеса)¹**Одеська державна академія будівництва та архітектури²***МОДЕЛЮВАННЯ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ, ЗА ДОПОМОГОЮ КВАЗІГВИНТОВОЇ ПОВЕРХНІ КОНТАКТУ, ЩО ВИКЛЮЧАЄ ІНТЕРФЕРЕНЦІЮ**

Робота присвячена моделюванню спряжених поверхонь за допомогою квазігвинтової поверхні контакту зачеплення інструменту і деталі, стосовно різучого інструменту, що оброблює евольвенту поверхню, де явище інтерференції виключено. Моделювання спряженої квазігвинтової поверхні контакту зачеплення при проектуванні зубчастих передач, дозволяє визначити графоаналітичну модель стосовно зубчастих зачеплень в машинобудуванні.

Ключові слова: квазігвинтова поверхня контакту, інтерференція, зубчасті передачі, спряженні гвинтові поверхні, квазігвинтова поверхня зачеплення.

Н.П. Исмаилова, Г.В. Трушков, Н.В. Олейник**МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, С ПОМОЩЬЮ КВАЗИВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТА, ИСКЛЮЧАЮЩАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЮ**

Работа посвящена моделированию сопряженных поверхностей, с помощью квазивинтовой поверхности контакта зацепления инструмента и детали, относительно режущего инструмента обрабатываемого эвольвенту поверхности, где явление интерференции исключено. Моделирование сопряженной квазивинтовой поверхности контакта зацепления при проектировании зубчатых передач, позволяет определить графоаналитическую модель зубчатых зацеплений в машиностроении.

Ключевые слова: квазивинтовая поверхность контакта, интерференция, зубчатые передачи, сопряженные винтовые поверхности, квазивинтовая поверхность зацепления.

N. Ismailova, G. Trushkov, N. Oliinyk**SIMULATION OF CONJUGATE SURFACES BY A QUASI-VISTA SURFACE OF CONTACT, EXCLUDING INTERFERENCE**

The work is devoted to modeling of conjugate surfaces, using the quasi-screw contact surface of the tool and part engagement, relative to the cutting tool of the involute-treating surface, where the phenomenon of interference is excluded. Modeling of the conjugate quasi-screw surface of the engagement contact in the design of gears, allows to determine the graphoanalytical model of gearing in engineering.

Key words: quasi-screw contact surface, interference, gears, conjugate screw surfaces, quasi-screw engaging surface.

Визначення проблеми. Квазігвинтові поверхні контакту зачеплення в зубчастих передачах, без інтерференції, дозволяє уникнути підрізання, заклинювання, небезпечних концентрацій напруги і підвищує точність, продуктивність і надійність широкого класу деталей в машинобудуванні.

Аналіз досягнень і публікацій. При проектуванні спряжених поверхонь, певні завдання вирішувалися за допомогою методів криволінійного проектування. Дані питання досліджувалися в роботах А.М. Тевліна, А.М. Подкоритова і їх учнів. Як апарат проектування, при вирішенні різних завдань профілювання, застосовувалися конгруенції кола, гвинтових ліній, спіральні - гвинтових ліній.

Формування цілій статті. З метою здобуття точності виробів зубчастого зачеплення в машинобудуванні є моделювання спряженої квазігвинтової поверхні контакту зачеплення з точковим контактом, що виключає інтерференцію.

Вимога відсутності інтерференції, є необхідною умовою для профілювання зубчастих коліс, оскільки мова йдеться не про математичні об'єкти, а про реальні тіла, обмежені спряженнями поверхнями.

Було встановлено що, явище інтерференції настає тоді, коли будь-яка частина простору виявляється такою, що знаходиться усередині об'ємів двох тіл одночасно. Стосовно зубчастого зачеплення це є заклинювання.

Суть методу моделювання квазігвинтової поверхні контакту зачеплення зубчастих передач, що огинають циклічні аксоїди для найбільш загального випадку, полягає в тому, що як поверхня твірної Σ_A , що огинає так і поверхня Σ_B , яку огинають є спряженими узагальненими поверхнями з різними гвинтовими параметрами.

Розглянутий рух поверхонь Σ_A і Σ_B відносно миттєвої спряженої квазігвинтової поверхні контакту Φ (рис. 1).

Визначені з цією метою осі $O'_1Z'_1$ і $O'_2Z'_2$ миттєвих гвинтових рухів поверхонь Σ_A і Σ_B відносно квазігвинтової спряженої контактної поверхні Φ . Позначимо через a'_1 і a'_2 відстані і через a'_1 і a'_2 - кути між осями O_1Z_1 і $O'_1Z'_1$ і O_2Z_2 і $O'_2Z'_2$, а через ω'_1 і ω'_2 і через h'_1 і h'_2 - кутові швидкості і параметри миттєвих гвинтових рухів поверхонь Σ_A і Σ_B відносно спряженої квазігвинтової контактної поверхні Φ .

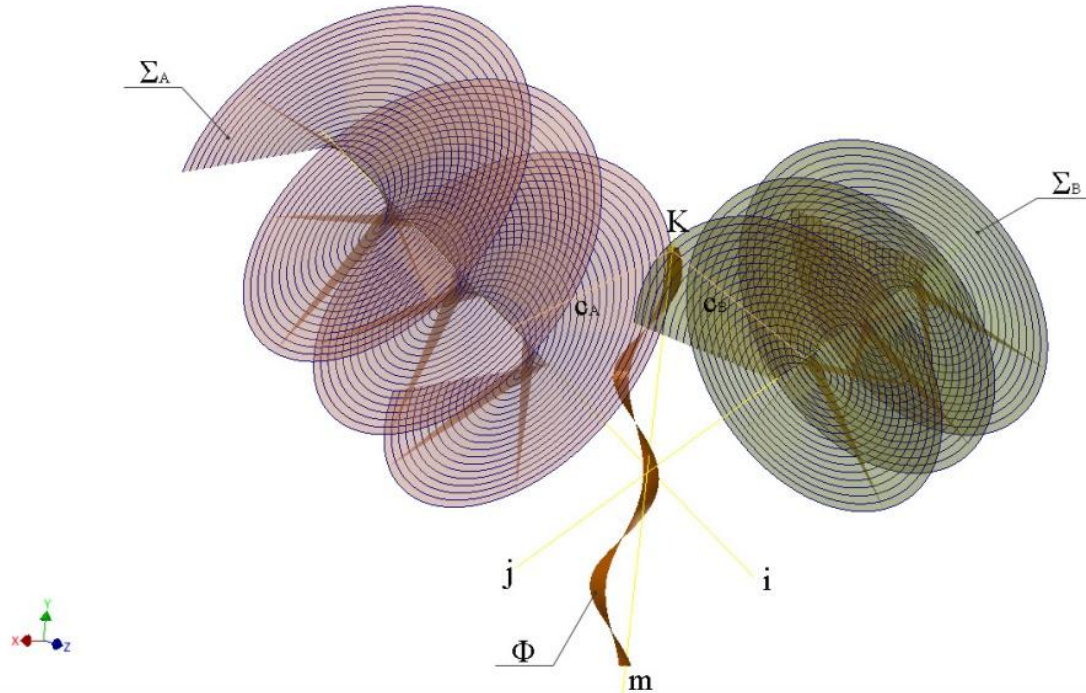


Рис.1. Геометрична модель квазігвинтової поверхні.

Для цього потрібно скласти абсолютний гвинтовий рух поверхонь Σ_A і Σ_B і рух, протилежний до абсолютного обертального руху спряженої квазігвинтової поверхні Φ . Відповідні величини можуть бути визначені з наступних співвідношень:

$$\omega'_v = \sqrt{\omega^2 + \omega_v^2 - 2\omega\omega_v \cos a_v} ;$$

$$\cos a'_v = \frac{\omega - \omega \cdot \cos a_v}{\omega'_v}$$

а величини a'_v і h'_v - системи лінійних рівнянь:

$$\operatorname{tg}(a'_v - a_v) = \frac{h + h'_v}{a'_v - a_v}$$

$$\operatorname{tg}(a'_v - 2a_v) = \frac{h'_v}{a'_1}$$

індекс v тут і далі набуває значення 1 і 2.

Характеристикою поверхні Φ при її русі відносно руху спряжених гвинтових поверхонь Σ_A і Σ_B , є геометричне місце тих точок на поверхні Φ , швидкості рухів яких відносно спряжених гвинтових поверхонь Σ_A і Σ_B , які належать площині, дотичній до квазігвинтової поверхні контакту Φ . Знайдений вектор відносної швидкості точок квазігвинтової поверхні контакту Φ з координатами, u, v у момент часу t .

Для цього визначений вектор відстань від точки O'_y до точки поверхні Φ з координатами u, v у момент часу t .

$$\bar{W}_v(t, u, v) = x_{w_v}(t, u, v) \cdot \bar{i} + y_{w_v}(t, u, v) \cdot \bar{j} + z_{w_v}(t, u, v) \cdot \bar{k}$$

$$\bar{d}_v(t, u, v) = x_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{i} + y_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{j} + z_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{k}$$

Очевидно,

$$\bar{d}_v(t, u, v) = (-1)^v \cdot (a_v - a'_v) \cdot \bar{i} + \bar{c}(t, u, v);$$

Тобто

$$x_{d_v}(t, u, v) = (-1)^v \cdot (a_v - a'_v) \cdot \bar{i} + x_c(t, u, v)$$

$$y_{d_v}(t, u, v) = y_c(t, u, v)$$

$$z_{d_v}(t, u, v) = y_c(t, u, v)$$

використовуючи вектор $\bar{d}_v(t, u, v)$, знаходимо

$$\bar{W}_v(t, u, v) = [\bar{d}_v(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v] + h'_v \cdot \bar{\omega}'_v$$

очевидно,

$$\bar{\omega}'_v = \bar{\omega}'_v \cdot \sin(a'_v - a_v) \cdot \bar{j} + \bar{\omega}'_v \cdot \cos(a_v - a'_v) \cdot \bar{k},$$

звідки:

$$x_{w_v}(t, u, v) = y_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \cos(a'_v - a_v) - z_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \sin(a'_v - a_v);$$

$$y_{w_v}(t, u, v) = -x_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \cos(a'_v - a_v) + h'_v \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \sin(a'_v - a_v);$$

$$z_{w_v}(t, u, v) = x_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \sin(a_v - a'_v) + h'_v \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \cos(a'_v - a_v).$$

$$\bar{W}_v(t, u, v)$$

Тоді умова того, що вектор швидкості $\bar{W}_v(t, u, v)$ знаходиться в дотичній до квазігвинтової поверхні контакту Φ , може бути записано у вигляді:

$$\bar{n}(t, u, v) \cdot \bar{W}_v(t, u, v) = 0$$

або

$$x_n(t, u, v) \cdot x_{w_v}(t, u, v) + y_n(t, u, v) \cdot y_{w_v}(t, u, v) + z_n(t, u, v) \cdot z_{w_v}(t, u, v) = 0$$

З цього рівняння визначаємо, наприклад, параметр v як функцію параметрів u і v , тобто:

$$V = V_v(u, v)$$

Яка виділяє на квазігвинтової поверхні контакту Φ геометричну безліч точок, що належать у момент часу t характеристиці.

Для знаходження радіусу вектору точок характеристики у момент часу t :

$$\bar{e}_v(t, u) = x_{e_v}(t, u) \cdot \bar{i} + y_{e_v}(t, u) \cdot \bar{j} + z_{e_v}(t, u) \cdot \bar{k},$$

підставимо знайдену вище функцію у формулу радіусу-вектору $\bar{c}(t, u, v)$ точок спряжених

поверхонь $\sum_A \equiv \sum_B$.

$$\bar{e}_v(t, u) = \bar{c}(t, u, V_v(u, t)).$$

або

$$x_{e_v}(t, u) = x_c(t, u, V_v(u, t)),$$

$$y_{e_v}(t, u) = y_c(t, u, V_v(u, t)),$$

$$z_{e_v}(t, u) = z_c(t, u, V_v(u, t)).$$

Відзначимо, що знайдене сімейство характеристик є одночасно вираженням для радіусу-вектору квазігвинтової поверхні контакту зачеплення, що розшукується в системі координат O_{xyz} .

Щоб знайти радіуси - вектори точок квазігвинтової поверхні контакту зачеплення, що обмежують тіла двох спряжених гвинтових поверхонь використовуємо рівняння:

$$\begin{cases} \bar{n}(t, u, v) \cdot \bar{W}_1(t, u, v) = 0 \\ \bar{n}(t, u, v) \cdot \bar{W}_1(t, u, v) = 0 \end{cases}$$

Ця система визначає u і v як функції часу t :

$$u = u(t), \quad v = v(t)$$

Підставляючи у вираження для радіусу-вектору $\bar{c}(t, u, v)$ точок квазігвинтової поверхні контакту, знайдемо вираження для радіусу-вектору:

$$\bar{f}(t) = x_f(t) \cdot \bar{i} + y_f(t) \cdot \bar{j} + z_f(t) \cdot \bar{k},$$

точок зачеплення квазігвинтової поверхні контакту:

$$\bar{f}(t) = \bar{c}(t, u, v(t))$$

або

$$\bar{f}(t) = x_c(t, u, v(t));$$

$$y_f(t, u) = y_c(t, u, v(t));$$

$$z_f(t, u) = z_c(t, u, v(t)).$$

Для знаходження радіусу-вектору точок квазігвинтової поверхні контакту обертання, які розшукуються в системі координат $O_v X_v Y_v Z_v$, жорстко зв'язаної з тілом обертання, перейдемо спочатку від системи координат O_{xyz} до системи координат $O_v X_v Y_v Z_v$, яка повернута навколо вісі $O_x = O_v \cdot X_v$ на кут a_v та перенесена вдовж неї на відстань $(-1)^{v+1} a_v$.

$$\text{Вважаючи } \bar{e}_v(t, u) = x_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{i} + y_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{j} + z_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{k}_v$$

знаходимо:

$$x_{ev}^v(t, u) = x_{ev}(t, u) + (-1)^v a_v;$$

$$y_{ev}^v(t, u) = y_{ev}(t, u) \cdot \cos a_v + z_{ev}(t, u) \cdot \sin a_v;$$

$$z_{ev}^v(t, u) = -y_{ev}(t, u) \cdot \sin a_v + z_{ev}(t, u) \cdot \cos a_v$$

Залишається перейти від системи координат $O_v X_v Y_v Z_v$ до рухливої системи координат $O_v X_v Y_v Z_v$, жорстко пов'язаної з тілом і поверненої довкола осі $O_v Z_v = O_v Z_v$ на кут $\varphi_v(t) = \omega_v t$.

$$\text{Вважаючи } \bar{e}_v(t, u) = x_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{i} + y_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{j} + z_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{k}_v$$

$$\text{знаходимо: } x_{ev}^v(t, u) = x_{ev}^v(t, u) \cdot \cos \varphi_v(t) + y_{ev}^v(t, u) \sin \varphi_v(t);$$

$$y_{ev}^v(t, u) = -x_{ev}^v(t, u) \cdot \sin \varphi_v(t) + y_{ev}^v(t, u) \cos \varphi_v(t);$$

$$z_{ev}^v(t, u) = z_{ev}^v(t, u)$$

Останні формули вирішують поставлену задачу: вони в координатній формі задають спряжену квазігвинтову контактну поверхню зачеплення S_v , що обмежує її тіло.

Визначення спряженої квазігвинтової контактної поверхні зачеплення визначає інтерференцію зубчастих передач, яка дозволяє отримувати аналітичну модель по сучасним технологіях для виготовлення зубчастих зачеплень, що виключають інтерференцію. Моделювання квазігвинтової контактної поверхні зачеплення, дозволяє уникнути підрізування, заклинювання і небезпечної концентрації напруги, а також підвищується точність і надійність, при виготовлення деталей в машинобудуванні.

Квазігвинтова поверхня контакту зачеплення дає можливість отримувати пари спряжених гвинтових поверхонь, на стадії проектування яких буде відсутнє явище інтерференції.

Висновок. З метою підвищення точності і надійності широкого класу виробів космічних кораблів, авіації, озброєння, військової техніки та машинобудування розроблено конструювання спряжених гвинтових поверхонь за допомогою визначення квазігвинтової поверхні контакту зачеплення, яка дає можливість отримувати пари зубчастого зачеплення, їх оптимальну форму і розміри з точки зору надійності і точності профілізації і підвищення продуктивності конструкторських робіт.

Подальші дослідження проводитимуться у напрямі розповсюдження використання побудови спряженої квазігвинтової контактної поверхні зачеплення на базі параметричного кінематичного гвинта, а також для сприяння вирішення проблеми виключення інтерференції при профілізації деталей в машинобудуванні.

Список використаних джерел:

1. Подкорытов А.Н. Определение интерференции и профилирование сопряженных винтовых нелинейчатых поверхностей сложным криволинейным профилем применительно к червячным фрезам. Прикладная геометрия и инженерная графика. Омск, 1972.
2. А.М. Подкоритов, Ісмаїлова Н.П. Основи формування поверхонь // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – Вип. 7, т.38. – Мелітополь: ТДАТА, 2008. – С.16-20.
3. А.Н.Подкорытов. Исключение интерференции сопряженных поверхностей зубчатых передач. INTERNATIONAL CONGRES–GEAR TRANSMISSIONAL, Sofia–BULGARIA, 1995,с.143–145.
4. Ісмаїлова Н.П. Спряжені поверхні із точковим контактом // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці. - Таврійська державна агротехнічна академія – Вип. 4 т.35. – Мелітополь, 2007. – С.156-159.
5. Ісмаїлова Н.П. Комплексний спосіб формування спряжених нелінійчатих поверхонь / Н.П. Ісмаїлова// Збірник наукових праць. Вісник КНУБА, – Київ, 2009. – С. 220-224.
6. Подкоритов А. М., Ісмаїлова Н. П. Теоретичні основи спряжених квазігвинтових поверхонь, що виключають інтерференцію [Текст]: монографія //Херсон : ФОПГрінь Д. С., 2016. – 330 с.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 621.43.038

В.А. Кищун, Л.В. Нестеренко*Луцький національний технічний університет***МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК ІЗ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ**

Розглянуто методи діагностування дизельних паливних форсунок із п'єзоелектричним приводом. Встановлено, що, на відміну від інших методів, застосування сучасного професійного стенда DiMeD EXIST дозволяє провести більш повне тестування п'єзофорсунок за гідравлічними і електричними параметрами у короткий термін. У випадку придатності форсунок до подальшої експлуатації їй присвоюється індивідуальний коригувальний код, який записується у блок керування двигуном.

Ключові слова: п'єзофорсунка, технічний стан форсунок, діагностичний стенд, корегувальний код.

Рис. 6. Літ. 7.

В.А. Кищун, Л.В. Нестеренко**МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ**

Рассмотрены методы диагностики дизельных топливных форсунок с пьезоэлектрическим приводом. Установлено, что, в отличие от других методов, применение современного профессионального стенда DiMeD EXIST позволяет провести более полное тестирование пьезофорсунок за гидравлическими и электрическими параметрами в короткий срок. В случае пригодности форсунок для дальнейшей эксплуатации ей присваивается индивидуальный корректирующий код, который записывается в блок управления двигателем.

Ключевые слова: пьезофорсунка, техническое состояние форсунок, диагностический стенд, корректирующий код.

V. Kyshchun, L. Nesterenko**DIAGNOSTIC METHODS OF DIESEL FUELS SPRAY NOZZLE WITH PIEZOELECTRIC DRIVER**

The methods of diagnostics of diesel fuel spray nozzles with piezoelectric drive were examined. It has been established that the initial testing of the tightness of the spray nozzle (so-called functional assessment) requires compliance with technical specifications, which include: technical requirements for the device; requirements concerning the test oil used in the device; requirements for additional equipment. Separate devices are required to determine the electrical parameters of the piezoelectric device.

The process of diagnostics of piezoelectric devices on the DiMeD EXIST stand allows for a greater number of parameters to be studied. It consists of the following main steps: Checking the leak tightness of the spray nozzle; checking the filling of hydro-compensator; checking of electrical parameters of the piezo module; determination of the minimum voltage for activating the spray nozzle; measurement of the amount of fuel supplied by the injector at different engine operating modes; Assigning an Individual Adjustment Code to an Injector (IMA Code).

The use of the modern professional DiMeD EXIST booth allows you to speed up the diagnostic process, and, if the spray nozzle is suitable for future use, assign it an individual correction code that is written to the engine control unit.

Key words: piezoelectricspaynozzle, technical state of the nozzle, diagnostic stand, correction code.

Постановка проблеми. П'єзоелектрична форсунка вважається сьогодні одним із найкращих рішень у системі живлення автомобільних двигунів. Однак, із огляду специфічної конструкції такого типу форсунок, вони вимагають особливого обладнання для проведення діагностики і ремонту.

Оскільки форсунок двигунів мають відповідати заявленим параметрам, тому їх необхідно періодично перевіряти та обслуговувати. Чинна методика визначення технічного стану, зокрема, п'єзофорсунок фірми BOSCH базується на перевірці відповідності електричних і гідравлічних параметрів заданих виробником у тест-плані за допомогою спеціального дилерського обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес діагностики п'єзофорсунок складається з таких основних етапів:

- перевірка герметичності форсунок;
- перевірка наповнення гідрокомпенсатора;
- перевірка електричних параметрів п'єзомодуля;
- визначення мінімальної напруги для активації форсунок (ISA-код);
- вимірювання кількості палива, яке подається форсункою на різних режимах роботи двигуна;
- присвоєння індивідуального коригувального коду форсунок (ІМА-код).

До недавнього часу ці етапи проходили з використанням численних приладів і пристроїв.

Для здійснення первинної діагностики п'єзофорсунки на герметичність (так звана функціональна оцінка) використовується прилад для перевірки і регулювання форсунок Bosch EFEP 60H (див. рис. 1) [1]. Ця складна операція вимагає великого досвіду і дотримання обов'язкових технічних умов, за якими необхідно проводити перевірку. Зокрема, вони включають: технічні вимоги для приладу; вимоги, що висуваються до випробувальної оливи, яка використовується у приладі і вимоги до додаткового обладнання (паливопроводу) приладу [2].

Невідповідна олива може бути причиною помилкової оцінки роботи форсунки, оскільки оливи відрізняються за властивостями, швидко старіють, змінюючи свої характеристики, перш за все, щільність і в'язкість, що впливає на оцінку внутрішньої герметичності і на звучання розпилювача.

Міжнародний Комітет Стандартів рекомендує використання перевірочних олив, параметри яких описані в нормі ISO 4113 [3]:

- густина: $\rho=0,820 - 0,830 \text{ г/см}^3$ за температури $t=15^\circ\text{C}$;
- кінематична в'язкість: $\nu=2,45 \dots 2,75 \text{ мм}^2/\text{с}$ за температури $t=40^\circ\text{C}$.

Оливу слід змінювати, коли її кінематична в'язкість досягає $\nu=3,0 \text{ мм}^2/\text{с}$ за температури $t=40^\circ\text{C}$.

Перевірочна олива повинна мати інтенсивний жовтий колір, бути прозорою без забруднень і володіти консервуючими властивостями, що гарантують справну роботу розпилювача після тривалого зберігання.

Паливопровід приладу повинен відповідати нормі ISO 4093, не мати надломів, бути зігнутим так, щоб кулька діаметром 1,8 мм вільно проходила за всією довжиною під дією власної ваги [4]. Конічні кінці паливопроводу повинні бути загартовані (чи виготовлені з твердої сталі), щоб не змінювався діаметр отвору кінця трубки внаслідок багаторазового використання.

Приладом Bosch EFEP 60H перевіряється форма паливних факелів, звукова характеристика, тиск відкриття, герметичність розпилювача і клапана керування. Під час проведення випробувань прилад використовується спільно з імітатором сигналів CR Tester, який забезпечує [5]:

- програмування будь-якого з необхідних форм керуючого сигналу (задаються тривалість імпульсу відкриття, тривалість паузи, кількість імпульсів, період проходження циклів імпульсів і кількість циклів);
- вимір часу спрацьовування форсунки;
- ручне або автоматичне керування тиском;
- режим визначення гідрощільності;
- автоматичний захист від перевищення струму у разі перевантаження;
- автоматичне запам'ятовування параметрів роботи.

Тиск початку впорскування палива (початок підйому голки) перевіряється і регулюється у такому порядку. Форсунка встановлюється на прилад (див. рис. 1). До електричного роз'єму форсунки приєднується штекер приладу CR Tester і вибравши режим керування, подається на форсунку імпульс відкриття.

Переміщуючи важіль приводу приладу донизу за манометром визначається тиск у момент початку виходу струменя палива з форсунки. Процес супроводжується тихим звуком низької частоти; манометром фіксується тиск, який перестає зростати (або починає падати) під час витікання палива з розпилювача. Це значення тиску є тиском відкриття форсунки.

Якщо тиск відкриття розпилювача знаходиться поза допуском, він повинен бути відкоригований підбором регулювальних шайб. Залежно від товщини шайб, змінюється попередній натяг пружини форсунки. Як правило, зміна товщини шайби на 0,1 мм призводить до зміни тиску відкриття на 1,0 МПа.

Під час регулювання тиску відкриття за допомогою шайб, не допускається використання "замінників" шайб, виготовлених з м'яких матеріалів, оскільки відрегульований тиск стає нестабільним.

Герметичність форсунки оцінюється за допомогою Bosch EFEP 60H наступним чином: у форсунці створюється тиск у межах 25...30 МПа. Носик розпилювача при цьому протягом 90 секунд не повинен ставати вологим. Час падіння тиску від 30 до 20 МПа не повинен бути меншим 10 секунд.

Передача зусилля від п'єзоелемента до голки розпилювача відбувається за допомогою гідравлічної передачі, тому гідрокомпенсатор повинен бути повністю заповнений дизельним паливом.



Рис. 1. Прилад для перевірки і регулювання форсунок Bosch EFEP 60Н

Для перевірки заповнення, форсунка встановлюється на прилад Bosch EFEP 60Н; створюється тиск у межах 25...30 МПа та, за допомогою актуатора Bosch CRR220, на форсунку подається імпульс відкриття. При заповненому гідрокомпенсаторі через розпилювач відбудеться впорскування.

Після розбирання форсунки або у разі відсутності впорскування необхідно провести процедуру калібрування гідрокомпенсатора. Для цього він заповнюється дизельним паливом і стискається у калібровочному циліндрі до установочного розміру 30 мм.

Характерними електричними дефектами п'єзофорсунок є: зменшення ємності п'єзопакета; замикання п'єзопакета на корпус та його обрив. Для визначення електричних параметрів використовуються наступні прилади: мультиметр УТМ1106, вимірник ємності СМ9601А та прилад для перевірки ізоляції – мегаометр Ф4102. Опір справної форсунки знаходиться в межах 170...200 кОм, а ємність п'єзопакета становить 2,0...2,6 мкФ [6].

Опір ізоляції п'єзопакета перевіряється мегаометром Ф4102 за напруги 500 В, при цьому один щуп приладу кріпиться на один із контактів форсунки, а інший на її корпус.

Опір справної ізоляції повинен наблизитись до нескінченності. Під час відхилення опору та ємності п'єзопакета від заданих параметрів та значення опору ізоляції більше 50 мОм форсунка выбраковується.

Мета роботи. Дослідження сучасного методу діагностування дизельних форсунок із п'єзоелектричним приводом за допомогою професійного стенда.

Результати досліджень. Одноканальний професійний стенд DiMeD EXIST виробництва дніпропетровської компанії "Автодизель", який показаний на рисунку 2, призначений для повного тестування форсунки згідно з параметрами, закладеними у пам'ять власного комп'ютера [7]. Стенд оснащений електронною безмензурочною системою виміру з комп'ютерним контролем результатів тесту, системою створення і підтримки високого тиску у діапазоні від 1,0 до 20,0 МПа та принтером для виведення на друк результатів тесту. Особливістю стенда є також система термічної стабілізації тестової рідини, яка забезпечує електричний підігрів, а вбудований кондиціонер із холодоагентом охолоджує бак стенда під час тривалої роботи.

Послідовність перевірки форсунки на стенді DiMeD EXIST наступна:

- інжектор встановлюється на комп'ютерний стенд. За допомогою універсальної затискної струбцини положення паливоприймача налаштовується під носик розпилювача; регулюється кут нахилу струбцини для під'єднання паливопроводу високого тиску;
- приєднуються паливопроводи високого тиску та зворотного зливу до відповідних швидкоз'єднувачів промивочних стаканчиків на панелі стенда;
- під'єднується роз'єм кабелю до відповідного штекера на панелі стенда;
- здійснюється вхід у меню програми управління стендом і вибирається із списку виробників інжекторів фірма BOSCH (DENSO, DELPHI);
- за списком каталожних номерів вибирається номер форсунки, яка тестується;
- у вікні зліва, під номером інжектора з'явиться список тестів; необхідні умови автоматично відобразяться у вікнах заданого тиску, частоти спрацьовування, тривалості імпульсу. Допуски еталонних значень подачі палива і зворотного зливу для тесту відобразяться на екрані (див. рис. 3);
- запускається процес видалення повітря і прокачування форсунки, шляхом натискання кнопки "Старт";
- після завершення процесу очистки і прокачування тривалістю 120 с магістралі заміру подачі і зворотного зливу переключаються з промивочних стаканчиків до роз'ємів безмензурочної системи вимірювання;



Рис. 2. Стенд для перевірки форсунок DiMeD EXIST

- запускається перевірка форсунок згідно з вибраним тест-планом в автоматичному режимі.

Неможливість виготовлення абсолютно однакових за електричними параметрами п'єзопакетів вимагають підбору індивідуальної для кожної форсунок робочої напруги. У форсунках фірми BOSCH діапазон робочих напруг розділений на дев'ять інтервалів кожний із яких позначається окремою латинською літерою (C-D-E-F-G-H-I-K-L); літера C – діапазон із найменшою напругою, літера L – із найбільшою. Така процедура називається ISA-кодуванням (див. рис. 4).

Вимірювання циклової подачі проводиться починаючи з найвищої напруги (літера L). Поступово знижуючи її, досягається циклова подача $5 \pm 5 \text{ cm}^3$ за 1000 циклів спрацювання форсунок. Отриманий діапазон напруги і буде робочим. Літера, яка відповідає зазначеному інтервалу напруги записується останньою у, так званому, загальному коригувальному коді форсунок – IMA-коді.

На стенді DiMeD EXIST проводиться також вимірювання подачі п'єзофорсунок палива (див. рис. 5).

Визначаються такі параметри:

- кількість палива зворотного зливу за тиску 160...180 МПа (режим Dynamic L);
- кількість палива за повного навантаження двигуна (режим VL);
- кількість палива за часткового навантаження двигуна (режим EM);
- кількість палива у режимі попереднього впорскування (режим VE);
- кількість палива у режимі холостого ходу (режим LL).

Перед проведенням вимірювання зазначених показників, для отримання найбільш точних даних, форсунка прогрівається на стенді протягом двох хвилин за тиску 150 МПа.

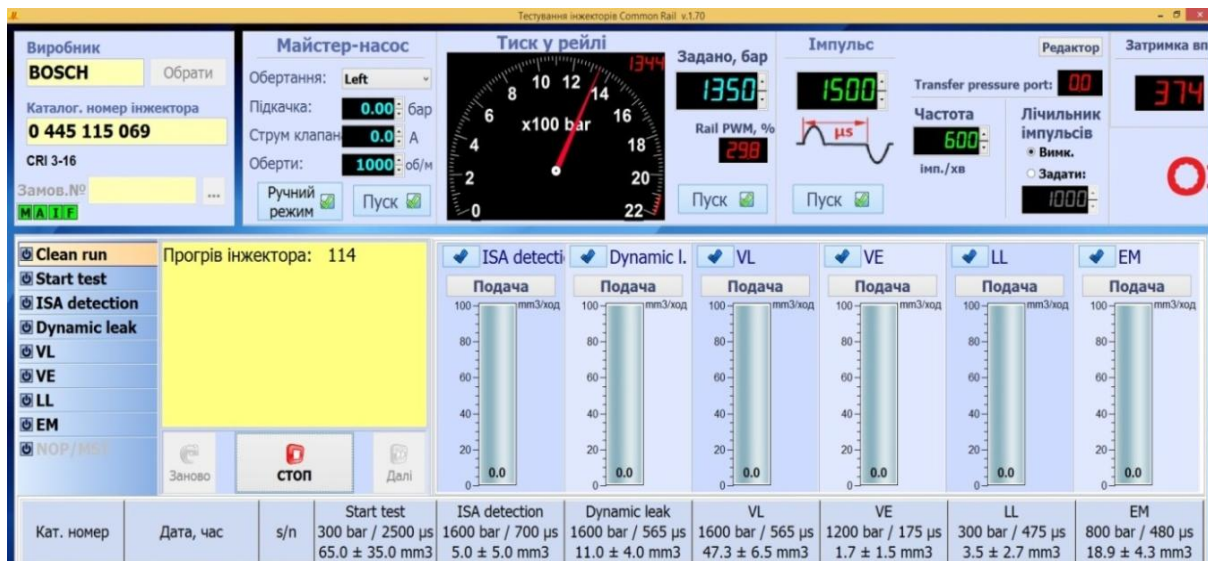


Рис. 3. Вигляд програмного забезпечення стенда DiMeD EXIST

Для кожного каталожного номера форсунки застосовується індивідуальний тест-план у якому вказані значення подачі і зворотного зливу палива з відповідними допусками за певного тиску палива і імпульсу керування. Якщо усі подачі і зворотній злив палива відповідають тест-плану, форсунка вважається технічно справною.

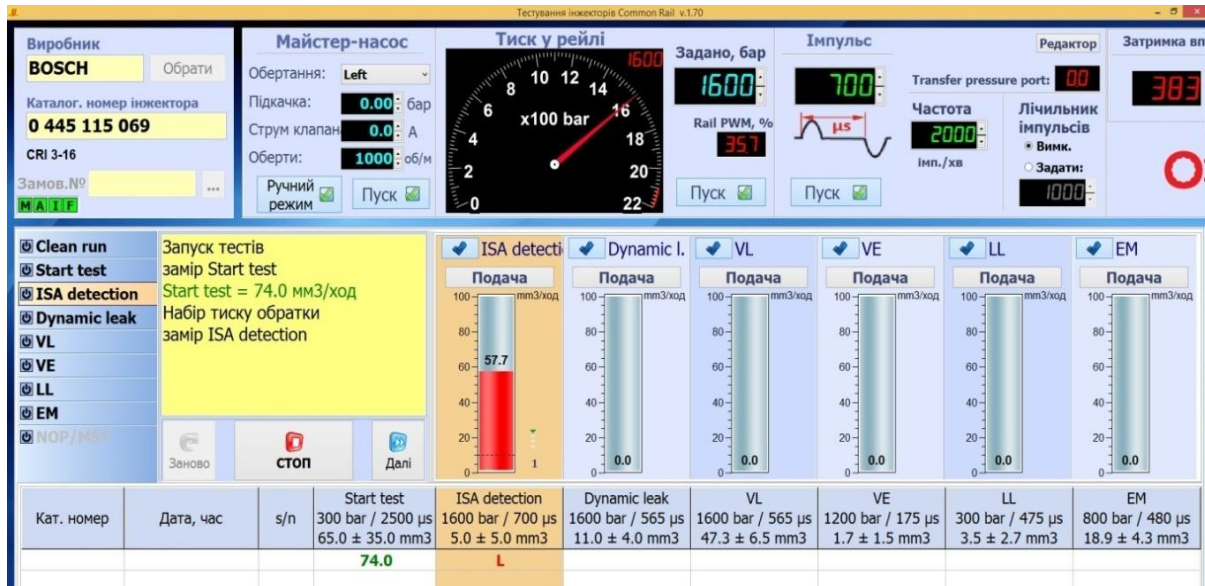


Рис. 4. Вигляд процедури ISA-кодування



Рис. 5. Вигляд процедури вимірювання подач

Перед проведенням вимірювання зазначених показників, для отримання найбільш точних даних, форсунка прогрівається на стенді протягом двох хвилин за тиску 150 МПа.

Діапазон необхідних подач відзначається пунктирною лінією. Під час потрапляння подачі у заданий діапазон, стовпчик заміряної подачі зафарбовується в зелений колір. У разі подачі, що менша за необхідну, колір стовпчика – жовтий, за більшої – червоний.

З метою компенсації відхилень параметрів подач палива від еталонного середнього значення, фірмою BOSCH застосовується технологія коригувальних коефіцієнтів. Така процедура називається ІМА-кодуванням.

Після перевірки форсунок на стенді і вимірювання подач на усіх режимах, програмне забезпечення стенда вираховує поправочні коефіцієнти для кожного з режимів (див. рис. 6), які наносяться у вигляді буквено-цифрового коду на корпус форсунки. Під час встановлення

форсунки зазначений код записується у блок керування двигуном. Надалі, з метою забезпечення подачі у заданому значенні, на кожному із швидкісних режимів блок корегує імпульс напруги.

У випадку, коли величина зворотного зливу палива або величина подачі палива хоча б на одному тесті виходить за межі регламентованих показників, результати на стенді зафарбовуються у червоний колір (на рисунку 6 – це у нижньому рядку) і код ІМА не присвоюється. За таких умов, згідно з регламентом фірми BOSCH, форсунку необхідно замінити на нову.

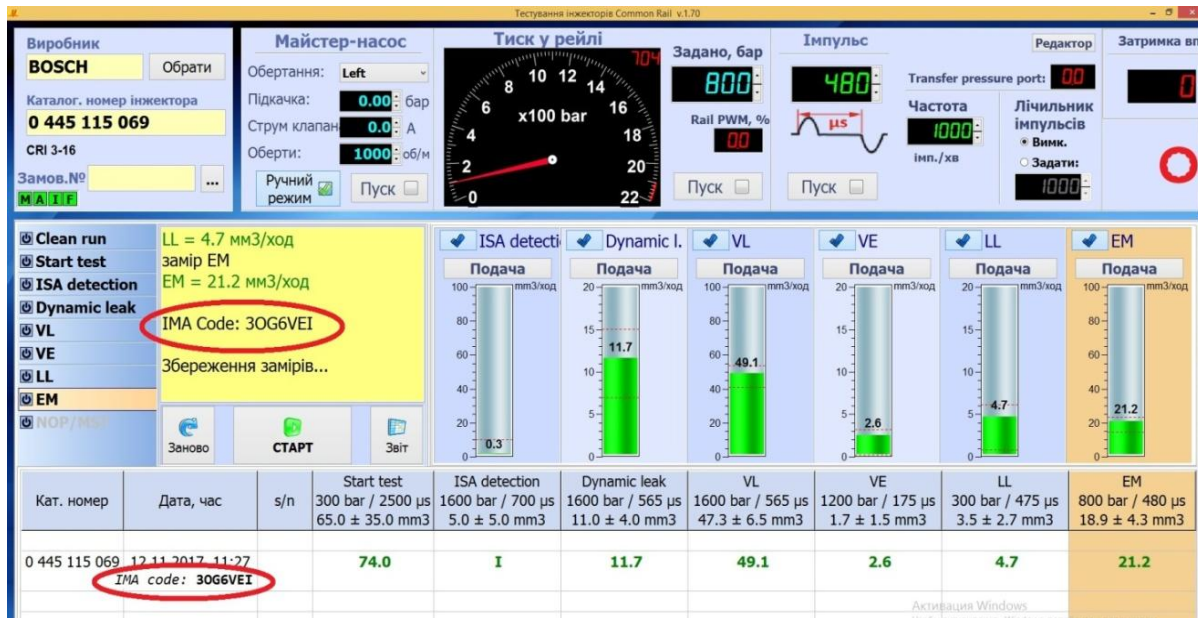


Рис. 6. Вигляд процедури ІМА-кодування

Висновки. Первинна перевірка роботи форсунки на герметичність вимагає дотримання технічних умов, які включають: технічні вимоги для приладу; вимоги, що висуваються до випробувальної оливи, яка використовується у приладі; вимоги до додаткового обладнання. Для визначення електричних параметрів п'єзофорсунки необхідні окремі пристрої.

Процес діагностики п'єзофорсунок на сучасному професійному стенді DiMeD EXIST дозволяє охопити більшу кількість досліджуваних параметрів, пришвидшити сам процес діагностування і, у випадку придатності форсунки до подальшого використання, присвоїти їй індивідуальний коригувальний код (ІМА-код).

Література

1. Прибор для проверки дизельных форсунок Bosch EFEP 60H [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bosch-kts.ru>.
2. Гюнтер Г. Диагностика дизельных двигателей. Перевод с немецкого. Серия "Автомеханик". – М.: ЗАО "КЖИ "За рулем", 2004. – 176 с.
3. Марков В., Тимченко В., Рындин И. Топливная аппаратура автомобильных и тракторных дизелей. – ПОНЧИК, 2001. – 254 с.
4. Скляр В., Яковенко С., Скляр А. Ремонт и обслуживание форсунок дизельных двигателей: Практическое руководство. – Ростов-на-Дону: ПОНЧИК, 2000. – 24 с.
5. "CR-тестер" – прибор для диагностики электронных дизельных форсунок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://opensys.prom.ua>.
6. Дизельная диагностика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://opensys.com.ua/dizelnaya-diagnostika/cr-jet4-e-diagnosticheskij-stend-dlya-proverki-forsunok-commonrail/>.
7. DiMeD EXIST – стенд для тестирования COMMON RAIL инжекторов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dimed.com.ua/ru/sobstvenie/EXIST_STEND.htm.

Стаття надійшла до редакції 26.02.2018

УДК621.82

О.М. Кондратюк¹, Р.М. Котик²¹Національний університет водного господарства та природокористування²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ГВИНТОВИХ ГОФРОВАНИХ ЗАГОТОВОК**

Представлено конструкцію верстату для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок з різним профілем гофр. Особливістю конструкції є те, що механізм гофроутворення в межах формувальних зубчастих коліс на певних ділянках має спеціальний профіль – завишений або занижений для утворення гвинтових гофрованих заготовок з різним профілем, в яких частина впадин між зубами, яка формує гофровану поверхню, є змінні в межах зазору між зубами і товщиною заготовки, а частина зубів є нормальною.

Також запропонований метод розрахунку для визначення режимів оброблення дає можливість визначити послідовність згаданих переміщень ланок виконавчих механізмів, які забезпечують реалізацію заданих питань вихідного технологічного завдання; розрахувати траєкторію руху формуючого інструменту і підготувати необхідну документацію; використовувати отримані аналітичні залежності для розрахунку і проектування необхідного технологічного устаткування та формуючого інструменту; в процесі проектування нового обладнання правильно вибрати кінематику виконавчих органів верстату.

Ключові слова: технологічний процес, гвинтові гофровані заготовки, калібрування спіралі на крок, проектування.

А.Н. Кондратюк¹, Р.М. Котик²¹Национальный университет водного хозяйства и природопользования²Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИНТОВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК**

Представлены конструкцию станка для изготовления винтовых гофрированных заготовок с различным профилем гофр. Особенностью конструкции является то, что механизм гофроутворення в пределах формовочных зубчатых колес на определенных участках имеет специальный профиль - завышена или занижена для образования винтовых гофрированных заготовок с различным профилем, в которых часть впадин между зубами, которая формирует гофрированную поверхность, является изменены в пределах зазора между зубами и толщиной заготовки, а часть зубов является нормальной.

Также предложен метод расчета для определения режимов обработки дает возможность определить последовательность согласованных перемещений звеньев исполнительных механизмов, обеспечивающих реализацию заданных вопросов исходного технологического задания; рассчитать траекторию движения формообразующего инструмента и подготовить необходимую документацию; использовать полученные аналитические зависимости для расчета и проектирования необходимого технологического оборудования и формообразующего инструмента; в процессе проектирования нового оборудования правильно выбрать кинематику исполнительных органов станка.

Ключевые слова: технологический процесс, винтовые гофрированные заготовки, калибровки спирали на шаг, проектирование.

O. Kondratyuk¹, R. Kotyk²¹National University of Water Management and Nature Management²Ternopil Ivan Puluj National Technical University**FEATURES OF DESIGNING CORRUGATION SCREW BLANK**

The design of the machine tool for the production of corrugation screw blank with a different profile of corrugation is presented. The peculiarity of the design is that the mechanism of corrugation within the forming gear wheels in certain areas has a special profile - high or low for the formation of screw corrugated billets with different profiles in which the part of the cavities between the teeth forming the corrugated surface are changed within the gap between teeth and thickness of the workpiece, and part of the teeth is normal.

Also, the proposed method of calculation for determining the modes of processing makes it possible to determine the sequence of coordinated displacements of the links of executive mechanisms, which ensure the implementation of the issues of the original technological problem; calculate the trajectory of the movement of the shaping tool and prepare the necessary documentation; use the obtained analytical dependencies for the calculation and design of the necessary technological equipment and mold-making tool; in the process of designing a new equipment correctly choose the kinematics of the executive bodies of the machine.

Key words: technological process, corrugation screw blank, calibration of spiral to step, screw preparation, designing.

Постановка проблеми. Механізми з гвинтовими робочими органами отримали широке застосування в різних галузях народного господарства України та за її межами, завдяки концентрації різних технологічних операцій у поєднанні з транспортуванням. До основних переваг гвинтових механізмів (ГМ) відносяться неперервність переміщення насипних вантажів, простота

конструкції і надійність в експлуатації, можливість повної автоматизації із застосуванням регулювання і контролю, транспортування вантажів по криволінійних траєкторіях та інше.

В машинобудуванні навивання широкосмугових гвинтових робочих органів можна здійснювати двома методами: прокатуванням і навиванням. Технологічний процес навивання гвинтових заготовок (ГЗ) порівняно з прокатуванням має ряд переваг, зокрема товщина зовнішньої кромки складає 0,1...0,2 мм на 1 мм товщини проти 0,3...0,6 мм для прокатування. При цьому при прокатуванні товщина зовнішньої кромки у 1,5...2,6 рази менша ніж внутрішньої. Це важливий фактор підвищення експлуатаційної надійності та довговічності навивних заготовок порівняно з прокатуванням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями розроблення та дослідження параметрів заготовок присвячені праці Зубцова М.Е. [1], Попова Е.А. [2], Лисового М.И. [3], Шевченка К.Н. [4], Гевка Б.М. [5], Романовського В.П. [6], Пилипця М.І. [7], Аверкієва Ю.А. [8], Васильківа В.В. [9], Грузьдева І.Є. [10], Мошніна Е.Н. [11] та багато інших. Однак цілий ряд питань виготовлення широкосмугових гвинтових робочих органів із змінними кроками потребують свого подальшого вирішення. Тому дана тема є актуальною та має важливе народногосподарське значення.

Постановка завдань. В роботі представлено мету - розроблення методики проектування гвинтових гофрованих заготовок і пристрою для їх виготовлення.

Викладення основного матеріалу. Пристрій для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок з різним профілем гофр зображено на рис.1, який виконано у вигляді станини 1, до якої жорстко закріплено електродвигун 2, коробку швидкостей 3 і механізм формоутворення, який складається з механізму радіального підтиску 4 з формувальним роликком 5 і рукояткою регулювання величини підтиску 6. Механізм гофроутворення і подачі заготовки встановлено перед механізмом приводу перпендикулярно до його осі і виконано у вигляді привідної оправки 7 з індивідуальним приводом (на кресленні не показано), двох конічних гофроутворюючих коліс 8, з різним профілем гофр на діаметри, які між собою погоджені і механізму радіального підтиску 9, рух якого у горизонтальній площині здійснюється за допомогою рукоятки 10.

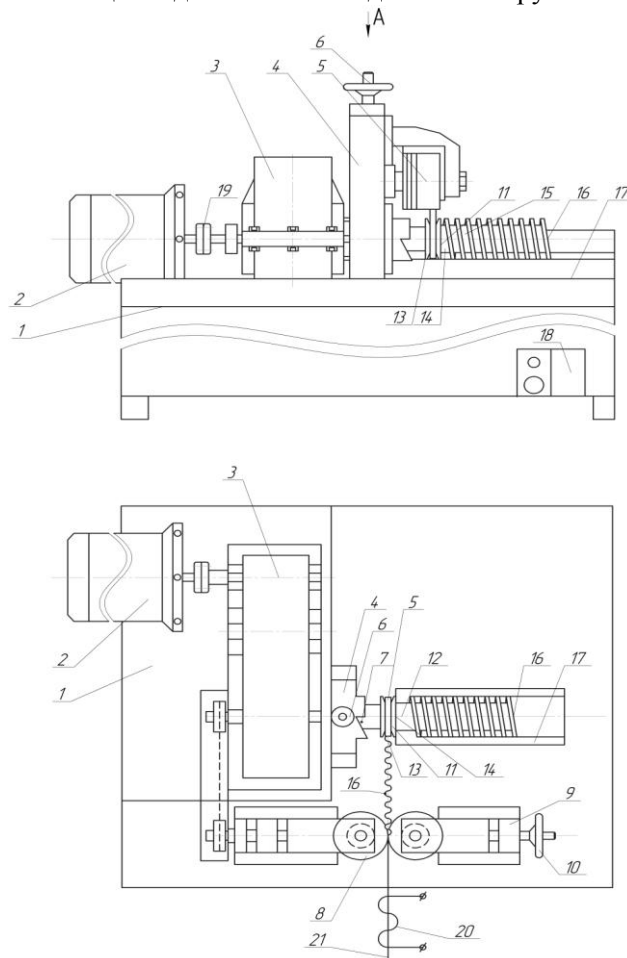


Рис.1. Пристрій для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок з різним профілем гофр

Механізм калібрування гвинтової гофрованої заготовки 11 виконано у вигляді оправки 12 на якій жорстко встановлена конічна калібрувальна шестерня 13, яка з правого торця є у взаємодії з гофрованою гвинтовою заготовкою, а та, в свою чергу, з правої сторони є у взаємодії з притискною калібрувальною шестірнею 14, яка встановлена на шліцах оправки і підтиснута гайкою 15 з можливістю регулювання зазору між калібрувальними конічними шестернями. Причому ширина підтискної конічної калібрувальної шестірні 14 є меншою кроку гвинтової гофрованої заготовки 16. Крім цього, під калібрувальними конічними шестернями 13 і 14 встановлено півкруглий жолоб 17, який є у взаємодії з гвинтовою гофрованою заготовкою 16.

Органи керування процесом навивки, гофроутворення і приводом розміщені на панелі 18, яку встановлено на станині. Пристрій дозволяє здійснювати виготовлення гвинтових гофрованих заготовок 16 декількох типорозмірів, тому оправка 12, калібруючі конічні колеса 13 і 14, гофроформувальні колеса 8 є змінними елементами. Для попередження поломки вузлів і елементів приводу між двигуном і коробкою швидкостей встановлена запобіжна муфта 19.

Особливістю конструкції є те, що механізм гофроутворення в межах формувальних зубчастих коліс на певних ділянках обидві шестерні мають попарно спеціальний профіль – завишений або занижений для утворення гвинтових гофрованих заготовок з різним профілем для змішувальних подрібнюючих та інших операцій, в яких частина впадин між зубами і параметри зубів є змінені в межах зазору між зубами і товщиною заготовки, яка формує гофровану поверхню, а частина зубів є нормальною.

Гофроформувальні колеса 8 механізму гофроутворення виконані у вигляді конічних зубчастих коліс з можливістю регулювання зміни кута їх зачеплення відомим способом. Крім цього, на вході подачі плоскої стрічкової заготовки 7 між двома гофроформувальними колесами 8 з різним профілем гофр на діаметрі шнека, які між собою узгоджуються, встановлено індуктор 20, який охоплює і в разі потреби нагріває плоску стрічкову заготовку, що подається, відомої конструкції з можливістю її відносного переміщення.

Різний профіль зубів і відповідно гофр на одній парі зубчастих коліс виготовляють спеціальними пальцевими, модульними фрезами або спеціальними протяжками. При цьому формувальні колеса для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок з різним профілем обертаються з однаковою кількістю обертів.

Робота пристрою для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок з різним профілем здійснюється наступним чином. Плоску заготовку 21 встановлюють в індукторі 20 і між двома гофроформувальними колесами 8, після їх нагрівання і проходження утворюється прямолінійна гофрована стрічка 16, кінець якої встановлюють в щілину між двома калібрувальними конічними шестернями 13 і 14, які прокручуючись калібрують гвинтову гофровану заготовку і подають її в півкруглий жолоб 17, і вона надходить на вихід верстата в тару. Після завершення процесу навивання гофровану заготовку знімають з жолоба. Навивання нової заготовки здійснюється аналогічно до попередньої.

Зусилля необхідне для формування гофр в заготовці, які виконані у вигляді конічних заглиблень з кутом $30...50^\circ$ на глибину $8,0...12\text{мм}$ в кількості штук на один оберт 8.12. Величина зусилля гофроутворення визначається відомими методами в залежності від того в холодно чи на гарячо їх виготовляють. Крім цього гофри мають конусну форму до центра оправки в межах $3...8^\circ$.

Ці форми і розміри наносять на гофроформувальні колеса 8 з можливістю формування відповідних гофр на плоскій заготовці 21 з подальшим їх навиванням на оправку 12, тому параметри калібруючих шестерень 13 і 14 і формувальних роликів 8 повинні бути погоджені.

До переваг верстата для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок з різним профілем гофр належить розширення технологічних можливостей верстата і підвищення продуктивності праці.

В процесі виготовлення різнопрофільних навивних заготовок (НЗ) із складною геометрією рухи робочих органів технологічного обладнання повинні відповідати заданому технологічному процесу формоутворення. Саме тому необхідно визначити співвідношення між характеристичними параметрами згаданого процесу. Зручним об'єктом для параметризації є формоутворюючий інструмент, рухи якого визначаються органами керування верстату та конструктивними особливостями схеми формоутворення.

Для вивчення характеру відносних переміщень введемо такі системи координат (рис. 2):

- UVW - система координат верстату, причому напрямки осей MU , MW , MV збігаються з напрямками відповідно поперечної, поздовжньої та вертикальної подач;

- $OXYZ$ - власна система координат навивної заготовки, причому $OX \parallel MU$, $OY \parallel MV$, $OZ \parallel MW$;

- $C_i X_K Y_K Z_K$ - рухома система координат з початком відліку у точці C_i контакту формуючого елемента інструменту з поверхнею навивної заготовки, а вісь $C_i X_K$ завжди спрямована по дотичній до характеристичної лінії $L-L$ цієї заготовки, вісь $C_i Y_K$ спрямована вздовж нормалі до лінії $L-L$, $C_i Z_K \parallel MW$;

- кут $\psi = \vec{n} \wedge C_i Y_K$ визначає відхилення контактної площини від координатної осі MW , де \vec{n} - нормаль до поверхні F НЗ.

У процесі виготовлення НЗ інструментом, твірна робочої поверхні якого не характеризується певним радіусом кривини (точковий контакт), характер взаємодії інструменту із заготовкою легко відслідковується у випадку подання її геометрії поверхонь у параметричному вигляді:

$$\begin{aligned} x &= [r_o(t, \chi_o) + r_1(t, \chi_1) \cos(\alpha_o + \alpha_p + (t/b)(dv/dt)) + r_2(t, \chi_2) \sin(\alpha_o + \\ &+ \alpha_p + (t/b)(dv/dt))] \cos(v_o + t dv/dt); \\ y &= [r_o(t, \chi_o) + r_1(t, \chi_1) \cos(\alpha_o + \alpha_p + (t/b)(dv/dt)) + \\ &+ r_2(t, \chi_2) \sin(\alpha_o + \alpha_p + (t/b)(dv/dt))] \sin(t dv/dt + v_o); \\ z &= z_o + r_1(t, \chi_1) \sin(\alpha_o + \alpha_p + (t/b)(dv/dt)) - r_2(t, \chi_2) \cos(\alpha_o + \\ &+ \alpha_p + (t/b)(dv/dt)) + \hat{C}(t dv/dt + \alpha_o), \end{aligned} \quad (1)$$

де $\vec{r}_o(t, \chi_o)$, $\vec{r}_1(t, \chi_1)$, $\vec{r}_2(t, \chi_2)$ - функціональні радіус-вектори;

$b = (dv/dt)/(d\alpha/dt)$;

χ_i - незалежна змінна відповідного i -го функціонального радіус-вектора;

α_p - кутова характеристика профілю;

$dv/dt, d\alpha/dt$ - кутові швидкості обертання відповідно площини N (радіус-вектора $\vec{r}_o(t, \chi_o)$) та радіус-вектора $\vec{r}_1(t, \chi_1)$;

\hat{C} - параметр кроку гвинтової лінії: $\hat{C} = T/2\pi$.

У випадках, коли формоутворюючий інструмент має складу форму, задача значно ускладнюється.

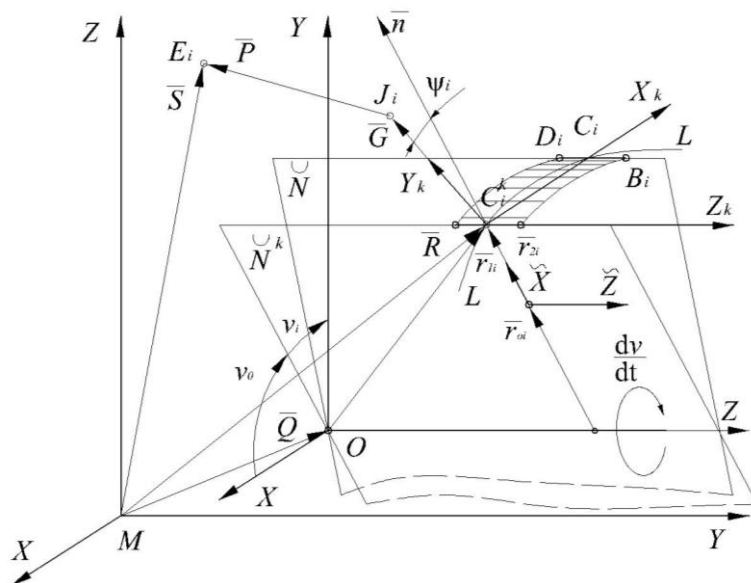


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення координат розміщення виконавчих органів верстату і точки контакту інструменту з поверхнею навивної заготовки в процесі її формоутворення

Припустимо, що рух точки E здійснюється відповідно до переміщень, які задаються керуючими механізмами верстату. Оскільки задача керування верстатом зводиться до координації рухів окремих ланок його механізмів для реалізації необхідного процесу формоутворення, то вирішення забезпечується введеною параметризацією. Для цього достатньо виявити між координатами точок E і C взаємопов'язані співвідношення, тобто виявити вид функціональної залежності, яка переводить довільну точку C у співпадання з іншою відповідною точкою E . Ця задача зводиться до вивчення групи твердих переміщень в рімановому просторі. Розглянемо, зокрема, безперервні групи переміщень для випадку виготовлення НЗ методом навивання для величини калібру співвідносного з шириною спіралі, а також оброблення НЗ різанням. Для спрощення розрахунків прийmemo: $\alpha'_i = 0$; $\chi_i = 0$, $i = 1, 3$; $z_o = 0$; $\alpha_p = 0$; $b = 1$.

Групи перетворень твердих переміщень визначаються з таких умов:

1. Будь-який вектор, нормальний до траєкторії $\sum C$, є інваріантом загального переміщення групи g , які зберігають нерухомими точки E .

2. Якщо відомий рімановий простір розмірністю $m + f$ перетворений групою переміщень, траєкторії яких мають розмірність m , то завжди можна вибрати систему координат x^1, x^2, \dots, x^m ; U^1, U^2, \dots, U^m так, щоб m перших координат перетворювались транзитивно між собою, а f наступних залишились інваріантними.

З врахуванням цих умов виконано геометричну побудову схеми рухів системи для знаходження груп перетворень, які пов'язані з заданим технологічним процесом і керуванням верстатом (рис. 1). Виходячи із такої побудови:

$$\vec{S}(E) = \vec{P} + \vec{G} + \vec{R} = \vec{P} + \vec{G} + \vec{Q} + \vec{R}_c, \quad (2)$$

де $\vec{Q} = U_Q \vec{i} + W_Q \vec{j} + V_Q \vec{k}$; $\vec{R} = U_C^K \vec{i} + W_C^K \vec{j} + V_C^K \vec{k}$; $\vec{S}(E) = U \vec{i} + W \vec{j} + V \vec{k}$;

$\vec{P} = U_p \vec{i} + W_p \vec{j} + V_p \vec{k}$; $\vec{R}_c = (\Delta_1 x_c + \Delta_2 x) \vec{i} + (-\Delta_2 x + \Delta_1 x) \vec{j} + z_c^* \vec{k}$,

де $\Delta_1 = \cos[\arctg(y/x) - \arctg(y_o/x_o)] = \cos(v'_t t)$;

$\Delta_2 = \sin[\arctg(y/x) - \arctg(y_o/x_o)] = \sin(v'_t t)$.

Згідно умови (2) припустимо, що $\vec{G} \perp MW$, тоді вектор \vec{G} подамо у вигляді:

$$\vec{G} = \rho_i \vec{n}_w = \rho_i \left(\frac{\text{grad } F(C_i)}{|\text{grad } F(C_i)|} \right)_{W=\cos t} = \rho_i \left(-\frac{V'_{ot} \vec{i}}{\sqrt{U'^2_{ot} + V'^2_{ot}}} + \frac{\vec{k}}{\sqrt{1 + V'^2_{ot}/U'^2_{ot}}} \right), \quad (3)$$

де ρ_i - характеристичний параметр інструменту;

\vec{n}_w - одиничний вектор, $\vec{n}_w \perp MW$.

Похідні по часу від відповідних координат у точці контакту з інструментом визначаються із матричного перетворення:

$$\begin{pmatrix} U'_{ot} \\ V'_{ot} \\ W'_{ot} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U'_t \\ V'_t \\ W'_t \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta_1 & \Delta_2 & 0 & 0 \\ -\Delta_2 & \Delta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Одиничний вектор \vec{n}_w вважається додатним, якщо, дивлячись із початку координат, спостерігач бачить, що при обході поверхні деталі зліва направо інструмент залишається з лівого боку відносно поверхні і - від'ємним, якщо з правого.

Величина характеристичного параметра інструменту ρ_i визначається розміщенням формоутворюючого інструменту у рухомій системі координат за умови дотику контактної площини до оброблюваної поверхні. Однак, в процесі формоутворення розташування інструменту відносно рухомої системи координат змінюється в процесі відносного переміщення характеристичної лінії $L-L$ [94], це дає підстави стверджувати, що $\rho_i = \rho_i(\xi)$. Ця умова особливо актуальна у випадках формоутворення поверхонь операціями різання та зміцнення.

Згідно побудови напрямок вектора \vec{G} збігається з віссю $C_i Y_K$, а його значення у тій же системі координат слід визначати як функцію $Y_K = \rho_i(\xi)$, значення якої залежить від розташування формоутворюючого інструменту.

Проектуючи векторну рівність (2) на осі координат верстату, отримаємо:

$$\begin{aligned} U &= U_C^K \pm \left(U_P + \rho_i(\xi) V_i' / \sqrt{U_i'^2 + V_i'^2} \right); \\ W &= W_C^K + W_P; \\ V &= V_C^K \pm \left(V_P + \rho_i(\xi) / \sqrt{1 + (V_i'/U_i')^2} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

де U, W, V - координати точки E , яка визначає розміщення виконавчих органів верстату;

$\rho_i(\xi)$, $V_i' / \sqrt{U_i'^2 + V_i'^2}$ - функції кутів нахилу контактної площини формоутворюючого інструменту;

(U_P, W_P, V_P) - координати вектора \vec{P}_E , величина якого визначається конструктивними особливостями технологічного устаткування. У багатьох випадках визначення його величини пов'язане зі значними труднощами, тому можна прийняти, що $U_P = W_P = V_P = 0$.

У рівнянні (4) верхні знаки -, "+", використовуються при додатному значенні одиничного вектора, "-" при від'ємному.

Аналіз запропонованих рівнянь (5) показує, що існують поверхні, в процесі формоутворення яких не забезпечується змінний кут нахилу контактної площини. Для забезпечення цього зв'язку необхідно переміщувати формоутворюючий інструмент, розглядаючи його у просторі як жорстко пов'язаний з рухомою системою координат $CX_K Y_K Z_K$ і як рухоме тіло відносно цієї системи. В результаті такого підходу зв'язок між робочими переміщеннями виразимо у вигляді рівнянь в переміщеннях:

$$\begin{aligned} \Delta U_E &= \left[1 - \frac{\rho_i(\xi) \varepsilon_{1i}}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} + \frac{\rho_i(\xi) \xi_i' \varepsilon_2}{x_i' (1 + \varepsilon_2^2)^{1/2}} \right]; \\ \Delta W_E &= \rho_i(\xi) \xi_i' \operatorname{ctg} \xi \Delta U_C^K; \\ \Delta V_E &= \left[\varepsilon_2 - \frac{\rho_i(\xi) \varepsilon_{1i} \varepsilon_2}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} - \frac{\rho_i(\xi) \xi_i'}{x_i' (1 + \varepsilon_2^2)^{1/2}} \right], \end{aligned} \quad (6)$$

де $\varepsilon_1 = \left| \frac{U_i'}{U_i''} \quad \frac{V_i'}{V_i''} \right| / (U_i')^3$; $\varepsilon_2 = V_i' / U_i'$;

$\Delta U_E, \Delta W_E, \Delta V_E$ - величини переміщень виконавчих органів верстату;

$\varepsilon_{1i} / (1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}$ - кривина координатної лінії оброблюваної поверхні ГЗ.

В процесі формоутворення поверхонь НЗ в багатьох випадках має місце умова: $\psi = \psi(t)$.

Тоді у рівнянні (2) вектор $\vec{G} = \vec{G}(\psi, C)$. Причому

$$\vec{G}(\psi, C) = \rho \zeta(\psi) \left(\frac{\overline{\operatorname{grad} F(C)}}{|\overline{\operatorname{grad} F(C)}|} \right)_{W=\cos t}, \quad (7)$$

де $\zeta(\psi)$ - матриця Верзора: $\zeta(\psi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & \sin \psi \\ 0 & -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix}$.

Підставивши вираз (6) у рівняння (2) та спроектувавши його на осі координат, отримаємо:

$$\begin{aligned} \tilde{U} &= U_C^K \pm \left(U_P + \rho_i(\theta) V_i' / \sqrt{U_i'^2 + V_i'^2} \right); \\ W &= W_C^K + \left(W_P + \rho_i(\theta) \sin \psi / \sqrt{1 + (V_i'/U_i')^2} \right); \end{aligned} \quad (8)$$

$$V = V_C^K \pm \left(V_p + \rho_i(\theta) \cos \psi / \sqrt{1 + (V'_i/U'_i)^2} \right) .$$

Розкладемо вираз (2), підставивши в нього залежність (5) у ряд Тейлора в околі довільної точки E_o в момент часу t_o :

$$\bar{S}(E) = \bar{S}(E_o) + \bar{S}'(E_o) + \bar{S}''(E_o) / 2 + \dots , \quad (9)$$

де E_o - початкове положення точки E .

Обмежившись величиною малості другого порядку у формулі (8), слід відзначити, що закон переходу із будь-якого кінематичного стану верстату у сусідній в першому наближенні можна завжди характеризувати криволінійним переміщенням точки E по дотичній до траєкторії еквідистантної кривої, визначеній в околі цієї точки. Тоді вектор абсолютного переміщення точки E : $d\bar{S} = \Delta\bar{S}(E) = \bar{S}(E) - \bar{S}(E_o)$. Диференціюючи вираз (7), отримаємо:

$$d\bar{S} = d\bar{R}_{C_i} + d\bar{P}_i + \rho \zeta'(\psi) d \left(\frac{\overline{\text{grad}} F(C_i)}{|\text{grad} F(C_i)|} \right)_{W=const} + \rho \left(\frac{\overline{\text{grad}} F(C_i)}{|\text{grad} F(C_i)|} \right)_{W=const} d\zeta'(\psi) . \quad (10)$$

Прийнявши, що $\bar{P} = 0$, а останній член цього виразу суттєво не впливає на кінематику розглядуваного процесу, процес формоутворення здійснюється поєднанням декількох елементарних рухів. Розглядаючи одні з них як переносні, а інші як відносні, можна реалізувати їх взаємодією кінематичних ланцюгів механізмів верстату, які визначатимуть переміщення інструменту відповідно з обертанням оправы.

Отже, взаємозалежні рухи кінематичних ланцюгів визначимо із проєкцій векторів рівняння (10) на координатні вісі:

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{U}_E &= \left(1 - \frac{\rho_i(\xi) \varepsilon_1 (1 + \varepsilon_2^2 - \varepsilon_2)}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta U - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i(\xi) (1 + \varepsilon_2^2 - \varepsilon_2)}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \Delta W ; \\ \Delta\tilde{W}_E &= \left(1 - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i(\xi) \sin \psi}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta W + \frac{\rho_i(\xi) \varepsilon_1 \sin \psi}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \Delta U ; \\ \Delta\tilde{V}_E &= \left(\frac{V'_i}{W'_i} - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i(\xi) \cos \psi}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta W + \left(\varepsilon_2 - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i(\xi) \cos \psi}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta U , \end{aligned} \quad (11)$$

де $\Delta\psi = d\psi$;

$\varepsilon_3 = x'_i / y'_i$.

Таким чином, абсолютна криволінійна траєкторія руху виконавчих органів верстату описується залежністю:

$$S_{TP} = \sum_{i=1}^{\lambda} d\tilde{U}_i, d\tilde{W}_i, d\tilde{V}_i, d\psi_i , \quad (12)$$

де λ - кількість опорних точок характеристичної лінії контура поверхні навивної заготовки.

У випадку дослідження процесів формоутворення НЗ, ширина стрічки яких змінюється за відомою залежністю $B = B(t)$, можна розглядати рівняння оправы як диференціал функції, а параметр інструменту $\rho_i = \rho_i(\xi) + B(t)$.

Висновки.

Таким чином, запропонований метод розрахунку дає можливість:

- визначити послідовність злагоджених переміщень ланок виконавчих механізмів, які забезпечують реалізацію заданих питань вихідного технологічного завдання;
- розрахувати траєкторію руху формоутворюючого інструменту і підготувати необхідну документацію;

- використовувати отримані формули для розрахунку і проектування необхідного технологічного устаткування та формоутворюючого інструменту;
- в процесі проектування нового обладнання правильно вибрати кінематику виконавчих органів верстату;
- здійснювати попередні дослідження вказаних процесів в режимі аналітичного 3D-моделювання.

Список використаної літератури.

1. Зубцов М.Е. Листовая штамповка/М.Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
2. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки/Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1980. – 348 с.
3. Лысовой М.И. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки/М.И. Лысовой. – М.: Машиностроение, 1966. – 236 с.
4. Шевченко К.Н. Основы математических методов в теории обработки металлов давлением/К.Н. Шевченко. – М.: Вища школа, 1970. – 351 с.
5. Гевко Б.М. Технологічне виготовлення спіралевих шнеків/Б.М. Гевко. – Л.: Світ, 1986. – 125 с.
6. Романовський В.П. Справочник походной штамповки/В.П. Романовський. – М.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
7. Пилипець М.І. Дослідження процесу навивання ребристих профілів / М.І. Пилипець. – Л.: Машинознавство, 1998. – № 9-10. – С.36-38.
8. Аверкиев Ю.А. Характер формоизменения и силовые условия при гибке полосы на ребро / Ю.А. Аверкиев. – Вестник машиностроения, 1981. – №1. – С. 64-66.
9. Васильків В.В. Технологічне спорядження для виготовлення навивних заготовок/В.В. Васильків // Збірник наукових праць. – Луцьк: Наукові нотатки. – Вип.10. – С. 59-64.
10. Теория шнековых устройств/И.Э. Груздев и др. – Л., 1987.
11. Мошнин Е.Н. Гибка и прокатка на пресах/Е.Н. Мошнин. – М.: Машиностроение, 1959. – 360 с.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 621.791:621.926

В.Г. Лебедев, О.В. Фроленкова*Одесский национальный политехнический университет***ШЛИФОВАНИЕ ТЕРМОБАРЬЕРНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ОКСИДОМ ИТТРИЯ**

Предметом исследования является математическое моделирование процесса шлифования напыленного термобарьерного слоя на основе диоксида циркония и диоксида циркония стабилизированного оксидом иттрия при обработке алмазными и эльборовыми кругами. Показаны значения остаточных напряжений (G) и величины контактных температур (T). Проведен сравнительный анализ значений G и T при обработке нестабилизированного и стабилизированного термобарьерного слоя. Показано, что остаточные напряжения G при шлифовании стабилизированного термобарьерного покрытия ниже, чем при шлифовании нестабилизированного термобарьерного слоя. Предлагаемые режимы шлифования термобарьерных покрытий алмазными и эльборовыми кругами не снижают качественных характеристик шлифованного слоя.

Ключевые слова: диоксид циркония, оксид иттрия, термобарьерное покрытие

В.Г. Лебедев, О.В. Фроленкова**ШЛІФУВАННЯ ТЕРМОБАРЬЕРНОГО ПОКРИТТЯ З ОКСИДУ ЦИРКОНІЮ СТАБІЛІЗОВАНОГО ОКСИДОМ ІТРИЮ**

Предметом дослідження є математичне моделювання процесу шліфування напиляного термобар'єрного шару на основі діоксиду цирконію та діоксиду цирконію стабілізованого оксидом ітрію при обробці алмазними та ельборовими колами. Показано значення залишкових напружень (G) і розміру контактних температур (T). Проведено порівняльний аналіз значень G і T при обробці нестабілізованої і стабілізованого термобар'єрного шару. Показано, що залишкові напруження G при шліфуванні стабілізованого термобар'єрного покриття нижче, ніж при шліфуванні нестабілізованого термобар'єрного шару. Пропоновані режими шліфування термо'барьерних покриттів алмазними і ельборовими колами що не знижують якісних характеристик шлифованого шару.

Ключові слова: діоксид цирконію, оксид ітрію, термобар'єрне покриття

V.G. Lebedev, O.V. Frolenkova**GRINDING THERMOBARRIER COATING FROM ZIRCONIUM OXIDUM STABILIZED BY YTTRIUM OXIDE**

The subject of the study is the mathematical modeling of the grinding process of a sprayed thermal barrier layer based on zirconium dioxide and zirconium dioxide stabilized by yttrium oxide when treated with diamond and borazon wheels. The values of residual stresses (G) and contact temperatures (T) are shown. A comparative analysis of the G and T values was carried out for the treatment of an unstabilized and stabilized thermo-barrier layer. It is shown that the residual stresses G when grinding a stabilized thermo-barrier coating are lower than when grinding an unstabilized thermo-barrier layer. The proposed modes of grinding of thermo-barrier coatings by diamond and borazon wheels do not reduce the quality characteristics of the ground layer.

Key words: zirconia, yttrium oxide, thermal barrier coating

Введение. Современное развитие многих областей науки и техники, связано с внедрением новых материалов и высокоэффективных технологических процессов. Во время эксплуатации происходит естественный износ рабочих поверхностей деталей, работающих в условиях повышенных температур и эксплуатационных нагрузок. Поэтому возникает необходимость в защите рабочих поверхностей таких деталей. В настоящее время в промышленности широко применяются термобарьерные покрытия, (на основе диоксида циркония) напыляемые на рабочие поверхности деталей, работающих в высокотемпературной и агрессивной среде, например, газотурбинных лопаток двигателей самолетов.

Известно [1], что диоксид циркония (ZrO_2) может существовать в виде трех кристаллических фаз: моноклинной (М), тетрагональной (Т) и кубической (С). Наиболее температуроустойчивой является тетрагональная фаза, для сохранения, которой при высоких температурах проводят стабилизацию оксида циркония оксидом иттрия. Стабилизация может быть полной (12%) и частичной (3-6%). На практике при работе в высокотемпературных и агрессивных средах желательно применять частично стабилизированный оксид циркония.

Нанесенные термобарьерные покрытия проходят механическую размерную обработку, для достижения окончательной размерной точности и шероховатости напыленной поверхности. Технологический процесс получения заданной точности обеспечивается путем шлифования. Возникновение высоких контактных температур при шлифовании и значительных значений остаточных напряжений, напыленной поверхности, может приводить к трещинам и отслаиваниям напыленного слоя. Это приводит к необходимости контроля и управления процессом шлифования.

Анализ литературных данных и постановка проблемы.

Не смотря на большое количество литературы по термобарьерным покрытиям практически нет сведений о параметрах процесса шлифования (вид круга, связка, зернистость, режимы шлифования), что не дает возможности разрабатывать оптимальную технологию шлифовальной обработки и не гарантирует отсутствие трещин отслаивания напыленного слоя, что является неисправимым браком.

Авторами статьи [2] были проанализированы свойства порошков на различных технологических стадиях и установлены влияние режима обжига на свойства циркониевой керамики, стабилизированной гидрозолем гидроксида иттрия. Целью работы было синтезировать высокопрочную керамику на основе диоксида циркония, стабилизированного гидрозолем гидроксида. Вопрос напыления и обработки шлифованием данного термобарьерного покрытия в статье не рассматривался.

В статье [3] представлены результаты разработки технологии получения высококачественного нанокристаллического порошка композита на основе ZrO_2 в системе $ZrO_2-Y_2O_3-CeO_2-Al_2O_3$ и нового керамического материала на его основе. Исследованы химический и фазовый составы, микроструктура и физико-механические характеристики разработанной керамики. Показана, высокая теплостойкость разработанного покрытия. Однако в данной статье отсутствуют сведения о поведении данного покрытия при шлифовании.

Авторами статьи [4] экспериментально была подтверждена возможность повышения физико-механических свойств и определен оптимальный режим передрекристаллизационной термической обработки плазменных порошковых теплозащитных покрытий из $ZrO_2 - 7\% Y_2O_3$. В данной статье отсутствуют сведения процесса шлифования плазменных порошковых теплозащитных покрытий из $ZrO_2 - 8\% Y_2O_3$.

В статье [5] показаны особенности алмазного шлифования деталей из керамических материалов и предложены новые направления исследования повышения качества поверхности деталей из керамики. Но, в статье отсутствуют сведения о процессе шлифования, нет значений контактной температуры и не оценена вероятность отслоения напыленного слоя и образования трещин.

Проведенный анализ литературы по напыленным термобарьерным покрытиям, показывает, что необходимо создать нормативную базу данных параметров процесса шлифования обеспечивающих бездефектное состояние шлифованного напыленного термобарьерного слоя.

Это исследование может быть выполнено за счет применения математического моделирования процесса шлифования и экспериментальной проверке полученных результатов.

Материалы и методы исследований

В качестве материалов используются стальные поверхности напыленные частично стабилизированным оксидом циркония.

Для аналитических расчетов используется разработанная математическая модель процесса шлифования [8]. Для исследования шлифованной поверхности применяется диагностическая система технического зрения [6].

Цель работы: создать элементы базы данных для разработки технологического процесса шлифования напыленных термобарьерных покрытий, обеспечивающего высококачественный шлифованный слой (отсутствие трещин и отслаивания напыленного слоя).

Задачи исследования:

1. С помощью математической модели определить контактные температуры шлифования, распространение теплового поля вглубь напыленного слоя
2. Определить остаточные напряжения по толщине напыленного слоя и на границе раздела «термобарьерный слой – металл».
3. Исследовать состояние шлифованного напыленного слоя с помощью системы технического зрения.
4. Разработать рекомендации по параметрам процесса шлифования, которые целесообразно использовать при шлифовании термобарьерного покрытия.

Аналитические и экспериментальные исследования

В принципе, быстро протекающие циклы нагрева и охлаждения могут отрицательно влиять на покрытие – возникновение трещины и отслоение керамического слоя. Поэтому в данной работе были произведены аналитические исследования на предмет сравнения величин контактных температур и остаточных напряжений в шлифованном слое керамики на основе диоксида циркония и диоксида циркония частично стабилизированного 8% содержанием оксида иттрия.

Известно, что характерными особенностями при шлифовании, являются: силы резания при снятии отдельных стружек абразивными зернами; толщина слоя, снимаемого одним абразивным зерном; тепловые явления – мгновенные и контактные температуры. [7].

Для того, чтобы определить контактную температуру шлифования необходимо знать тепловую мощность, которая образуется в пятне контакта круга с деталью. Указанная тепловая мощность Q , является суммой тепловых мощностей зерен круга, которые одновременно работают в зоне контакта, следовательно, схема расчета должна быть такая:

1. Средняя величина тепловой мощности отдельного режущего зерна, зависящая от средней толщины стружки снимаемой зерном.
2. Количество зерен, одновременно работающих в пятне контакта.
3. Суммирование этих величин, что дает суммарный тепловой импульс.

В статье [8] был представлен алгоритм, который дает возможность определить: суммарные силы резания, контактную температуру шлифования термобарьерного слоя и глубину проникновения теплового поля контактной температуры.

При использовании данного алгоритма расчета с учетом теплофизических характеристик оксида иттрия, были получены значения контактных температур и остаточных напряжений в прошлифованном керамическом слое и построены зависимости, показанные на рис. 1–3.

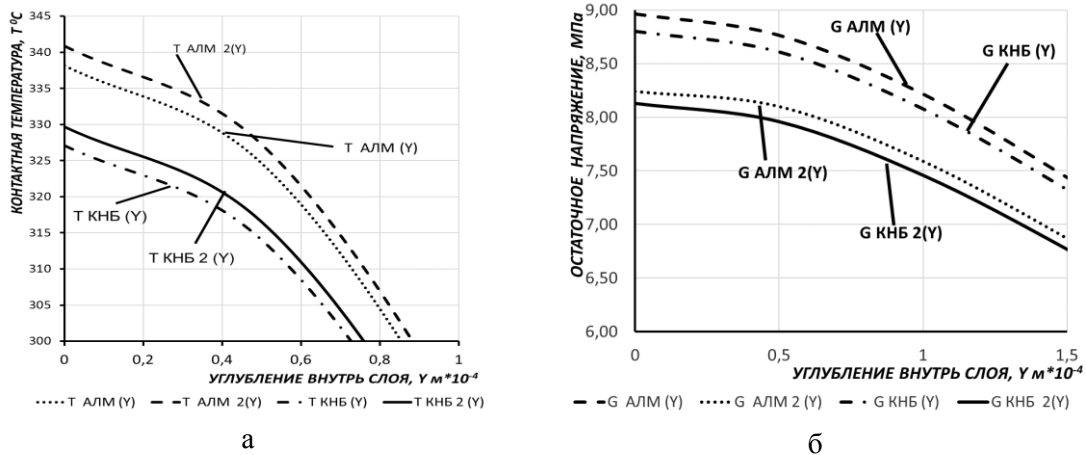


Рис. 1. Значения контактных температур (а) и остаточных напряжений (б) по глубине прошлифованного слоя Y , при шлифования кругами АС4 125/100 В2-01 100% (Nz12) и ЛО 125/100 С10 100% (Nz12)

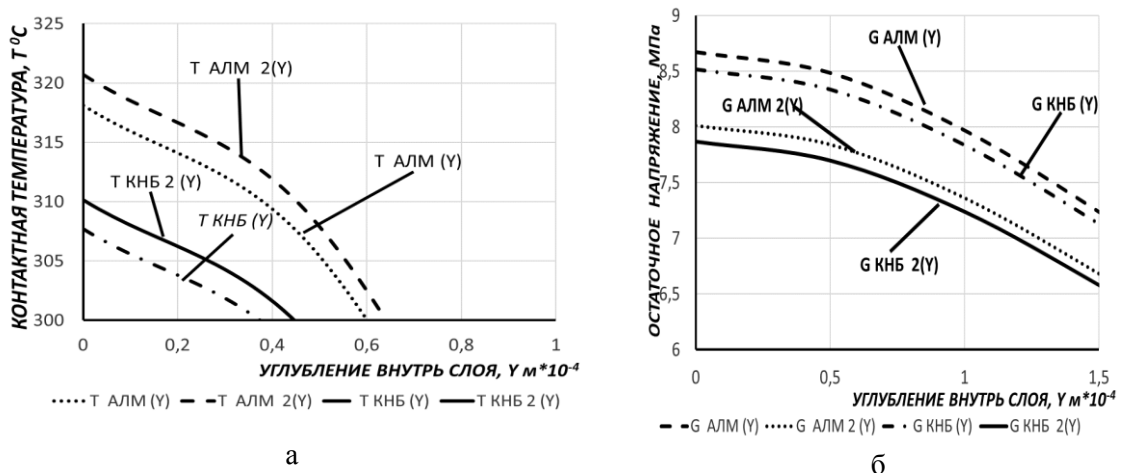


Рис. 2. Значения контактных температур (а) и остаточных напряжений (б) по глубине прошлифованного слоя Y , при шлифования кругами АС4 160/125 В2-01 100% (Nz16) и ЛО 160/125 С10 100% (Nz16)

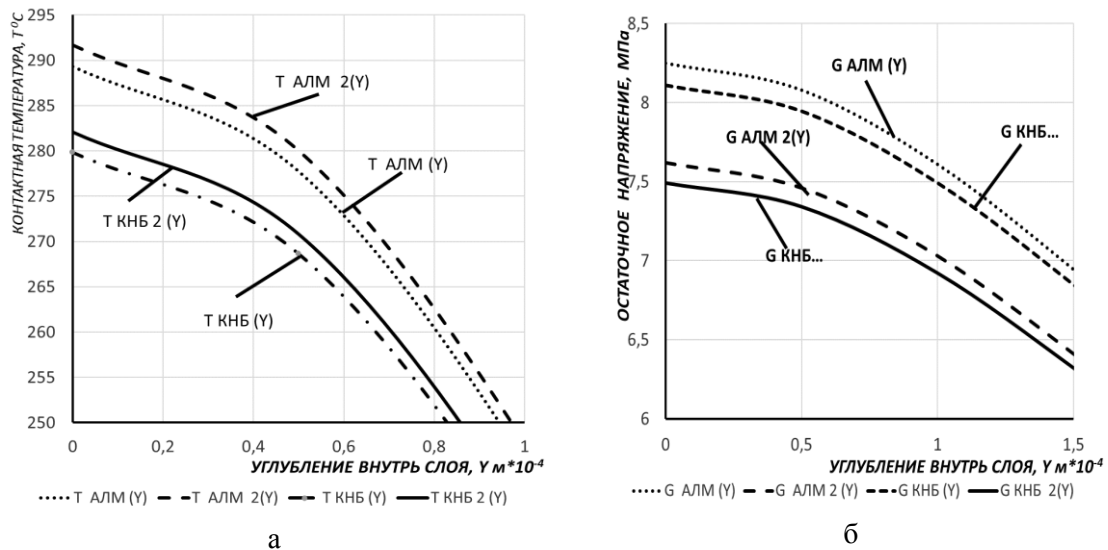


Рис. 3. Значения контактных температур (а) и остаточных напряжений (б) по глубине шлифованного слоя Y , при шлифования кругами 250/160 В2-01 100% (Nz25) и ЛО 250/160 С10 100% (Nz25)

На полученных графиках показаны зависимости величин контактных температур шлифования и остаточных напряжений, от характеристик процесса шлифования (вид материала зерна круга, зернистости, режимов шлифования), по которым можно судить о качестве шлифованного слоя – наличия трещин и вероятности отслаивания напыленного слоя от основного металла.

Обсуждение результатов.

При построении графиков в данной работе на основании математических расчетов (моделирования), было отмечено, что при шлифовании керамического покрытия из порошка двуокиси циркония стабилизированного окисью иттрия значения контактных температур и остаточных напряжений наилучшие при зернистости круга Nz25.

Сравнительные расчетные данные значений температур и остаточных напряжений по глубине напыленного слоя приведены в табл. 1

Таблица 1

Значения контактных температур ($T, ^{\circ}\text{C}$) и остаточных напряжений ($G, \text{МПа}$)	Глубина определения $T, ^{\circ}\text{C}$ и $G, \text{МПа}$, (от поверхности напыленного слоя), мм	ZrO_2		$\text{ZrO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$	
		AC4 125/100 В2-01 100% (Nz12)	ЛО 125/100 С10 100% (Nz12)	AC4 160/125 В2-01 100% (Nz16)	ЛО 160/125 С10 100% (Nz16)
T	0	338.2	340.9	327.1	329.7
G	0	8.96	8.24	8.80	8.13
T	0,5	324.7	324.3	314.0	316.5
G	0,5	8.77	8.1	8.61	7.96
T	1,0	287.2	289.5	277.8	280.0
G	1,0	8.22	7.59	8.08	7.46
T	0	318.1	320.7	307.7	310.1
G	0	8.67	8.01	8.52	7.87
T	0,5	305.4	307.9	295.4	297.7
G	0,5	8.48	7.84	8.34	7.7
T	1,0	270.2	272.4	261.3	263.4
G	1,0	7.98	7.36	7.84	7.24

Значения контактных температур (Т, °С) и остаточных напряжений (G, МПа)	Глубина определения Т, °С и G, МПа, (от поверхности напыленного слоя), мм	ZrO ₂	ZrO ₂ +Y ₂ O ₃	ZrO ₂	ZrO ₂ +Y ₂ O ₃
		AC4 250/160 B2-01 100% (Nz25)		ЛО 250/160 C10 100% (Nz25)	
T G	0	289.3 8.25	291.7 7.62	279.8 8.12	282.1 7.49
T G	0,5	277.8 8.08	280 7.46	268.6 7.94	270.8 7.34
T G	1,0	245.7 7.61	247.7 7.03	237.7 7.49	239.6 6.92

Сравнивая показатели контактных температур и остаточных напряжений при шлифовании алмазным кругом термобарьерного покрытия из ZrO₂ и ZrO₂+Y₂O₃ при зернистости круга Nz12, можно видеть, что контактная температура Т(У) незначительно повышается, а остаточные напряжения G(У) понижаются в пределах 0,72÷0,63 МПа.

Подобные явления наблюдаются и при шлифовании кругами с зернистостью Nz16 и Nz25. При обработке алмазным кругом с зернистостью Nz16 контактная температура Т(У) повышается, а остаточные напряжения G(У) понижаются в пределах 0,66÷0,62 МПа. И, соответственно, при шлифовании кругом с зернистостью Nz25 контактная температура Т(У) незначительно повышается, а остаточные напряжения G(У) понижаются в пределах 0,63÷0,58 МПа.

Проводя подобный сравнительный анализ при обработке шлифованием эльборовым кругом, можно отметить, что при шлифовании термобарьерного слоя кругом с зернистостью Nz12 контактная температура Т(У) незначительно повышается, а остаточные напряжения G(У) понижаются в пределах 0,67÷0,62 МПа. При обработке кругом с зернистостью Nz16 контактная температура Т(У) незначительно повышается, а остаточные напряжения G(У) понижаются в пределах 0,65÷0,6 МПа, и при шлифовании эльборовым кругом с зернистостью Nz25 — Т(У) повышается и остаточные напряжения G(У) понижаются в пределах 0,63÷0,57 МПа.

Повышение температуры при шлифовании стабилизированного оксида циркония можно объяснить снижением теплопроводности напыленного слоя, а одновременно с этим уменьшение остаточных напряжений вытекает из уменьшения коэффициента теплового расширения.

Исследования шлифованной поверхности с помощью системы технического зрения [6] не выявили микротрещин на шлифованной поверхности, что свидетельствует о малых величинах единичных сил P_γ и малых значениях временных напряжений, под действием которых, эти трещины могут образовываться

Выводы.

1. При шлифовании эльборовым кругом термобарьерного покрытия формируемого из порошка двуоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия даже при некотором повышении контактной температуры шлифования по сравнению с чистым оксидом циркония, получены более низкие расчетные значения остаточных напряжений.

2. При шлифовании эльборовым кругом термобарьерного слоя из оксида циркония частично стабилизированного оксидом иттрия, наблюдаются более высокие температуры, но более низкие остаточные напряжения, по сравнению со шлифованием покрытия из чистого циркония.

3. Результаты исследования показывают, что применяемые в данной работе режимы шлифования термобарьерных покрытий алмазными и эльборовыми кругами не снижают качественных характеристик шлифованного слоя, то есть обеспечивают отсутствие трещин в напыленном слое и дают возможность избежать отслаивания керамического покрытия от основного металла детали.

Список использованных источников:

1. Вафин С.М., Хван В.И. Керамика на основе диоксида циркония. Достижения и перспективы / С.М.Вафин, В.И.Хван // Стоматолог-практик. – № 1. – 2011. – С. 20-27.
2. Аниканов В.С., Белова И.А., Макаров Н.А. / Керамика из диоксида циркония, стабилизированного добавками различной природы / В.С. Аниканов, И.А. Белова, Н.А. Макаров // Успехи в химии и химической технологии. Том XXIV. 2010. N 6 (111) С. 38-40.
3. Технология изготовления и физико-химические свойства керамики на основе нанокристаллического порошка композита диоксида циркония / А.В. Шевченко, В.В. Лашнева, Е.В. Дудник, А.К. Рубан, В.П. Редько, В.В. Цукренко, Д.Г. Вербило, Н.Н. Бричевский // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнології: Зб. наук. пр. — К.: РВВ ІМФ, 2014. — Т. 12, № 2. — С. 333-345. — Бібліогр.: 15 назв. — рос.
4. Дубовий, О. М. Дослідження можливості підвищення фізико-механічних властивостей плазмових порошкових теплозахисних покриттів з $ZrO_2-7\%Y_2O_3$ передрекристалізаційною термічною обробкою / О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, СІ. Шкурат, М.М. Бобров, Є.Ю. Неделько // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 49-54. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.07
5. Горелов В.А., Алексеев С.В. Особенности механической обработки деталей из керамических материалов М.: «Известия МГТУ МАМИ» № 2(14), 2012, т. 2. С. 64–67.
6. Дерев'янченко О.Г., Фроленкова О.В., Стасюк К.В., Мастега О., Дячук О.В. Система автоматизованого розпізнавання поверхневих дефектів деталей та інструментів. - Новые и нетрадиционные технологии в ресурс- и энергосбережении. Материалы международной научно-технической конференции (21-23 сентября 2016 г). - Одесса: ОНПУ, 2016. - С.41 -43.
7. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н.Маслов. – М. : Машиностроение, 1984. – 320 с.
8. Лебедев В.Г. Аналитическое исследование контактных температур и остаточных напряжений по глубине напыленного термобарьерного слоя ZrO_2 при шлифовании абразивными, эльборовыми и алмазными кругами / Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В., Фроленкова О.В. // Материалы 17-й междунар. науч.-техн. конф. «Инженерия поверхности и реновация изделий» (29 мая-1 июня 2017 г.). – Одесса: ОНПУ, 2017. – С.105-108.

Рецензенты

Ларшин В.П., профессор кафедры "Технологии машиностроения ОНПУ", д.т.н
Лищенко Н.В., ст. преподаватель кафедры «Физики и материаловедения» ОНАПТ, к.т.н.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 621.9.06-529-8

О.В. Литвин, І.Р. Ящук

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

**ЩОДО СТРУКТУРНО - МОРФОЛОГІЧНОГО СИНТЕЗУ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ
ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ**

У статті представлено застосування методу структурно - морфологічного синтезу для удосконалення конструкцій затискних патронів. Метою досліджень є створення нових конструкцій затискних патронів для сучасних багатоцільових верстатів на основі синтезу можливих варіантів принципів структур затискних патронів з урахуванням морфології їх побудови на основі виявлення характерних законів організації, функціонування, побудови та їх розвитку, як складних технічних систем. Об'єктом синтезу обрано плунжерний затискний патрон для осесиметричних деталей. Розроблена конструктивна та структурна схема плунжерного затискного патрона з п'яти основних елементів. Конструктивні схеми елементів патрона представлено у вигляді таблиці. Для опису структури використано поняття силовий (енергетичний) потік. Структуру представлено у вигляді системи ієрархічних рівнів, а варіанти можливих конструкцій затискних патронів у вигляді матриці. Запропоновано кодове позначення елементів ієрархічної структури патрона та альтернативи виконання і шляхи уніфікації таких конструкцій. Розроблено багатоваріантну структуру конструктивних та функціональних реалізацій затискних патронів з врахуванням взаємозв'язку структури патрона з особливостями морфології. Розроблена ієрархічна модель технологічної системи "Затискний патрон", яка в процесі синтезу генерує множину можливих альтернатив для кожного з п'яти ієрархічних рівнів, а також принципи синтезу затискних патронів з використанням 5-ти деревовидних ієрархічних рівнів.

Ключові слова: затискний патрон, конструкції, синтез, структура, зв'язки, верстат.

А.В. Литвин, І.Р. Ящук**ОТНОСИТЕЛЬНО СТРУКТУРНО - МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ЗАЖИМНЫХ
ПАТРОНОВ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ**

В статье представлены применения метода структурно - морфологического синтеза для совершенствования конструкций зажимных патронов. Целью исследований является создание новых конструкций зажимных патронов для современных многоцелевых станков на основе синтеза возможных вариантов принципиальных структур зажимных патронов с учетом морфологии их построения на основе выявления характерных законов организации, функционирования, построения и их развития, как сложных технических систем. Объектом синтеза избран плунжерный патрон для осесимметричных деталей. Разработана конструктивная и структурная схема плунжерного зажимного патрона из пяти основных элементов. Конструктивные схемы элементов патрона представлено в виде таблицы. Для описания структуры использовано понятие силовой (энергетической) поток. Структуру представлено в виде системы иерархических уровней, а варианты возможных конструкций зажимных патронов в виде матрицы. Предложено кодовое обозначение элементов иерархической структуры патрона и альтернативы исполнения и пути унификации таких конструкций. Разработан многовариантную структуру конструктивных и функциональных реализации зажимных патронов с учетом взаимосвязи структуры патрона с особенностями морфологии. Разработана иерархическая модель технологической системы "патрон", которая в процессе синтеза генерирует множество возможных альтернатив для каждого из иерархических уровней, а также принципы синтеза зажимных патронов с использованием 5-ти древовидных иерархических уровней.

Ключевые слова: патрон, конструкции, синтез, структура, связи, станок.

O. Litvin, I. Yashchuk**CONSTRUCTION OF STRUCTURALLY - MORPHOLOGICAL SYNTHESIS OF CLAMPING
CARTRIDGES OF TURNING MACHINES**

The article presents the application of the method of structural morphological synthesis for improving the designs of clamping cartridges. The purpose of the research is to create new designs of clamping cartridges for modern multipurpose machines on the basis of synthesis of possible variants of principle structures of clamping cartridges taking into account the morphology of their construction on the basis of identification of the characteristic laws of organization, functioning, construction and their development, as complex technical systems. The object of synthesis was chosen plunger clamping chuck for axisymmetric parts. A structural and structural scheme of a plunger clamping chuck of five main elements has been developed. Structural diagrams of cartridge elements are presented in the form of a table. To describe the structure, the concept of power (energy) flow is used. The structure is represented as a system of hierarchical levels, and variants of possible designs of clamping cartridges in the form of a matrix. Code naming of elements of the hierarchical structure of the cartridge and alternatives to execution and ways of unification of such structures are proposed. A multivariate structure of constructive and functional implementations of clamping cartridges with the consideration of the relationship between cartridge structure and morphology features has been developed. The hierarchical model of the "Clamping Chuck" technology system is developed, which in the process of synthesis generates a set of possible alternatives for each of the five hierarchical levels, as well as the principles of clamping cartridge synthesis using 5 tree-like hierarchical levels.

Keywords: clamping chuck, designs, synthesis, structure, links, machine.

Постановка проблеми. Більшість сучасних затискних патронів (ЗП) зберігають традиційні конструкції, що не завжди відповідають вимогам до процесу закріплення деталі у сучасних верстатах. Це стримує розвиток структури верстата в цілому.

Тому розробка нових високоефективних ЗП є актуальною. Відсутність прогресивного технологічного оснащення робить верстати не конкурентоздатними на світовому ринку, обмежуючи їх можливості по точності, продуктивності, швидкої переналаджованості в умовах дрібносерійного і серійного виробництва.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. З літератури [1], відомо, що процес проектування таких складних технічних систем, як затискний патрон, вимагає системного підходу. В процесі проектування необхідно виконати індивідуальний опис на основі опису всіх суттєвих особливостей у вигляді сукупності взаємопов'язаних характерних елементів або ознак (рис. 1). Дерево є типовою формою опису складного технічного рішення, такого як ЗП, що відображає багаторівневий ієрархічний взаємозв'язок структурних ознак: від елементів першого рівня з наступним уточненням конструктивних і конструктивно-функціональних характеристик шляхом приєднання нових елементів на наступних рівнях [3]. Важливим етапом теоретичного обґрунтування та конструювання ЗП, є структурно - морфологічний підхід до вивчення всієї різноманітності ЗП та виявлення характерних законів організації, функціонування, побудови та їх розвитку, як складних систем. Відповідно до [1], для опису структури ЗП необхідно використовувати поняття силовий (енергетичний) потік, враховуючи що:

- для забезпечення сили затиску енергетичний потік в ЗП може здійснюватися за допомогою механічних ланцюгів, електромагнітних, магнітних і ін. полів;
- силових (енергетичних) потоків може бути кілька за входами і виходами;
- вхідні та вихідні силові потоки можуть бути однаковими або різними і складатися з обмеженої кількості їх та обмеженого набору варіантів;
- силові потоки можуть бути із зовнішнім джерелом енергії і з внутрішнім;
- з'єднання окремих силових потоків може бути послідовним, паралельним, паралельно-послідовним;
- між входом і виходом силового потоку ЗП є різні перетворювачі і (наприклад, до механічних перетворювачів відносяться важільні, клинові, плунжерні, спіральні, зубчасті, гвинтові, пружні);
- можлива комбінація перетворювачів силових потоків.

Постановка завдань. В статті поставлено мету - розробка передумов до опису та створення можливих варіантів принципів структур затискних патронів токарних верстатів на основі теорії розвитку технічних систем та структурно- морфологічного підходу. Об'єктом синтезу обрано плунжерний патрон, який добре зарекомендував себе на токарних верстатах ПАТ «Веркон» (рис.2).

Викладення основного матеріалу. Безліч рішень ЗП одного класу може бути представлено у вигляді групи функціонально взаємопов'язаних дерев [3]. Певне поєднання їх гілок призводить до отримання заданих характеристик.

Побудови дерев конструктивних і апаратурних ознак ЗП передують розробка структури функціональних ознак дерева ЗП (функціонального дерева). Аналізуючи цю структуру, будують дерева основного і допоміжного ЗП шляхом послідовного приєднання як загальновідомих, так і нових ознак, що відповідають високим техніко-економічними показниками і сучасному стану розвитку техніки.

У відповідності до службового призначення (рис. 1) конструкція ЗП повинна забезпечувати перетворення руху механізму приводу в переміщення ЗЕ, закріплення та базування заготовки при токарній обробці на верстаті, визначає точність і шорсткість обробленої поверхні.

Основними напрямками вдосконалення ЗП для штучних заготовок є:

- збільшення ходу ЗЕ;
- підвищення жорсткості (вібростійкості тощо);
- спрощення конструкції;
- зменшення похибок базування та закріплення, зумовлених похибками виготовлення та похибками переміщення поступально-перетворювального механізму;
- спрощення налашки на необхідний розмір, як в осьовому, так і в радіальному напрямках;
- можливість переходу на обробку деталей різної номенклатури і типорозмірів;
- можливість затиску одночасно кількох деталей;
- уніфікація конструкцій ЗП.

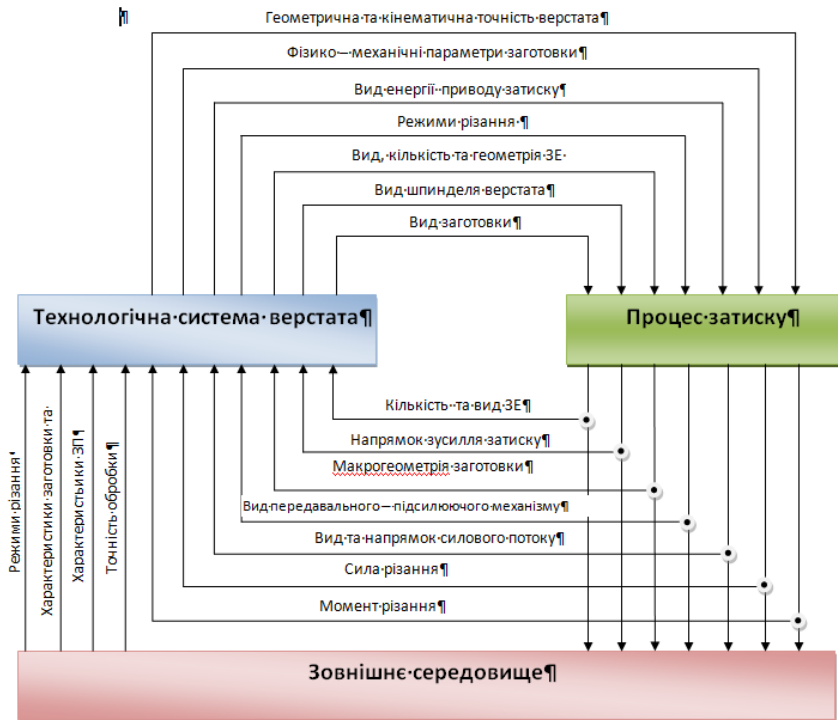


Рис.1. Організація, функціонування та енергетичний зв'язок процесу затиску з зовнішнім середовищем та верстатом

Для синтезу нових конструкцій плунжерних ЗП побудована структурна схема (рис.2), описана позначенням типу $K = J_i^j N_k^s$ [2, 4].

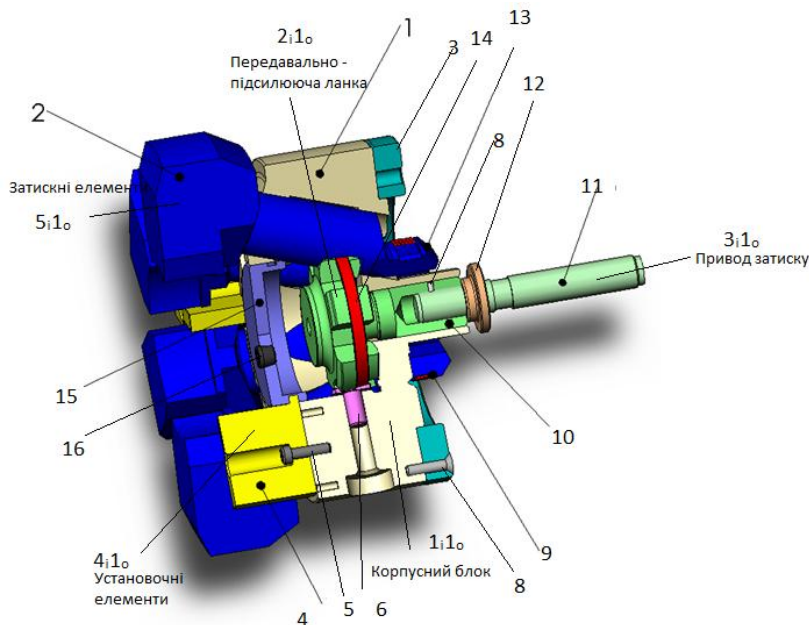
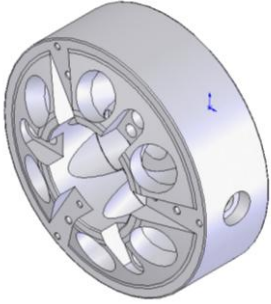
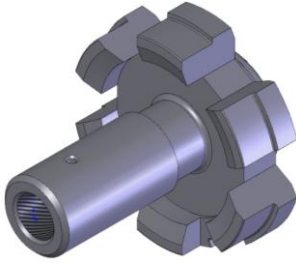

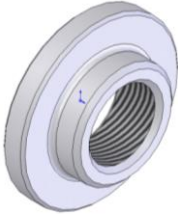

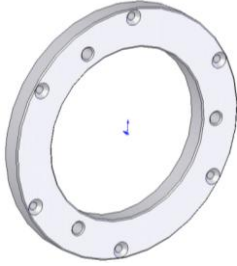
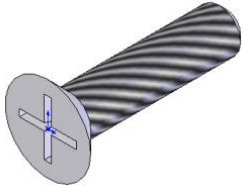

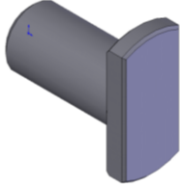
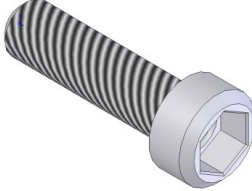
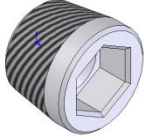
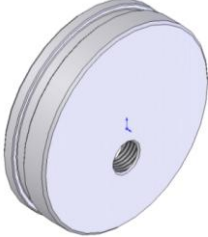
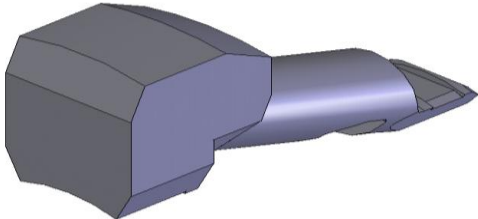
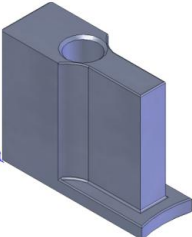
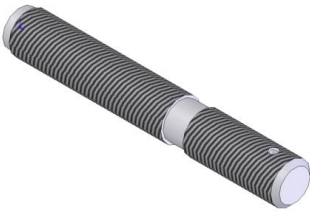


Рис. 2. Конструктивна та структурна схема плунжерного ЗП

Схема елементів ЗП представлено у вигляді таблиці 1.

Схема структурних елементів ЗП

 <p>корпус 1 - $2_5^2 1_2^1$</p>		 <p>тяги 10- $2_i^2 1_0^1$</p>	 <p>Штифт 8 $3_i^2 1_0^1$</p>
 <p>гайка 12 - $3_i^2 1_0^1$</p>	 <p>кільце 4 - $2_i^2 1_0^1$</p>	 <p>фланець 3 - $2_2^1 1_3^1$</p>	 <p>ГВИНТ 8 - $6_i^2 1_0^1$</p>
 <p>пружина 9- $2_i^2 1_0^1$</p>	 <p>напрямна 6 - $2_i^2 1_0^1$</p>	 <p>болт 5- $4_i^2 1_0^1$</p>	 <p>пробка 16 - $5_i^2 1_0^1$</p>
 <p>кришка 15 - $1_1^2 1_3^1$</p>		 <p>кулачок 2 - $5_i^2 1_0^1$</p>	
 <p>упор 4 - $4_1^2 1_5^3$</p>		 <p>тяги 11- $2_2^2 1_4^1$</p>	

Згідно методу уніфікаційного синтезу структура позначається парою символів: перший елемент такої конструкції означає структурний елемент, а другий - ієрархічну підпорядкованість такого елемента в ієрархічній структурі з основних п'яти елементів, а саме: 1) блок корпусу 1_i1_0 , 2) передавально – підсилюючий механізм 2_i1_0 , 3) привод затиску 3_i1_0 , 4) установочні елементи 4_i1_0 , 5) затискні елементи 5_i1_0 . Кодове позначення елемента $J = 1 \dots n$ – номер ієрархічного рівня елемента в ієрархічній сукупності рівнів затискного патрона; i та s – позначення номера варіанта виконання відповідно елемента та сукупності елементів ($s=0$ - одночасне застосування ознак та $s=1$ альтернативність ознак із числа можливих); $N = 1 \dots 5$ – номер ієрархічного рівня сукупності елементів, у склад якого входить даний елемент; j та k – відповідно номери груп ієрархічних рівнів, у яких розміщені елемент і сукупність елементів ієрархії.

Якщо елемент не відзначається унікальністю, то він позначається індексом "i", в іншому випадку порядковим номером даного елемента в множині технічних рішень даної групи (рис.3).

$$K = \begin{vmatrix} 1_i1_i & & & & & \\ & 2_i1_i & & & & \\ & & 3_i1_i & & & \\ & & & 4_i1_i & & \\ & & & & 5_i1_i & \\ & & & & & \end{vmatrix}$$

Рис. 3. Варіанти можливих конструкцій ЗП у вигляді матриці

Патрон складається з блоку корпусу, що є основною ланкою зв'язку через фланець з шпинделем металорізального верстату. Фланець фіксується на корпусі гвинтами. Кришка з пробкою захищає механізми ЗП від забруднення. У процесі формоутворення він здійснює обертовий рух.

В залежності від конструктивного виконання можливі такі способи базування блоку корпусу на шпинделі: через перехідний фланець або безпосередньо на шпинделі:

- по торцю і циліндричній поверхні отвору корпусу;
- по торцю і конічній поверхні корпусу.

Конструктивне виконання може бути з отворами або пазами для переміщення ЗЕ, які м.б. радіальними, осьовими або під кутом.

Таким чином кодове позначення елемента «Блок корпусу» ієрархічної структури патрона буде $N_i^0 1_0^s$ (корпус, фланець, кришка, заглушка).

$1_1^0 1_0^s$ - Виконання корпусу: один $1_1^0 1_2^1$ чи складений $1_2^0 1_3^1$. Вказані кодові позначення можуть мати більший ступінь деталізації у випадку конкретизації структури елементів, наприклад $1_1^2 1_2^2$ або $1_1^2 1_2^3$ та інших, тобто при зростанні ступеня ієрархічного рівня елементів ЗП.

$2_i^0 1_j^s$ - Пристрої базування на шпинделі верстата (фланець $2_2^1 1_3^1$ і т.д. $s=1$, 0 - сукупність елементів ієрархії).

$3_i^2 1_0^s$ - вид системи отворів чи пазів для ЗЕ (отвори $3_1^2 1_3^1$ або пази $3_2^2 1_3^1$, тощо).

$4_i^2 1_3^s$ - геометрія системи отворів чи пазів для ЗЕ (радіальні $3_3^2 1_2^1$, тангенціальні $3_4^2 1_2^1$, під кутом $3_5^2 1_2^1$).

$5_i^1 1_0^s$ - наявність кришки корпусу (з пробкою $5_i^1 1_0^s$ чи без неї) $5_i^1 1_0^s$.

$6_i^1 1_0^s$ – спосіб кріплення фланця на корпусі (гвинтами $6_2^1 1_2^s$, болтами $6_2^1 1_3^s$, байонетним з'єднанням та ін.).

В ЗП передача енергії відбувається в напрямі від джерела енергії з перетворенням та підсиленням до виконавчого органу, що створює необхідну силу затиску об'єкта для надійного закріплення в процесі виконання технологічних та допоміжних операцій. Таку передачу енергії можна представити в вигляді силових потоків від привода до затискних елементів, розглядаючи різні напрямки на вході та виході. Передавально – підсилюючий механізм (ППМ) (рис.4) $2_i 1_0$ виконує функцію передачі енергії. Основні ППМ ЗП: а) важільні, б) клинові, в) ексцентриккові, г) гвинтові, д) плунжерні, з) пружні.

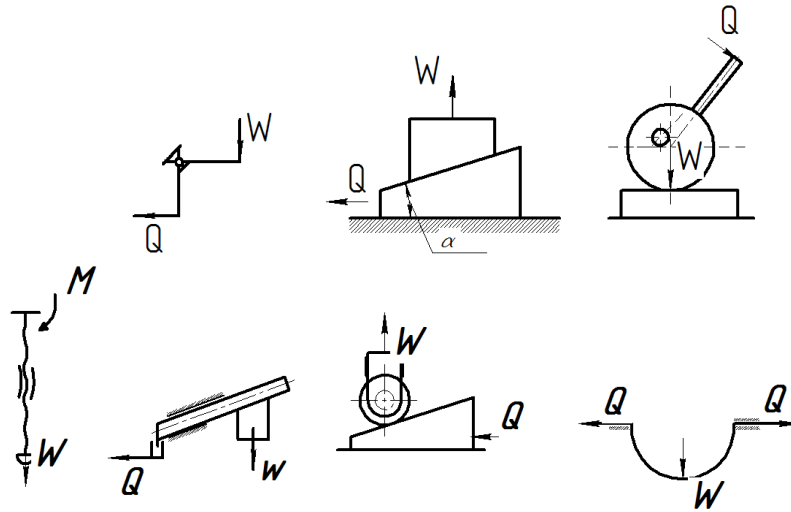


Рис. 4. Передавальньо – підсилюючі механізми та перетворюючі ланки

Передавальньо – підсилюючий механізм $2_1 1_0$ у вигляді плунжерного механізму. Основними елементами є тяга для поступального переміщення елементів патрону від приводу та плунжери, розміщені під кутом в отворах корпуса, для радіального переміщення затискних елементів, а також механізм їх взаємодії, напрямний елемент для тяги, кільце для усунення люфту між тягою та плунжером.

Кодове позначення елемента «ППМ та перетворюючі ланки» ієрархічної структури патрона буде: $1_i^2 2_k^s$. Альтернативи виконання наступні:

$1_i^2 2_0^1$ - спосіб передачі силового потоку на вхід ППМ від приводу, причому нижній індекс 0 вказує, що сукупність елементів ієрархії не визначена, i - номери варіанта виконання відповідно елемента

$2_i^2 2_0^2$ - вид ППМ

$3_i^2 2_0^3$ - структура ППМ

$4_i^2 2_0^4$ - зв'язки між ланками ППМ

$5_i^2 2_0^5$ - напрямок силового потоку на виході

$6_i^2 2_0^6$ - кількість ППМ

$7_i^2 2_0^7$ - зв'язок ППМ з ЗЕ

$8_i^2 2_0^8$ - вид силового потоку в ППМ

$9_i^2 2_0^9$ - кількість силових потоків на вході ППМ

$10_i^2 2_0^{10}$ - кількість силових потоків на виході ППМ

Привод затиску $1_i^2 3_0^s$ (індекс 2 вказує на номер ієрархії, а саме: привод затиску сполучається з ППМ, 0- конструкція не визначена) складається з шпильки $1_1^2 3_k^s$ поступального переміщення, яка сполучена з механізмом затиску верстата, та гайки $2_2^2 3_k^s$. У свою чергу $1_i^2 3_0^s$ можна представити так: $1_1^2 3_i^s$ - зовнішній привод, $1_2^2 3_i^s$ - вбудований привод (1 вказує на розміщення в корпусі), $1_3^2 3_i^s$ - переміщення тяги поступальне, $1_4^j 3_i^s$ - дискретне, $1_5^j 3_i^s$ - обертальне.

Установочні елементи $1_i^1 4_k^s$ у вигляді упорів з гвинтами, які фіксуються на корпусі можна представити так: $1_1^1 4_i^s$ - упор призматичний (верхній індекс 1 вказує на зв'язок з корпусом), $2_2^1 4_k^s$ - упор - кришка, $3_3^1 4_i^s$ упор – палець, фіксація гвинтами $1_i^1 4_k^2$, ексцентриком $1_i^1 4_k^3$, виконаний заодно з корпусом $1_i^1 4_k^4$.

Структурна матриця виконання робочої поверхні затискного елемента

Структурна формула	Морфологічна формула	Схема конструкції	Характеристика
1_{30}^{25s1}	1.1-2.1-3.3-4.1		Гладка робоча поверхня
1_{30j}^{25s2}	1.1-2.1-3.3-4.2		Робоча поверхня з рифленнями
1_{30}^{253}	1.1-2.1-3.3-4.2		3 осьовими канавками
1_{40}^{254}	1.1-2.1-3.3-4.4		3 радіальними канавками

Висновки. Розроблено багатоваріантну структуру конструктивних та функціональних реалізації затискних патронів з врахуванням взаємозв'язку структури патрона з особливостями морфології. Розроблена ієрархічна модель технологічної системи "Затискний патрон", яка в процесі синтезу генерує множину можливих альтернатив для кожного з п'яти ієрархічних рівнів, а також принципи синтезу затискних патронів з використанням 5-ти деревовидних ієрархічних рівнів.

Розроблена процедура синтезу є розвитком відомого морфологічного підходу та може бути використана при ранніх стадіях проектування в машинобудуванні. Запропонований підхід дозволяє: зменшити розмірності морфологічної таблиці шляхом оцінки та кластеризації варіантів рішення та відповідно зменшити трудозатрати при пошуку нових технічних рішень ЗП та ефективно генерувати морфологічну множину конструкцій ЗП та групувати їх і вибирати найкращі альтернативи.

Список використаних джерел:

1. Кузнецов Ю. М. Передумови генетично-морфологічного синтезу електромеханічних приводів затискних механізмів, що обертаються / Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І. // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування: збірник наукових праць. – 2015. – № 3(75). – С. 48–55.
2. Васильків В. В. До питання синтезу конструкції механізмів з робочими затискними пружними гвинтовими елементами / В. В. Васильків, І. С. Генік, О. Кочубинська // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – 2006. – Вип. 3. – С. 171–180.
3. Гамрекелі М.Н. Метод синтеза оптимальных аппаратурно-функциональных технических комплексов //Известия вузов. Машиностроение -2006, № 9. –С. 75-84.
4. Гевко Б. М. Уніфікований синтез розточних головок для формоутворення кільцевих канавок / Б. М. Гевко, О. Л. Ляшук, І. Б. Гевко, Р. Хорошун // Наукові нотатки. - 2011. - Вип. 35. - С. 37-45.

Рецензенти:

Шевченко О.В. - доктор технічних наук, професор каф. конструювання верстатів та машин НТУУ «КПІ ім.І.Сікорського»

Редько Р.Г. - кандидат технічних наук доцент кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування технологічного факультету Луцького НТУ (ЛНТУ)

Стаття надійшла до редакції 07.02.2018

УДК620.193.16

О.А. Литвиненко, Б.С. Пашенко*Національний університет харчових технологій***ЗНОСОСТІЙКІСТЬ КЕРАМІКИ ДЛЯ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ МЕМБРАН**

Наведено результати досліджень кераміки для фільтраційних мембран. Вивчали стійкість кераміки з вмістом 75 мас. % Al_2O_3 під дією ультразвукової кавітації при частоті 44 кГц. Встановлено поверхневий характер зносу внаслідок утворення мікротріщин. Втрата маси зразків має циклічний характер. Зношення зразків відбувається при накопиченні поверхневої енергії, а також її миттєвого вивільнення. Технічна кераміка на основі Al_2O_3 є зносостійким матеріалом. Встановлено, що характер зносостійкості кераміки подібний металам.

Ключові слова: зносостійкість кераміки, фільтрувальні мембрани, ультразвукова кавітація.

А.А. Литвиненко, Б.С.Пашенко*Национальный университет пищевых технологий***ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КЕРАМИКИ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН**

Приведены результаты исследований керамики для фильтрационных мембран. Изучали стойкость керамики с содержанием 75 мас. % Al_2O_3 под действием ультразвуковой кавитации при частоте 44 кГц. Установлен поверхностный характер износа вследствие образования микротрещин. Потеря массы образцов имеет циклический характер. Изнашивание образцов происходит при накоплении поверхностной энергии, а также её мгновенного высвобождения. Техническая керамика на основе Al_2O_3 является износостойким материалом. Установлено, что характер износостойкости керамики подобен металлам.

Ключевые слова: износостойкость керамики, фильтрующие мембраны, ультразвуковая кавитация.

A. Litvinenko, B. Pachshenko*National University of Food Technologies***CERAMIC RESISTANCE OF THE FILTERING MEMBRANES**

The article presents the results of experimental research of ceramics for filtration membranes. The cavitation-erosion resistance of ceramics with a content of 75 mass. % Al_2O_3 was researched. The experiments were performed under the influence of ultrasonic cavitation at a frequency of 44 kHz. The surface character of the wear of the specimens due to the formation of microcracks is established. It is shown that the mass loss of samples is of a cyclic nature. This confirms that the wear of the samples occurs with the accumulation of surface energy, as well as its instantaneous release. The results obtained are consistent with the model of brittle fracture A. Griffiths-J. Irvin, and L. Pogodaev structural-energy theory. It is shown that technical ceramics based on Al_2O_3 is a wear-resistant structural material. The nature of the wear resistance of ceramics is similar to metals was established.

Keywords : ceramic resistance, filtering membranes, ultrasonic cavitation.

Постановка проблеми. При обробленні рідкофазних продуктів різного призначення важливе місце посідає раціональний вибір конструкційних матеріалів технологічного обладнання. Однак, в окремих галузях промисловості до матеріалів висувають певні вимоги. Зокрема, в харчовій, переробній та фармацевтичній промисловості їх спектр обмежується жорсткими санітарно-гігієнічними вимогами. Це спонукає використовувати для виготовлення деталей або вузлів відповідного обладнання не тільки традиційні, але і перспективні конструкційні матеріали, зокрема, технічну кераміку на основі оксиду алюмінію. Водночас, її окремі фізико-механічні властивості (наприклад, кавітаційно-ерозійна стійкість) досліджені недостатньо, а дані літературних джерел обмежені або суперечливі.

Аналіз останніх результатів. Для виготовлення деталей устаткування важливим є вибір зносостійких конструкційних матеріалів. Металеві, полімерні і композитні матеріали характеризуються недостатньою зносостійкістю і мають обмежений ресурс роботи. У зв'язку з цим заслуговує на увагу використання кераміки, в т. ч. на основі оксидів алюмінію (Al_2O_3). Вони відзначаються високою твердістю і корозійною стійкістю в різноманітних технологічних середовищах. Наприклад, для харчової промисловості фірма «Cerabar» (Німеччина) виготовляє деталі різноманітного технологічного призначення з практично чистого Al_2O_3 . Їх використання, крім високих технологічних показників, виключає перебіг корозійних процесів та забезпечує високий рівень санітарно-гігієнічного стану обладнання, в т. ч. при його безрозбірному митті [1]. Завдяки своїм фізико-механічним властивостям кераміка є перспективним конструкційним матеріалом для виготовлення робочих органів технологічного обладнання, які працюють в несприятливих умовах.

Наприклад, зразок із кераміки на основі Al_2O_3 мав незначні пошкодження після 1000 год експлуатації. Корундова кераміка на основі оксиду алюмінію, використана для виготовлення

регулювальних клапанів арматури в технологічних трубопроводах для транспортування корозійно-активних середовищ з вмістом твердої фази до 20 % в умовах гідроабразивного зношування, перевищує за показниками довговічності корозійностійкі нержавіючі сталі [2].

Таким чином, важливе практичне значення мають дослідження кавітаційно-ерозійної стійкості кераміки та закономірності її зношування.

Відомо, що в керамічних матеріалах внаслідок ударно-хвильової дії кавітаційних бульбашок виникають пружні деформації, які спричиняють виникнення поверхневих тріщин та їх поступове руйнування [3].

Експериментальні дослідження кавітаційного зношування зразків з керамічних матеріалів внаслідок їхнього руйнування під дією ультразвукової кавітації показують, що за зносостійкістю вони не поступаються традиційним конструкційним матеріалам [4-7]. Зважаючи на технічно-економічні показники використання матеріалів на основі Al_2O_3 більш раціональне.

Постановка завдань. Авторами досліджувалась кавітаційно-ерозійна стійкість технічної кераміки з вмістом базового компоненту Al_2O_3 – 75 мас. % для виготовлення фільтраційних мембран, які використовуються при розділенні рідких продуктів в молокопереробній галузі. При певних швидкостях і тисках оброблюваного технологічного потоку можуть виникнути умови для утворення мікробульбашок. Їх захопування з утворенням кумулятивного мікрострумка обумовлює механічне руйнування поверхні мембран. Отже, дослідження кавітаційно-ерозійної стійкості керамічних матеріалів для їх виготовлення є актуальним.

Викладення основного матеріалу. Для експериментальних досліджень кавітаційно-ерозійної стійкості зразків кераміки для фільтраційних мембран авторами використовувалась установка УЗДН-2Т з магнітострикційним вібратором (рис. 1).

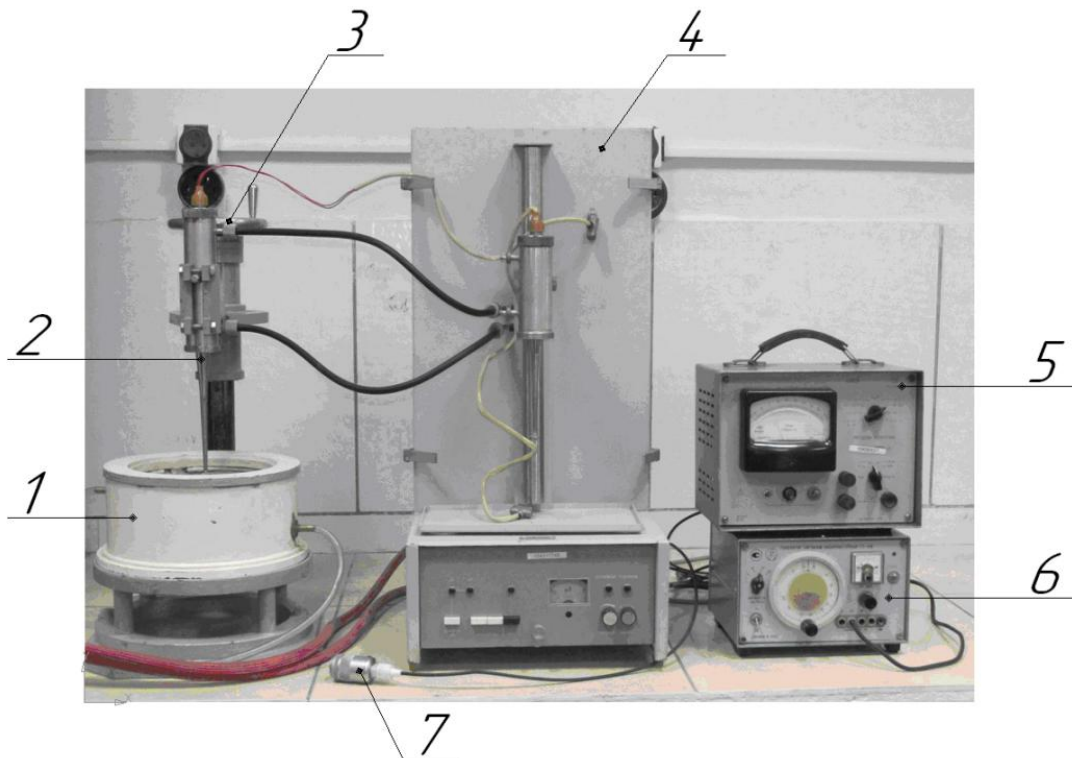


Рис. 1. Дослідна установка для вивчення зносостійкості зразків: 1 – сміть з водяною сорочкою для розміщення дослідних зразків; 2 – магнітострикційний вібратор (МСВ); 3 – пристрій для переміщення МСВ; 4 – установка УЗДН-2Т; 5 – мілівольтметр; 6 – підсилювач; 7 – гідрофон

Дослідження проводили при частоті коливань 44 кГц, амплітуді коливань концентратора МСВ 20 мкм. Зразки розміщували під концентратором на відстані 0,5 мм, яку контролювали за допомогою щупа. Як робоче середовище використовували попередньо відстояну воду, температуру якої підтримували 20 ± 1 °С і контролювали лабораторним термометром ТЛ-2.

Інтенсивність зношування зразків визначили ваговим методом за втратою маси через фіксовані проміжки часу за допомогою лабораторних електронних вагів Radwag 210. Перед

зважуванням зразки попередньо промивали у дистильованій воді та спирті, просушували при температурі 70...80 °С протягом 5 хв в термостаті ТС-80М2, охолоджували та зберігали в ексикаторі. Для оцінювання структури керамічних матеріалів використовували мікроскоп РЕМ-200.

Одержані результати наведено на рис. 2.

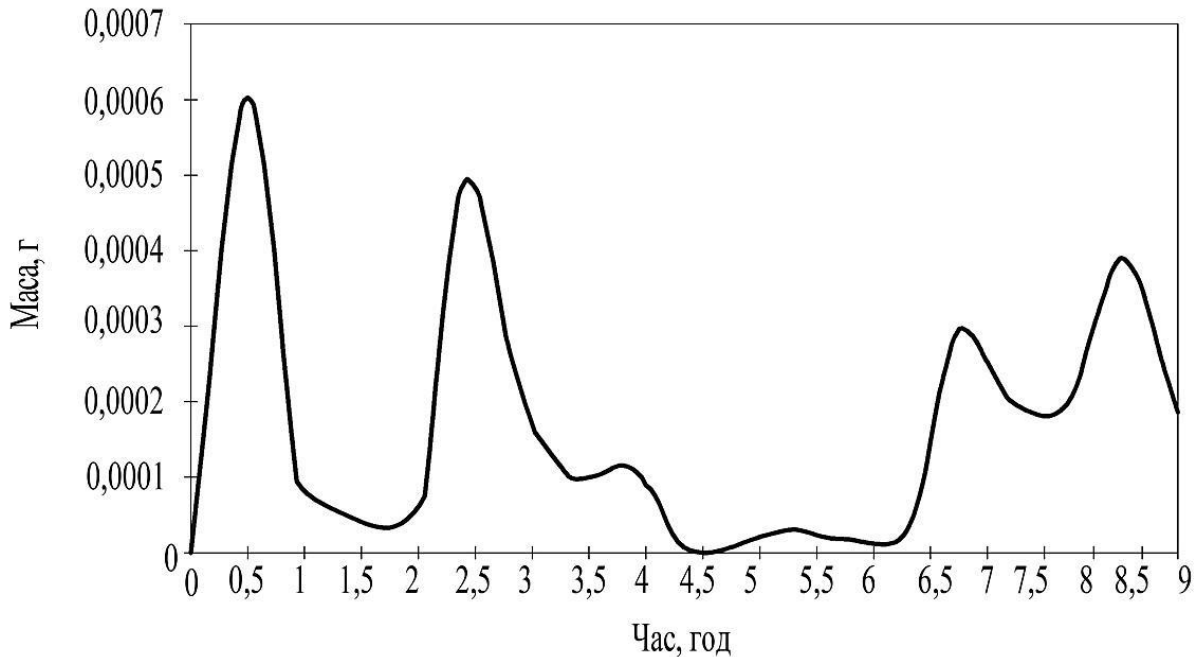


Рис. 2. Залежність швидкості втрати маси зразків з технічної кераміки при частоті коливань МСВ 44 кГц від часу досліджень

Аналіз одержаних результатів показує, що швидкість втрати маси зразків має стрибкоподібний характер, що свідчить про циклічність процесу руйнування від накопичування втомлювальних деформацій у поверхневих шарах до миттєвого руйнування їх мікрооб'ємів.

Зношування конструкційних матеріалів є складним процесом руйнування їх окремих структурних фрагментів і починається з мікро- та закінчується макротріщинами та подальшою втратою маси зразка. Цьому передують накопичення дефектів (мікротріщин), що визначається розмірами структурних складових матеріалу. Включення, наявні практично в усіх керамічних матеріалах, впливають на їх експлуатаційні властивості, а дефекти структури (тріщини, пори) обумовлюються складом і технологією отримання зразків. Зокрема, при дослідженні розміру зерен Al_2O_3 встановлено, що оптимальними їх розмірами є 30...200 мкм, які визначають тріщиностійкість (опір матеріалу поширенню тріщин) технічної кераміки. В однофазній оксидній кераміці з оптимальним дисперсним складом найбільш очевидно реалізується механізм міжзеренного руйнування, а в більш грубодисперсній кераміці макротріщина поширюється через тіло зерна, що ускладнює її використання для виготовлення деталей, які при експлуатації зазнають кавітаційного зношування [5].

Відповідно до теорії А. Гриффітса, тріщина в крихкому матеріалі починає збільшуватись, якщо швидкість вивільнення енергії пружних деформацій при її поширенні перевищує приріст поверхневої енергії матеріалу. Внаслідок цього навантаження P , зокрема від циклічної дії кумулятивних мікрострумків для зразка матеріалу може виявитись граничним P^* , причому, $P=P^*$, тобто зразок з тріщиною буде знаходитись в гранично-врівноваженому стані за умови:

$$d[U(\gamma, l) - W(P, l)] / dl \quad (1)$$

де $U(\gamma, l)$ – поверхнева енергія тріщини, залежна від щільності потоку енергії γ для утворення одиниці нової поверхні тіла в умовах проміжного стану, $W(P, l)$ – енергія пружних деформацій, обумовлена поширенням тріщини довжиною l при дії на матеріал зовнішніх імпульсів

навантажень P , зокрема внаслідок захоплення на поверхні зразків кавітаційних бульбашок з утворенням кумулятивних мікрострумків.

Висока ерозійна активність кумулятивних мікрострумків добре пояснюється релаксаційною гіпотезою К. Шальнева-С. Козирева, відповідно до якої початкові ерозійні ушкодження виникають при ударно-хвильовій дії колапсуючих кавітаційних бульбашок, тривалість якої співставна з часом зсувної релаксації сил об'ємної в'язкості рідини $(1...2) \cdot 10^{-7}$ с [6]. За таких умов масу рідини, що взаємодіє з поверхнею, можна вважати твердим тілом [7].

Авторами для визначення величини сили тиску P з використанням теореми імпульсів одержана залежність:

$$P(t) = \frac{kmv_1^3}{2} \quad (2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, m – маса рідини, v_1 – початкова швидкість кумулятивного мікрострумка.

Враховуючи положення кумулятивно-релаксаційної гіпотези та відносну кількість бульбашок K , що захоплюються з утворенням кумулятивного мікрострумка, сила тиску P знаходиться за формулою:

$$P(t) = K \frac{k\rho V m v_1^3}{2g} \quad (3)$$

де V – об'єм рідини, діючої на поверхню, ρ – його густина.

Дж. Ірвіном в розвиток теорії А. Гриффітса запропонований критерій визначення початку поширення тріщини в деформованому твердому тілі K_1^* , за яким коефіцієнт інтенсивності напружень K_I в певній точці контуру тріщини в момент локального руйнування дорівнює постійній характеристиці тріщиностійкості матеріалу K_{IC} , тобто в'язкості його руйнування. Таким чином, критерій граничної рівноваги тіла з тріщиною можна записати у вигляді [8]:

$$K_1^* = K_I(P^*, l) = K_{IC} \quad (4)$$

де P^* – гранична величина зовнішнього навантаження P , при досягненні та перевищенні якого відбувається поширення тріщини.

Дж. Ірвіном була доведена еквівалентність критеріїв (1) і (4) в умовах крихкого руйнування.

Розрахункова модель Гриффітса-Ірвіна покладена в основу механіки руйнування твердих тіл [8]. В цьому випадку передбачається, що розміри ділянки проміжного стану в кінці утвореної тріщини є значно меншими, ніж її характерний розмір та досліджуваний зразок. Напружено-деформований стан визначають за допомогою методів і рішень лінійної теорії пружності та розраховують коефіцієнти інтенсивності напружень, а тріщиностійкість оцінюють експериментально за коефіцієнтом K_{IC} .

При цьому величина K_{IC} апроксимується складним поліномом третього ступеня від температури [9]. Також в конструкційних матеріалах поширення тріщин супроводжується виникненням локальних пластичних деформацій, внаслідок чого кожний критерій крихкого руйнування вважається критерієм ідеального крихкого руйнування, коли поверхнева енергія зразка визначається як щільність енергії руйнування в його поверхневому шарі [8].

Причому, щільність енергії руйнування в поверхневому шарі зразка співставна з критичною щільністю потужності деформацій відповідно до структурно-енергетичної теорії Л. Погодаєва, запропонованої для оцінювання зносостійкості металевих матеріалів [10].

Аналіз експериментальних результатів та мікрофотографій зруйнованих зразків свідчить про переважно сколювальний характер їх руйнування, ініційований циклічними імпульсами мікроударного навантаження. Очевидно, що при наявності початкових дефектів поверхневого шару керамічного матеріалу та ерозійних ушкоджень при його мікроударному навантаженні від мікрострумків колапсуючих кавітаційних бульбашок, по границям зерен корунду проходять втомлювальні тріщини, внаслідок яких і відбувається сколювання мікрооб'ємів поверхні.

Такий механізм зношування керамічних матеріалів задовільно узгоджуються зі схемою квазістатичного руйнування, що включає виникнення мікрodefektів, які є центрами руйнування, збільшення їх розмірів під дією розтягувально-стискних напружень, об'єднання сусідніх мікрodefektів, відшарування матеріалу зразка. Сколювальне руйнування керамічних матеріалів

задовільно описується моделями на основі енергетичної теорії А. Грифітса або силової теорії Д. Ірвіна. Причому, критерієм інтенсивності руйнування є приблизна співставність енергії, накопиченої ударною хвилею внаслідок дії кумулятивного мікрострумка і питомої роботи відриву мікрооб'єму матеріалу з одиниці поверхні зразка.

Висновки. Результати проведених досліджень показують, що технічна кераміка на основі оксиду алюмінію є надійним конструкційним матеріалом для виготовлення фільтраційних мембран і проявляє високу кавітаційно-ерозійну стійкість, про що свідчать незначні втрати маси зразків за відносно тривалий період досліджень при інтенсивній ударно-ерозійній дії середовища на їх поверхню.

Як показали дослідження авторів, для керамічних матеріалів потужність деформації визначається не лише складом і властивостями, а й структурою, енергією активації окремих його складових стрибкоподібного розвитку дислокаційних мікротріщин та коефіцієнтом інтенсивності напружень K_{IC} .

Характер швидкості втрати маси керамічних зразків подібний до гідроабразивного зношування зразків металевих матеріалів, що дозволяє припустити приблизно однотипний вид їх зношування і використовувати для опису руйнування технічної кераміки ті ж залежності, що і для металевих матеріалів.

Список використаних джерел:

1. Hees M. Verwirbelungen halten Keramik Sauber / Martin Hees // Ernährungsin dustrie/ - 2001. – № 6. – Р. 64-65.
2. Мельцер А. М. Новый регулирующий клапан для гидроабразивных сред / А. М. Мельцер, В. А. Ананьевский, И. В. Кириченко // Арматуростроение. – 2006. - № 3(42). – С. 26-28.
3. Миличенко С. Л. Особенности разрушения пластичных и хрупких материалов при кавитации / С. А. Миличенко, А. Г. Александров, И. В. Пиньковский // Проблемы прочности. – 1971. – № 2. – С. 117-119.
4. Пащенко Б. С. Перспективні матеріали для фільтраційних мембран харчової промисловості / Б. С. Пащенко, Є. В. Штефан, О. А. Литвиненко. – К.: НУХТ, 2016. – В. 20. – 123-129 с. – (Харчова промисловість).
5. Коваленко В. И. Разрушение керамики при воздействии кавитации / Коваленко В. И., Маринин В. Г. – Харьков, ХФТИ АН УССР, 1988. – 7 с. (Препринт ХФТИ АН УССР, № 88-65).
6. Литвиненко О. А. Кавітаційна стійкість керамічних конструкційних матеріалів / О. А. Литвиненко, О. І. Некоз, В. М. Кавун // Зб. наук. пр. ВАТ «УкрНДІ вогнетривів ім. А. С. Бережного». – 2010. – № 110. – С. 115–118.
7. Балкевич В. Л. Техническая керамика / В. Л. Балкевич. – М. : Стройиздат, 1984. – 256 с.
8. Шальнев К. К. Релаксационная гипотеза кавитационной эрозии / К. К. Шальнев, С. П. Козырев // Доклады АН СССР, ОТФ. – 1972. – Т. 202. – № 5. – С. 1057-1060.
9. Шальнев К. К. Параметры влияния на опыты с кавитационной эрозией в свете релаксационной гипотезы / К. К. Шальнев, С. П. Козырев, И. И. Варга, Д. Шебештьен // Доклады АН СССР, ОТТ. – 1974. – Т. 219. – № 6. – С. 1348-1351.
10. Панасюк В. В. О современных проблемах механики разрушения / В. В. Панасюк // Физ. – хим. Механика материалов. – 1982. – Т. 18. – № 2. – С. 7-27.
11. Андрейкив А. Е. Разрушение квазихрупких тел с трещинами при сложном напряженном состоянии / А. Е. Андрейкив. – К. : Наук. думка, 1979. – 139 с.
12. Погодаев Л. И. Структурно-энергетические модели надёжности материалов и деталей машин / Л. И. Погодаев, В. Н. Кузьмин. – С.-Пб. : Академия транспорта РФ, 2006. – 608 с.

Рецензент:

Бовсуновський Анатолій Петрович, д.т.н., професор кафедри машинобудування, стандартизації та сертифікації обладнання Національного університету харчових технологій.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК: 656.13

Є.В. Любий, О.С. Левченко, М.С. Сиромятнікова
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МІНІ-КІЛЬЦЕВИХ РОЗВ'ЯЗОК

У статті представлено результати проведеного аналізу ефективності використання міні-кільцевих розв'язок для підвищення рівня безпеки дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст. Проаналізовані основні критерії, що використовуються для оцінювання ефективності функціонування міні-кільцевих розв'язок, до яких відносяться пропускна здатність розв'язки, величина транспортних затримок на розв'язці, рівень аварійності та рівень обслуговування. Детально розглянуті існуючі сучасні підходи щодо визначення пропускної здатності кільцевих розв'язок.

Ключові слова: організація дорожнього руху, безпека дорожнього руху, міні-кільцеві розв'язки, ефективність, пропускна здатність.

Е.В. Любий, Е.С. Левченко, М.С. Сыромятникова
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНИ-КОЛЬЦЕВЫХ РАЗВЯЗОК

В статье представлены результаты проведенного анализа эффективности использования мини-кольцевых развязок для повышения уровня безопасности дорожного движения на улично-дорожной сети городов. Проанализированы основные критерии, используемые для оценки эффективности функционирования мини-кольцевых развязок, к которым относятся пропускная способность развязки, величина транспортных задержек на развязке, уровень аварийности и уровень обслуживания. Подробно рассмотрены существующие современные подходы к определению пропускной способности кольцевых развязок.

Ключевые слова: организация дорожного движения, безопасность дорожного движения, мини-кольцевые развязки, эффективность, пропускная способность.

E.V. Liubiy, O.S. Levchenko, M.S. Syromyatnikova
ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF MINI-ROUNDAABOUT

The results of the conducted analysis of mini-roundabout efficiency to increase the road safety in city street and road network are presented in the article. The main criteria used to estimate the mini-roundabout efficiency in particular traffic capacity of roundabouts, the size of transport delays at roundabouts, accident rate and service level have been analyzed. Current classifications of roundabouts and modern approaches to determine their traffic capacity have been studied in detail. Existing regulatory documents with standards and conditions of roundabout use in city street and road network have been analyzed.

Keywords: traffic management, road safety, roundabouts, efficiency, capacity.

Постановка проблеми. Сучасні світові тенденції щодо зростання рівня автомобілізації та інтенсивності руху транспортних потоків призводять до такого негативного явища як збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та їх наслідків. Результати прогнозу експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я свідчать про те, що вже в 2030 році ДТП можуть стати однією з основних п'яти причин смертності людей у світі [1].

За даними [2, 3] рівень смертності та травматизму від ДТП в Україні є одним із найвищих в Європі, а рівень організації та безпеки дорожнього руху – дуже низьким. На думку світових експертів основними причинами виникнення ДТП в Україні є людський фактор (перевищення швидкості водіями, порушення правил проїзду перехресть, керування транспортними засобами у стані алкогольного сп'яніння та ін.), неналежна облаштуваність існуючої транспортної інфраструктури (пішохідних переходів, розв'язок, ділянок вулично-дорожньої мережі) та неякісне проектування нових інфраструктурних об'єктів.

Безумовно, більшість ДТП виникають з вини учасників дорожнього руху [4], але слід відзначити наявність ДТП зі смертельними наслідками з причин незадовільного облаштування об'єктів транспортної інфраструктури (відсутність освітлення, розмітки, знаків, інформаційних табло тощо).

Українська влада ставить за мету вже в найближчому майбутньому, до 2020 року, зменшити рівень смертності внаслідок ДТП щонайменше на 30 %, ступеня тяжкості наслідків ДТП для учасників дорожнього руху та зменшення соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортного травматизму [1]. В Україні в цьому році розпочинається реалізація Програми підвищення безпеки дорожнього руху [5], що включає плани по будівництву 500 нових кільцевих розв'язок, 500 острівців безпеки та 1000 пішохідних переходів, на яку планують виділити майже 7,7 млрд. грн.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В практиці організації дорожнього руху на автомобільних дорогах одним з найефективніших заходів щодо зменшення кількості ДТП та негативних наслідків від них є організація кільцевих розв'язок [6-9], внаслідок зменшення кількості конфліктних точок і зниження швидкості руху транспортних засобів на такого типу розв'язках.

У відповідності з існуючою класифікацією за розміром центрального острівця кільці розв'язки поділяються на [10]: великі (діаметр > 60 м), середні (діаметр від 18 м до 60 м), малі (діаметр від 4 м до 18 м) та міні (діаметр від 2,5 м до 4 м). Умови введення кільцевих розв'язок різного типу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Умови влаштування кільцевих розв'язок

Тип кільцевої розв'язки	Умови влаштування
Великі	Інтенсивність руху транспортних засобів більше 5000 авт./добу Не менше 40 % основного потоку лівоповоротні потоки
Середні та малі	Інтенсивність руху транспортних засобів до 5000 авт./добу Інтенсивність руху транспортних засобів більше 5000 авт./добу у випадку обмеженого простору і відповідного обґрунтування та у населених пунктах
Міні	Швидкість руху обмежена до 50 км./год. Населені пункти та приміська зона Інтенсивність руху транспортних засобів до 2000 авт./добу Видимість кільця у напрямку руху

В Україні питання проектування кільцевих розв'язок регламентуються декількома діючими нормативними документами, основними з яких є [10-12]. Станом на 21.07.2017 року під егідою Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України вже розроблено проект ДБН В.2.3-5:2017 «Вулиці та дороги населених пунктів» [13], в якому наведені зміни щодо норм і умов проектування основних елементів кільцевих розв'язок. Також для влаштування кільцевих розв'язок інженери-проектувальники транспортної інфраструктури використовують рекомендації «Road Safety Manual. Recommendations from the World Road Association, 2003».

В свою чергу, документом, що регулює правила проїзду кільцевих розв'язок автотранспортними засобами є Закон України «Про дорожній рух» та Правила дорожнього руху України. У відповідності з Законом України «Про дорожній рух» перевага в русі на перехрестях, де організовано круговий рух, надається транспортним засобам, які вже рухаються по колу.

Слід відзначити, що в нормативній літературі країн Європейського союзу, США та Канади відсутні вимоги до геометрії кільцевих розв'язок, при цьому, особлива увага приділяється моделюванню транспортних потоків, дослідженню режимів руху та пропускної здатності на розв'язках, а також впливу нових дорожніх об'єктів на існуючі [14].

Положення діючих російських нормативних документах [15, 16] свідчать про те, що в залежності від розмірів, складу та розподілу руху по напрямкам, а також від місцевих умов необхідно застосовувати різноманітні схеми розв'язок у різних рівнях.

Особливу цінність з точки зору вивченості проблеми дослідження кільцевих розв'язок має англійська нормативна документація [17], оскільки в ній приділяється особлива увага геометрії зон злиття, розгалуження і переплетіння.

Постановка завдань. Метою даної роботи є проведення аналізу світового досвіду щодо використання міні-кільцевих розв'язок для підвищення рівня безпеки дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст, а також основних критеріїв, що використовуються для оцінювання ефективності функціонування міні-кільцевих розв'язок.

Викладення основного матеріалу. Однозначно можна стверджувати, що в останні десятиріччя у закордонній практиці організації безпечного руху транспорту переважно на міській вулично-дорожній мережі особливої популярності набуло використання міні-кільцевих розв'язок (roundabouts) [6, 18, 19].

Під міні-кільцевою розв'язкою найчастіше розуміють кільцеву розв'язку з визначеними геометричними параметрами та формою організації пропуску транспортних потоків, до яких

відносять: знаки «Поступитися дорогою» на входах на кільце; радіуси кільцевої проїжджої частини, безпосередні входи на кільцеву проїжджу частину та виходи з неї, підходи до перетину, що не дозволяють розвивати швидкість більш 50 км./год.; обов'язкове каналізування транспортних потоків на підходах до кільця [6, 18-21].

Досвід впровадження міні-кільцевих розв'язок в зарубіжних країнах свідчить про значне їхнє поширення та розповсюдження. Причиною популярності таких розв'язок у закордонних спеціалістів є дуже висока ефективність сучасних кільцевих переходів як засобів забезпечення безпеки руху – зниження аварійності становить, близько 40 - 80 %. При цьому одним із компонентів зниження рівня аварійності є безпека руху пішоходів [6].

За даними (<https://www.fhwa.dot.gov/>) в 2000 році в США проведено дослідження рівня аварійності на 24 перехрестях, які були переобладнані в кільцеві розв'язки, результати якого свідчать про скорочення загальної кількості ДТП на 39 %, а кількості ДТП з пораненими на 76 %. Результати обстежень 15 міні-кільцевих в 2002 р. у штаті Меріленд підтвердили ефективність використання розв'язок такого типу: скорочення кількості ДТП на 60 %, скорочення кількості ДТП з пораненими – 82 %, не зафіксовано жодного ДТП із загиблими.

Дослідження спеціалістів Oregon State University також свідчать про високу ефективність використання міні-кільцевих: скорочення кількості ДТП – 51 %, скорочення кількості ДТП з пораненими – 73 %, кількість наїздів на пішоходів із розрахунку на 1 млн. автомобілів, що пройшли через міні-кільце – 0,31 [6]. Дані Insurance Institute for Highway Safety (<http://www.iihs.org/>) свідчать, що, в цілому, в американській практиці використання міні-кільцевих розв'язок дають скорочення: кількості ДТП із загиблими – 90 %, кількості ДТП із пораненими – 76 %, кількості ДТП за участі пішоходів – 30 % - 40 %, кількості ДТП за участі велосипедистів – 10 % [20].

Ефективний досвід використання міні-кільцевих розв'язок в особливих кліматичних умовах (експлуатація взимку, вимоги очищення снігу) мають спеціалісти штату Аляска та їхні канадські колеги [21].

Австралійський досвід переобладнання 230 перехресть у кільцеві розв'язки також підтверджує достатньо високу ефективність їхнього застосування для підвищення рівня безпеки дорожнього руху: скорочення середньої кількості ДТП на одному перехресті за рік – 41 %, скорочення кількості ДТП із постраждалими на одному перехресті за рік – 45 %, скорочення середньої кількості загиблих на одному перехресті за рік – 63 %. Слід також відзначити достатньо високу ефективність застосування міні-кільцевих розв'язок на прикладі європейських країн (таблиця 2) [6].

Таблиця 2.

Ефективність впровадження міні-кільцевих розв'язок в країнах Європи

Країна	Показники
Бельгія	Середня кількість ДТП з постраждалими та середня кількість ДТП високої тяжкості на одному перехресті за рік скоротилася на 45 % і 48 %, відповідно.
Великобританія	Середня кількість ДТП на кільцевій розв'язці за рік 1,77, з них 7 % з постраждалими та загиблими. Зниження аварійності на 46,5 %.
Нідерланди	Середня кількість ДТП та середня кількість постраждалих на одному перехресті за рік скоротилася на 51 % і 72 %, відповідно.
Німеччина	Середня кількість ДТП на 1 млн. автомобілів, що проїхали через перехрестя, скоротилася на 29 %.
Франція	Середня кількість ДТП з постраждалими, середня кількість постраждалих і середня кількість загиблих на одному перехресті за рік скоротилася на 78 %, 82 % і 88 %, відповідно.
Норвегія, Швеція, Швейцарія	Зростання кількості кільцевих розв'язок. Скорочення загальної кількості ДТП за рахунок переобладнання звичайних перехресть на міні-кільцеві розв'язки.

На даний час відсутні критерії оцінювання ефективності саме міні-кільцевих розв'язок, а для їх оцінки використовуються критерії для звичайних кільцевих розв'язок. За результатами аналізу літературних джерел встановлено, що основними критеріями ефективності функціонування

кільцевих розв'язок є: пропускна здатність розв'язки, величина транспортних затримок на розв'язці, рівень аварійності та рівень обслуговування (LOS - Level of Service) [22].

Слід відзначити відмінність вітчизняних і закордонних підходів щодо визначення пропускної здатності кільцевих розв'язок. У відповідності до ДБН [11, 13] пропускна здатність кільцевої розв'язки визначається на основі встановленої пропускної здатності ділянок перестроювання. Основною відмінністю іноземних підходів щодо визначення пропускної здатності є той факт, що в них як основний показник прийнята пропускна здатність на вході (в'їзді) або виході (виїзді) з розв'язки.

В загальному випадку для оцінювання пропускної здатності кільцевих розв'язок російські спеціалісти використовують [23]. Відповідно [16] для попереднього оцінювання пропускної здатності в'їзду на кільцеву розв'язку рекомендовано використовувати наступну залежність [24]

$$P_{вх} = \frac{[1500 - \frac{8}{9}(\beta \cdot N_k + \alpha \cdot N_{вих})]}{y}, \quad (1)$$

де N_k – інтенсивність руху на кільцевій проїжджій частині перед ділянкою виїзду, авт./год.; $N_{вих}$ – інтенсивність на ділянці виїзду, авт./год.; β – коефіцієнт, що враховує кількість смуг руху на кільцевій проїжджій частині; α – коефіцієнт, що враховує умови руху на кільцевій проїжджій частині; y – коефіцієнт, що враховує вплив кількості смуг на вході.

Обмеженим можна вважати американський досвід визначення пропускної здатності, оскільки в [25] розглядається приклад її розрахунку для кільцевої розв'язки з односмуговими підходами. Пропускна здатність входу на розв'язку визначається як

$$c_a = \frac{N_c \cdot e^{-\frac{N_c \cdot t_c}{3600}}}{1 - e^{-\frac{N_c \cdot t_f}{3600}}}, \quad (2)$$

де N_c – інтенсивність руху на кільці, авт./год.; t_c – критичний інтервал, с.; t_f – інтервал слідування з черги другорядного потоку (на вході кільця), с.

Слід відзначити, що проведені за останні роки дослідження дозволили доповнити методика НСМ 2000. Запропоновано емпіричні моделі для оцінювання пропускної здатності входу на односмугову кільцеву розв'язку [26]

$$c_a = a \cdot e^{-b \cdot V_c}, \quad (3)$$

де a, b – параметри моделі.

Важливим є той факт, що залежність (3) може бути відкоригована з урахуванням місцевих даних, які отримуються за результатами натурних обстежень. При цьому уточнюючі параметри визначаються наступним чином [26]

$$a = \frac{3600}{t_f}, \quad (4)$$

$$b = \frac{t_c - t_f}{3600}. \quad (5)$$

Головною основою для розробки підходу щодо визначення пропускної здатності кільцевих розв'язок на австралійських теренах є дослідження J.C. Tanner [27]. Пропускна здатність другорядного напрямку визначається наступним чином

$$q_e = \frac{q_c \cdot (1 - t_p \cdot q_c) \cdot e^{-q_c \cdot (t_c - t_p)}}{1 - e^{q_c \cdot t_f}}, \quad (6)$$

де q_c – інтенсивність руху на кільці, авт./с.; t_p – мінімальний інтервал між транспортними засобами головного потоку, с.

Пізніше R.J. Troutbeck модифікував модель (6) застосувавши розподіл Кована для описання інтервалів у потоці головного напрямку [28]

$$q_e = \frac{3600 \cdot (1 - \Delta) \cdot q_c \cdot e^{-\lambda \cdot (t_c - t_p)}}{1 - e^{-\lambda \cdot t_f}}, \quad (7)$$

де Δ – частка пов'язаної частини потоку головного напрямку (частка транспортних засобів у пачках); λ – параметр розподілу інтервалів у головному потоці;

$$\lambda = \frac{(1-\Delta) \cdot q_c}{1-t_p \cdot q_c}. \quad (8)$$

Британська методика розрахунку пропускної здатності в основному базується на дослідженнях R.M. Kimber [6, 28] і полягає у використанні лінійної регресійної моделі

$$Q_e = F - f_c \cdot Q_c, \quad (9)$$

де Q_e – пропускна здатність на вході кільцевої розв'язки, авт./год.; Q_c – інтенсивність руху на кільці, авт./год.; F, f_c – параметри, що залежать від геометрії розв'язки.

Пізніше R.M. Kimber встановив, що кут входу на кільце і радіус входу на кільце мають незначний вплив на величину пропускної здатності та ввів коефіцієнт корегування, який враховує ці параметри

$$Q_e = k \cdot (F - f_c \cdot Q_c), \quad (10)$$

де k – коефіцієнт корегування;

$$k = 1,151 - 0,00347 \cdot \phi - \frac{0,978}{r}, \quad (11)$$

де ϕ – кут входу на кільце, град.; r – радіус входу на кільце, м.

На відміну від британської, основою німецької методики розрахунку пропускної здатності входу на кільцеву розв'язку є нелінійна регресійна модель [6]

$$Q_e = A \cdot e^{-\frac{B \cdot Q_c}{10000}}, \quad (12)$$

де A, B – параметри, що залежать від планувальних характеристик розв'язки.

Поширення залежності (12) пояснюється її простотою та зручністю практичного використання.

З урахуванням результатів аналізу переваг і недоліків існуючих методик щодо визначення пропускної здатності кільцевих розв'язок фінськими спеціалістами розроблена своя методика [29], відповідно якої пропускна здатність підходу до кільцевої розв'язки визначається за залежністю (13)

$$C_k = \frac{3600 \cdot \left(\sum_{i=1}^n \gamma_i \right) \cdot e^{-\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot (t_{c,i} - t_p)}}{1 - e^{-\sum_{i=1}^n t_f \cdot \gamma_i}} \cdot \prod_{i=1}^n \frac{q_i}{3600 \cdot \gamma_i}, \quad (13)$$

де n – кількість смуг на вході кільця, що розглядається; γ_i – параметр розподілу інтервалів між транспортними засобами головного потоку (розглядається смуга i кільцевої проїжджої частини в місці примикання смуги k входу на кільце); t_p – мінімальний інтервал між транспортними засобами головного потоку, с.; t_c – критичний інтервал, с.; t_f – інтервал слідування із черги в чергу другорядного потоку на смугі k , с.; q_i – інтенсивність руху потоку смуги i кільцевої проїжджої частини в місці примикання полоси k входу на кільце, авт./с.

Для кільцевої розв'язки, входу на яку мають по одній смугі залежність (13) спрощується

$$C_k = \frac{q \cdot e^{-\gamma \cdot (t_c - t_p)}}{1 - e^{-\gamma \cdot t_f}}. \quad (14)$$

Слід відзначити, що в міжнародній практиці передбачається, що в умовах міста пропускна здатність виходу з кільця складає 1200-1300 авт./год. Але при цьому слід враховувати, якщо інтенсивність потоку, який виходить, складає 1200 авт./год. і більше, то необхідні дві смуги руху на виході.

Другим критерієм оцінювання ефективності функціонування різних типів розв'язок є величина транспортних затримок. У відповідності до [11] кільцеві розв'язки мають безперервний, саморегульований, каналізований рух. Затримки транспорту на кільцевих розв'язках із відповідними схемами організації руху є меншими у порівнянні з регульованими перетинами.

Враховуючи умови, за якими проводиться оцінювання вузла, розрахункова швидкість саморегульованої кільцевої розв'язки змінюється відповідно [30]. Найчастіше тривалість транспортних затримок використовується як критерій оптимізації управління рухом на окремих перетинах. Її величина залежить від інтенсивності руху, довжини черги, пропускної здатності, параметрів циклу світлофорного регулювання. Найчастіше для оцінювання використовується середнє значення транспортної затримки на розв'язці, на основі якої встановлюється загальна довжина черги транспортних засобів і сумарні транспортні затримки на розв'язці. Найбільшого розповсюдження для визначення середньої транспортної затримки на регульованій розв'язці отримала формула Вебстера, приклади її використання наведені як в європейських, так і американських дослідженнях. Результати аналізу існуючих підходів розрахунку затримки свідчать, що використання формули Вебстера призводить до значних помилок [31]. У даний час сучасні формули визначення затримок враховують не тільки стан на розв'язці, що розглядається, а також і його вплив на розв'язки, які знаходяться до нього та здатні враховувати вплив адаптивного регулювання на роботу розв'язки.

Слід відзначити, що в закордонних настановах з визначення пропускної здатності різного типу розв'язок [16, 25, 29] також представлені методики щодо визначення середніх затримок транспорту на кільцевих розв'язках. Відповідно до них, основними показниками, від яких залежить величина затримки транспорту на кільці є пропускна здатність входу на кільце та інтенсивність руху на кільці.

Третім критерієм ефективності функціонування кільцевих розв'язок є рівень аварійності. На даний час для оцінювання рівня аварійності на ділянках транспортної мережі можуть використовуватись [22]:

- статистичні методи;
- ймовірнісні методи;
- методи, що засновуються на вивченні режимів і характеристик руху транспортних засобів на ділянці транспортної мережі, для якої проводиться оцінювання;
- метод конфліктних ситуацій.

За організацією руху кільцеві розв'язки є найбільш безпечними, оскільки в даному випадку виключена можливість пересічення транспортних потоків.

Для оцінювання рівня аварійності в містах виявляються місця концентрації ДТП. Ці місця визначаються за статистичними даними про кількість ДТП (не менше ніж за три роки) та розрахунковим значенням показника відносної аварійності. На даний час на теренах України для оцінювання ймовірної кількості ДТП на нерегульованих і кільцевих розв'язках проводиться на основі кількості й типу конфліктних точок і їхніх коефіцієнтів аварійності. Але слід відзначити, що зараз відсутні загальноприйняті методики щодо прогнозування кількості ДТП на ділянках вулично-дорожньої мережі з кільцевим рухом [22].

В даний час проектування транспортних розв'язок регламентується існуючими нормами на проектування доріг і деякими рекомендаціями та до цих пір відсутнє керівництво для визначення рівнів обслуговування транспортних споруд. Рівень обслуговування показує безпеку, комфортність, свободу і швидкість руху (час у дорозі) водія [22, 25, 32]. На даний час в Україні відсутні рекомендації щодо оцінювання LOS. Найбільшого поширення цей показник отримав у США і зараз розповсюджується в європейських країнах.

Відповідно [25] виділяють шість рівнів обслуговування на кільцевих розв'язках (таблиця 3). Умовою віднесення кільцевої розв'язки до того чи іншого LOS є значення середніх транспортних затримок, з урахуванням того, що рівень насичення менше або дорівнює 1. Якщо рівень насичення є більшим за одиницю, то рівень обслуговування (зручність руху) вважається рівним F.

Слід відзначити, що рівні обслуговування доцільно використовувати у вітчизняній практиці проектування для отримання більш чіткого та структурованого розуміння роботи транспортної розв'язки, як ізольованої, так і в мережі в цілому. Також слід розуміти, що LOS не суперечить вітчизняним нормам проектування, а лише доповнює їх. Для оцінки рівня обслуговування транспортних розв'язок можна використовувати інструменти для імітаційного моделювання транспортних потоків, зокрема PTV Vision VISSIM [32].

Класифікація LOS

LOS	Значення середньої затримки, с
A	$d < 10$
B	$10 < d \leq 15$
C	$15 < d \leq 25$
D	$25 < d \leq 35$
E	$35 < d \leq 50$
F	$d > 50$

Висновки. 1. Зарубіжний досвід застосування міні-кільцевих розв'язок свідчить про їх високу ефективність як засобу підвищення безпеки руху, зокрема підвищення безпеки руху пішоходів. При цьому найбільш важливим моментом є зниження кількості ДТП із загиблими і пораненими. 2. Додаткових досліджень потребують особливості проектування міні-кільцевих розв'язок із встановленням розрахункових параметрів для використання у вітчизняній практиці проектування. 3. В якості кількісної оцінки пропускної здатності міні-кільцевої розв'язки в більшості існуючих методик використовується такий показник як пропускна здатність входу на розв'язку. На теренах України дане питання є мало вивченим і потребує детального дослідження з метою визначення найефективнішої та наближеної до реальних умов руху транспорту на міні-кільцевих розв'язках методик розрахунку пропускної здатності та середньої транспортної затримки. 4. Для оцінювання рівня аварійності та рівня обслуговування на етапі проектування міні-кільцевих розв'язок доцільно використовувати пакети транспортного імітаційного моделювання, вибір і обґрунтування яких залежить від ступеня деталізації об'єкту, що розглядається.

Список використаних джерел:

1. Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року [Електронний ресурс] Офіційний веб-портал Верховної Ради України. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/481-2017-%D1%80>.
2. Towards safer roads and healthier transport choices / European status report on road safety. – World Health Organization, 2009. – 161 p.
3. Martin Small Road safety management capacity review and strategy development in Ukraine / Martin Small, Soames Job, Eric Lancelot, Radek Czapski, Yevhen Bulakh, Simon Ellis. – The World Bank, 2016. – 78 p.
4. Топ-8 причин ДТП в Україні [Електронний ресурс] Офіційний сайт 24-го каналу. – Режим доступу : https://24tv.ua/ru/top8_prichin_dtp_v_ukraine_infografika_n772359.
5. Про затвердження Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року [Електронний ресурс] Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. – Режим доступу : <https://mtu.gov.ua/projects/137>.
6. Михайлов А.Ю. Современные кольцевые пересечения : монографія / А.Ю. Михайлов. – Иркутск, 2009. – 103 с.
7. Поздняков М.Н. Совершенствование организации дорожного движения на кольцевых пересечениях : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.10 / М.Н. Поздняков. – Волгоград, 2005. – 23 с.
8. Организация дорожного движения на кольцевых и нерегулируемых пересечениях. Адаптация современных методик проектирования и оценки эффективности нерегулируемых и кольцевых пересечений к российским условиям движения : отчет о научно-исследовательской работе / руководитель А.Г. Левашев. – Иркутск, ИГТУ, 2006. – 30 с.
9. Рейцен Е.А. Проблемы кольцевых пересечений в городах и пути их решения / Е.А. Рейцен, А.Ю. Васильева // Містобудування та територіальне планування. Науково-технічний збірник. – Київ, КНУБА, 2011. – С. 369 – 380.
10. ГБН В.2.3-37641918-555:2016 Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні проектування. – Міністерство інфраструктури України : Київ, 2016. – 58 с.
11. ДБН В.2.3-5-2001 Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів. – Держбуд України : Київ, 2001. – 52 с.
12. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. – Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України : Київ, 2015. – 112 с.
13. ДБН В.2.3-5:2017 Вулиці та дороги населених пунктів [Електронний ресурс] Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Режим доступу :

<http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/building/tech-reg/normuvannia/proekti-budivelnih-norm-dlya-obgovorennya/proekt-dbn-v-2-3-5-2017-vulitsi-ta-dorogi-naselenih-punktiv>.

14. Елугачев П.А. Исследование многообразия схем и нормативов кольцевых пересечений в разных уровнях / П.А. Елугачев, М.А. Елугачев // САПР и ГИС автомобильных дорог. №1 (4) – Томск, 2015. – С. 60-64.

15. СП 34.133330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*.

16. ОДМ 218.2.071-2016 Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. – Издательство ФГУП «Информавтодор», 2016. – 167 с.

17. TD 22/06. DMRB 6.2.1. Layout of Grade Separated Junctions. The highways agency, 2006. - 79 p.

18. NCHRP REPORT 672. Roundabouts: An Informational Guide / Transportation research board of the National Academies. – Washington, D.C., 2010. – 407 p.

19. What roundabout design provides the highest possible safety? //Nordic Road & Transport Research, 2000, № 2, P. 17- 21.

20. Таекраток Т. Modern roundabouts for Oregon. Salem, Oregon: Oregon Department of Transportation, 1998. - 124 p.

21. Аникина И.А. Опыт применения мини-кольцевых в Европе, Аляске и Канаде / И.А. Аникина, Т.К. Балгабеков, Ж.Н. Аубекерова, Н.А. Аубекеров // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 8-5. – С. 841-846.

22. Бондар О.В. Критерії оцінювання інженерно-планувальних рішень перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту / О.В. Бондар // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2016. – Вип. № 65. – С. 3-9.

23. ОДМ 218.2.020-2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог». - М.: Росавтодор, 2012. – 141 с.

24. John van Rijn Road Capacities / John van Rijn. – INDEVELOPMENT, Edition 2004. – 18 p.

25. Highway Capacity Manual 2000 //Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. 2000. – 1134 p.

26. Drago Sever Traffic engineering Highway Capacity Manual 2010 (Interrupted traffic flow) [Електронний ресурс] Офіційний сайт Faculty of Technical Sciences of «St. Kliment Ohridski» University, Bitola. – Режим доступу : http://www.tfb.edu.mk/files/Attachment/4_Interrupted_flow_HCM_2010.pdf.

27. Tanner J.C. A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection / J.C. Tanner. - Biometrika 49 (1 and 2), 1962. – P. 163-170.

28. Troutbek R.J. Does gap acceptance theory adequately predict the capacity of a roundabout? / R.J. Troutbek // Proceedings 12th Australian Road Research Board Conference 12 (4), 1984. – 62-75 pp.

29. Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections // Finnra Reports, 2004. – 214 p.

30. Осетрін М.М. Міські дорожньо-транспортні споруди: навчальний посібник для студентів ВНЗ / М.М. Осетрін. – К.: ІЗМН, 1997. – 196 с.

31. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учебное пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.

32. Уровень обслуживания (LoS) транспортной развязки [Електронний ресурс] Офіційний сайт освітнього журналу Transspot.ru. – Режим доступу : <http://transspot.ru/2013/06/12/uroven-obslyzhvaniya-los-transportnoj-razvyazki>.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018

УДК 621.86

О.Л. Ляшук¹, А.Є. Дячун¹, М.Б. Сокіл², В.М. Клендій¹, Л.М. Слободян¹¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя²Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна**НЕЛІНІЙНІ КОЛИВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ВІТКИ ЗАВАНТАЖУВАЧА–ЗМІШУВАЧА ІЗ
УРАХУВАННЯМ РУХУ ВЗДОВЖ НЬОГО ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ**

Приведена конструкція гвинтового завантажувача-змішувача і досліджено питання нелінійних коливань вертикальної вітки робочого органу цього завантажувача. Визначальним параметром динаміки робочого гвинта завантажувача-змішувача є амплітуда та частота його нелінійних коливань. Закони зміни вказаних параметрів визначаються геометричними, фізико-механічними властивостями його матеріалу, швидкістю руху вздовж нього зернової суміші, кутною швидкістю його обертання та зовнішніми чинниками (силами опору та зовнішніми періодичними силами). Виведено залежність нелінійних коливань, за різних значень швидкості руху зернової суміші, її погонної маси, різних куткових швидкостей обертання вертикального робочого органу за різних частотах зовнішнього збурення.

Ключові слова: амплітуда, гвинтова спіраль, гвинтовий завантажувач-змішувач, коливання.

А.Л. Ляшук¹, А.Е. Дячун¹, М.Б. Сокил², В.М. Клендий¹, Л.М. Слободян¹¹Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя²Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина**НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВЕТКИ ЗАГРУЗЧИК-СМЕСИТЕЛЯ С
УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ ВДОЛЬ НЕГО ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ**

Приведена конструкція винтового загрузчика-смесителя и исследован вопрос нелинейных колебаний вертикальной ветки рабочего органа этого загрузчика. Определяющим параметром динамики рабочего винта загрузчика-смесителя является амплитуда и частота его нелинейных колебаний. Законы изменения указанных параметров определяются геометрическими, физико-механическими свойствами его материала, скоростью движения вдоль него зерновой смеси, угловой скоростью его вращения и внешними факторами (силами сопротивления и внешними периодическими силами). Выведены зависимость нелинейных колебаний, при различных значениях скорости движения зерновой смеси, ее погонной массы, различных угловых скоростей вращения вертикального рабочего органа при различных частотах внешнего возмущения.

Ключевые слова: амплитуда, винтовая спираль, винтовой загрузчик-смеситель, колебания.

O. Lyashuk¹, A. Dyachun¹, M. Sokil², V. Klendii¹, L. Slobodyan¹¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University²National Lviv Polytechnic University, Lviv, Ukraine**NONLINEAR OSCILLATIONS OF A LOADER-MIXER VERTICAL BRANCH WITH
CONSIDERATION OF MULTIPLE MOVEMENT OF GRAIN MIXTURE**

The design of a screw loader-mixer is presented. The nonlinear oscillations of the working body vertical branch are studied. The defining parameter of the dynamics of a mixer-loader working screw is the amplitude and frequency of its nonlinear oscillations. The laws of changing the given parameters are determined by the geometric, physical and mechanical properties of its material, the velocity of grain mixture moving along it, the angular velocity of its rotation, and external factors (forces of resistance and external periodic forces). The dependence of nonlinear oscillations is developed with consideration of the different values of the speed and the linear mass of grain mixture, as well as the angular velocities of the rotation of the vertical working body at different frequencies of external perturbation.

Key words: amplitude, screw spiral, screw loader-mixer, oscillations.

Постановка проблеми. Технічні засоби неперервного транспортування сипких матеріалів є основою комплексної механізації завантажувально-розвантажувальних робіт, які підвищують продуктивність та ефективність виробничих процесів.

Питома вага гвинтових конвеєрів у завантажувально-розвантажувальних роботах більшості будівельних, дорожніх, сільськогосподарських, переробних та інших машин, яка складає близько 40-50%.

Відомо, що найбільш небезпечними режимами експлуатації машин та обладнання є резонансні коливання. Вони характеризуються значним ростом амплітуди коливань, а значить і динамічних навантажень. Тому вказані режими роботи значною мірою зменшують експлуатаційні терміни машини. Якщо в окремих випадках не вдається уникнути резонансних явищ, то намагаються за рахунок вибору параметрів системи забезпечити мінімальний ріст амплітуди під час переходу через резонанс. Тому питання дослідження резонансних коливань має актуальне значення для удосконалення їх конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Взаємодію шнекових механізмів з сільськогосподарськими матеріалами, а також вибір раціональних параметрів ГТТМ і режимів їх роботи, досліджували М.П. Василенко [3], Б.М. Гевко [5], Р.Б. Гевка [18-20], Р.М. Рогатинський [21], В.Л. Куликівський [12] та інші. Проблема визначення раціональних режимів роботи та конструктивних параметрів ГТТМ присвячені роботи Р.Л. Зенкова [10], А.М. Григорєва [7], Г.А. Хайліса [22], І.М. Хорольського [23].

Питаннями обґрунтування параметрів коливань механічних систем присвячені праці І.М. Бабакова [1], О.А. Горошко [6], П.Д. Доценка [9], М.П. Мартинцева [13], С.М. Нікіфорова [16], Ю.А. Митропольського [14], М.М. Боголюбова [2], та інші. Однак питання, які стосуються удосконалення конструкцій самих гвинтових механізмів і їх робочих органів, потребують подальшого дослідження.

Постановка завдань. В роботі представлено мету - дослідити нелінійні коливання вертикальної вітки робочого органу завантажувача-змішувача.

Викладення основного матеріалу Нами розроблена конструкція гвинтового завантажувача-змішувача (рис.1) [18], який виконано у вигляді рами 1, на якій встановлено завантажувальний горизонтальний 2 і вертикальний 3 циліндричні кожухи з гвинтовими робочими органами горизонтальними 4 і вертикальними 5 з приводами 6 з запобіжними муфтами. Причому горизонтальний кожух 2 встановлена під кутом 2-5° до горизонту в сторону подачі сипкого матеріалу, а нижній кінець вертикального кожуха 3 встановлено у вільну зону горизонтального кожуха 2. Горизонтальна завантажувальна секція гвинтового робочого органу виконана у вигляді гвинтових гофрів 7 для покращення процесу змішування сипких матеріалів. Вертикальний гвинтовий робочий орган 5 виконано Г-подібної форми, причому співвідношення горизонтальної полицки до вертикальної становить в межах 2-7 мм, при мінімальній величині вертикальної полицки 2-4мм.

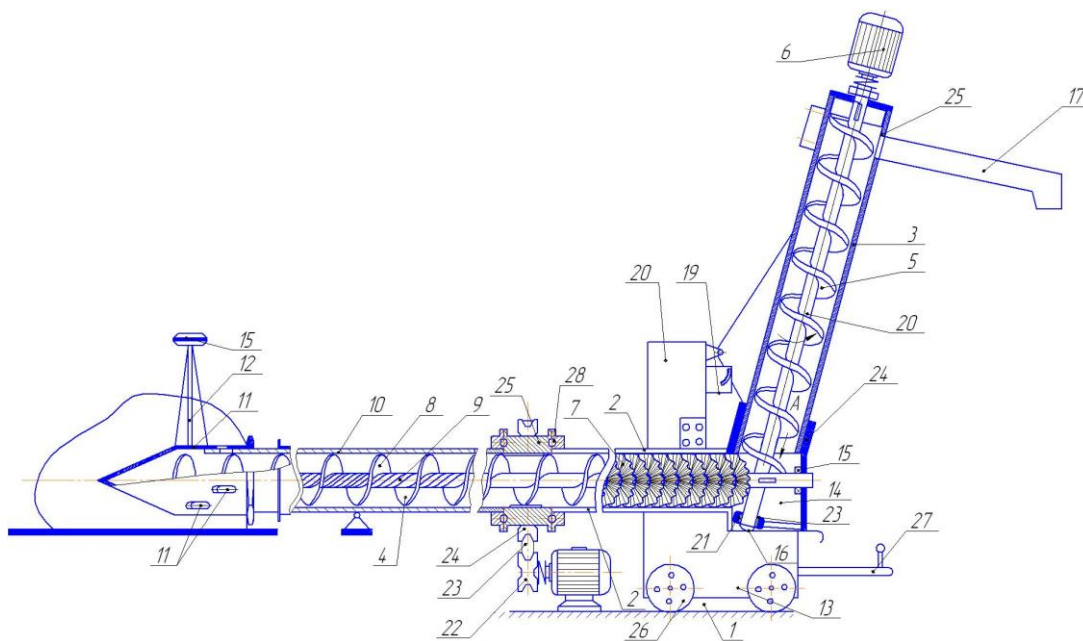


Рис. 1. Конструкція гвинтового завантажувача-змішувача [18]

До кінця горизонтального завантажувального робочого органу секції 4 жорстко приєднана гнучка гвинтова спіраль 8 з гнучким валом 9 і з гнучким кожухом 10 для збільшення зони завантаження гвинтового конвеєра. На кінці гнучкого циліндричного кожуха 10 жорстко встановлено циліндричний наконечник 11 з конічним кінцем для зручності його введення в купу сипкого матеріалу. Наконечник 11 забезпечує не попадання великих кусків в зону транспортування, які можуть спричинити його поломку і сприяє кращому пересипанню сипких матеріалів в зону транспортування, який виконано у вигляді циліндричних елементів з осьовими пазами, шириною більшою у 2-6 разів самих більших зернин транспортних матеріалів.

Наконечник 11 жорстко прикріплений до рукоятки 12 з можливістю їх переустановлення в інше місце, коли з одного місця купи сипкого матеріалу вибрано певну кількість матеріалу, а зона

вивантаження горизонтальної секції 2 розміщена в півкруглому корпусі підставки 14 і утворюють сприятливу об'ємну зону 15, в якій встановлено нижній кінець вертикальною гвинтового робочого органу 5 для вільного транспортування матеріалів вертикальним гвинтовим робочим органом. В зоні правого кінця горизонтального циліндричного кожуха 2 поза його зоною виконана опора циліндрична 14. Завантажувач-змішувач оснащений заслінкою 16 відомої конструкції для кінцевого його очищення після завершення технологічного процесу.

На виході вертикального кожуха 3 жорстко встановлено вивантажувальний лоток 17 для транспортування сипких матеріалів в ємність або кузов машини 18. Вертикальний кожух 3 жорстко встановлено в механізм регулювання кута його нахилу до горизонту 19 відомої конструкції, а до рами 1 жорстко закріплено пульт керування 20.

Вал вертикального гвинтового робочого органу 5 знизу встановлено в упорний сферичний підшипник 21 з можливістю кругового провертання в ємності 15 і зміни кута нахилу відомої конструкції, який по зовнішньому діаметру виконано циліндричної форми, який є у жорсткій взаємодії з внутрішньою циліндричною поверхнею нижньої частини кожуха 3. Зверху підшипник закритий ущільнюючим диском. Крім цього вертикальний вивантажувальний лоток 17 є у взаємодії з зовнішнім діаметром вертикального жолоба 3 в зоні вивантаження сипких матеріалів через гумову прокладку відомої конструкції, яка створює відповідне тертя і сприяє жорсткому утримуванню вивантажувального лотка 17.

Центральний привід механізму 22 встановлений на рамі 1 по середині довжини горизонтальної секції і за допомогою передачі 23 і зірочки 24 передається на корпус 25 і горизонтальний гвинтовий робочий орган 2. Плоскі гвинтові секції центрального приводу жорстко встановлені на валу і приварені до корпусу 25, а його вал є у взаємодії з основним валом 4 через шліци відомим способом і є його приводом. Крім цього завантажувач-змішувач встановлено на підставку 14 з опорними колесами 26 з гальмівними елементами і рукояткою його переміщення 27. Крім цього корпус 24 центрується кульками 28, а гвинтові гофровані елементи 7 жорстко встановлені на валу, який є у взаємодії з основним горизонтальним валом 2 через шліци відомим способом.

Робота завантажувача-змішувача гвинтового типу здійснюється наступним чином. Кінець гнучкої спіралі 8 з гнучким кожухом 10 з наконечником 11 вводять в купу сипкого матеріалу 29 разом з рукояткою 13. Після цього включають привід за допомогою пульта керування 20. За допомогою гнучкої спіралі 8 сипкий матеріал переміщується по горизонтальній трасі в жолобі 2 за допомогою плоских гвинтових елементів корпусу 25, де він інтенсивно змішується гвинтовим гофрованим робочим органом 7 і подається в зону вивантаження об'ємного збірника циліндричної форми і звідси вертикальним гвинтовим робочим органом 5 в зону вивантаження і вивантажувальний лоток 17 і в ємність для збору матеріалу (кузов машини) 18 або різного типу тари. В разі вибору сипкого матеріалу з даної зони, завантажувальну секцію за допомогою рукоятки 13 переставляють в нове місце.

На відміну від горизонтальної вітки завантажувача-змішувача, вертикальна, як було наголошено, вище здійснює більш складний – просторовий рух. Тому, положення довільно виділеного елемента треба визначати двома функціями лінійної та часової змінних. Щодо лінійної змінної x_1 , то вона вибирається подібним чином як і для горизонтальної вітки – співпадає із лінією серединних нормальних перерізів. Початок вказаної координати відраховується від нижнього кінця розглядуваної вітки завантажувача-змішувача. Таким чином, положення довільно виділеного елемента вертикальної вітки фіксуватимемо двома функціями: $\xi(t, x_1)$, та $\zeta(t, x_1)$. Щодо сил, які діють на довільно виділений елемент, то це сили аналогічні до сил, які діють на горизонтальну віку завантажувача-змішувача та додатково гіроскопічний момент і вертикальна сила.

Таким чином, для довільного елемента вертикальної вітки має місце:

- сила інерції переносного руху елемента разом із зерною сумішшю

$$d\Phi = \omega_1^2 (\rho + m) \left(u(x_1, t) j_1^r + w(x_1, t) k_1^s \right) dx_1 \quad (1)$$

- гіроскопічний момент

$$M_{cip}^r = 2\rho I \left[\omega_1^r \frac{\partial^2 \xi}{\partial t \partial x_1} j_1^r - \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t \partial x} k_1^r \right], \quad \omega_1^r = \omega_1^i j_1^i. \quad (2)$$

- сила інерції зернової суміші у відносному русі та кориолісова сила інерції елемента завантажувача-змішувача

$$\begin{bmatrix} 2m_1 \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial t \partial x_1} u_1 - \omega_1 \frac{\partial \zeta}{\partial t} \frac{\partial \zeta}{\partial x_1} + 0.5u_1^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x_1^2} \frac{\partial \zeta}{\partial x_1} \right) \\ 2m_1 \left(V \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t \partial x_1} - \omega_1 \frac{\partial \xi}{\partial t} \frac{\partial \xi}{\partial x_1} + 0.5u_1^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x_1^2} \frac{\partial \zeta}{\partial x_1} \right) \end{bmatrix} \begin{matrix} \mathbf{r}_i \\ \mathbf{j}_i \end{matrix} + 2(\rho_1 + m_1) \omega_1 \frac{\partial \zeta}{\partial t} \begin{matrix} \mathbf{r}_i \\ \mathbf{j}_i \end{matrix} \quad (3)$$

- стискуюча сила

$$-N(x_1) \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x_1^2} \vec{i}_1 + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x_1^2} \vec{j}_1 \right) \quad (4)$$

Наведене у сукупності дозволяє диференціальні рівняння згинних коливань вертикальної вітки завантажувача-змішувача подати у вигляді

$$\begin{aligned} L_1(\xi, \zeta) &= (\rho_1 + m_1) \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} + 2m_1 \left(u_1 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t \partial x_1} - \omega_1 \frac{\partial \zeta}{\partial t} \frac{\partial \zeta}{\partial x_1} \right) - 2(\rho_1 + m_1) \omega_1 \frac{\partial \zeta}{\partial t} - \\ &- \left(N(x_1) - m_1 u^2 \right) \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} - 2(\rho_1 + m_1) I \Omega \frac{\partial^3 \zeta}{\partial t \partial x_1^2} + E_1 I_1 \frac{\partial^4 \xi}{\partial x_1^4} - (\rho_1 + m_1) \omega_1^2 \xi = \\ &= \mu f \left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x_1^4} \right) \quad (5) \\ L_2(\xi, \zeta) &= (\rho_1 + m_1) \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + 2m_1 \left(u_1 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t \partial x_1} + \omega_1 \frac{\partial \xi}{\partial t} \frac{\partial \xi}{\partial x_1} \right) + 2(\rho_1 + m_1) \omega_1 \frac{\partial \xi}{\partial t} - \\ &- \left(N(x_1) - m_1 u^2 \right) \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + 2(\rho_1 + m_1) I_1 \Omega_1 \frac{\partial^3 \zeta}{\partial t \partial x^2} + E_1 I_1 \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x_1^4} - (\rho_1 + m_1) \omega_1^2 \zeta = \\ &= \mu g_1 \left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x_1^4} \right). \end{aligned}$$

Примітки.

1. У залежностях (9) збережено всі інші позначення $f \left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x_1^4} \right)$ та

$g \left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x_1^4} \right)$ - функції, які описують нелінійні складові сил, їх значення є значно меншим від значення відновлюючої сили, на що вказує малий параметр;

2. Виходячи із змісту цих функцій впливає, що $f \left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x_1^4} \right) = g \left(\zeta, \xi, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \xi}{\partial x_1^4} \right)$

3. Зернова суміш, яка рухається вздовж вертикальної вітки завантажувача-змішувача не впливає на його згинну жорсткість;

4. Виходячи із фізичних міркувань та природи переміщень горизонтальної вітки гіроскопічним моментом у математичній моделі її руху знехтувано.

Щодо крайових умов для отриманої системи диференціальних рівнянь (4), то вони узгоджуються із умовами руху пружного тіла: у точках $x_1 = 0$ (початок) та $(x_1 = l_1)$ (кінець) - відсутні переміщення у напрямку перпендикулярному до недеформованої осі робочого органу. Останнє еквівалентно наступним співвідношенням

$$\xi(t, x_1) \Big|_{x_1=j} = \frac{\partial^2 \xi}{\partial x_1^2} \Big|_{x_1=j} = 0, \quad \zeta(t, x_1) \Big|_{x_1=j} = \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x_1^2} \Big|_{x_1=j} = 0, \quad j = 0, l_1. \quad (6)$$

Отже, для дослідження динаміки вертикальної вітки завантажувача-змішувача необхідно побудувати асимптотичне наближення розв'язку крайової задачі (5), (6). Зупинимось на першому його наближенні, яке дає зручні для інженерних розрахунків залежності. Вказане і є предметом розгляду наступного підрозділу роботи.

Враховуючи застереження (обмеження), висловлені у зауваженні, для побудови розв'язку крайової задачі (5), (6) перш за все розглянемо її незбурений аналог, тобто систему рівнянь

$$\begin{aligned} & (\rho_1 + m_1) \frac{\partial^2 \xi_0}{\partial t^2} - 2(\rho_1 + m_1) \omega_1 \frac{\partial \xi_0}{\partial t} - N_1 \frac{\partial^2 \xi_0}{\partial x^2} - \\ & - 2(\rho_1 + m_1) I_1 \omega_1 \frac{\partial^3 \xi_0}{\partial t \partial x^2} + E_1 I_1 \frac{\partial^4 \xi_0}{\partial x^4} - (\rho_1 + m_1) \omega_1^2 \xi_0 = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & (\rho_1 + m_1) \frac{\partial^2 \zeta_0}{\partial t^2} + 2(\rho_1 + m_1) \omega_1 \frac{\partial \zeta_0}{\partial t} - N_1 \frac{\partial^2 \zeta_0}{\partial x^2} + \\ & + 2(\rho_1 + m_1) I_1 \omega_1 \frac{\partial^3 \zeta_0}{\partial t \partial x^2} + E_1 I_1 \frac{\partial^4 \zeta_0}{\partial x^4} - (\rho_1 + m_1) \omega_1^2 \zeta_0 = 0 \end{aligned}$$

за крайових умов

$$\xi_0(t, x_1) \Big|_{x_1=j} = \frac{\partial^2 \xi_0}{\partial x_1^2} \Big|_{x_1=j} = 0, \quad \zeta_0(t, x_1) \Big|_{x_1=j} = \frac{\partial^2 \zeta_0}{\partial x_1^2} \Big|_{x_1=j} = 0. \quad (8)$$

Доведемо, що розв'язки незбурених рівнянь (7) можна трактувати як накладання хвиль - прямої та відбитої, тобто

$$\begin{aligned} \xi_0(t, z) &= a \cos(\kappa_1 x_1 + \Omega_1 t + \psi) + b \cos(\kappa_1 x_1 - \Omega_1 t - \varphi), \\ \zeta_0(t, z) &= c \sin(\kappa_1 x_1 + \Omega_1 t + \psi) + d \sin(\kappa_1 x_1 - \Omega_1 t - \varphi), \end{aligned} \quad (9)$$

де a, b, c, d - амплітуди вказаних хвиль, κ_1 та Ω_1 відповідно їх хвильові числа та частота, φ, ψ - початкові фази.

Система диференціальних рівнянь (7) буде справджуватись за умов, що невідомі функції мають вигляд (9), у випадку, коли мають місце дисперсійні співвідношення

$$\begin{aligned} & (\rho_1 + m_1) \omega_1^2 + 2 \frac{c}{a} (\rho_1 + m_1) \Omega_1 \omega_1 - N_1 \kappa_1^2 - 2 \frac{c}{a} (\rho_1 + m_1) I_1 \kappa_1^2 \Omega_1 \omega_1 - \\ & - E_1 I_1 \kappa_1^4 + (\rho_1 + m_1) \Omega_1^2 = 0, \\ & (\rho_1 + m_1) \omega_1^2 - 2 \frac{d}{b} (\rho_1 + m_1) \Omega_1 \omega_1 - N_1 \kappa_1^2 + 2 \frac{d}{b} (\rho_1 + m_1) I_1 \Omega_1 \kappa_1^2 \omega_1 - \\ & - E_1 I_1 \kappa_1^4 + (\rho_1 + m_1) \Omega_1^2 = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Система диференціальних рівнянь (7) є лінійною зі сталими коефіцієнтами, тому хвильове число та частота динамічного процесу не залежать від амплітуди хвиль. Це означає що складові амплітуд прямих та відбитих хвиль є однакові, тобто $|a| = |c|$ та $|d| = |b|$. До того ж залежності (9) повинні задовольняти крайові умови (6). Вказані співвідношення повинні виконуватись для довільного моменту часу. Наведене буде мати місце, якщо $\varphi = \psi$, $\kappa_k = \frac{k\pi}{l}$, $|a| = |d|$. Таким чином, шукані одночастотні розв'язки незбурених рівнянь набувають вигляду

$$\begin{aligned} \xi_{0k}(t, x_1) &= a_k (\cos(\kappa_k x + \Omega_k t + \varphi_k) - \cos(\kappa_k x - \Omega_k t - \varphi_k)) \\ \zeta_{0k}(t, x) &= a_k (\sin(\kappa_k x + \Omega_k t + \varphi_k) + \sin(\kappa_k x - \Omega_k t - \varphi_k)). \end{aligned} \quad (11)$$

Їм відповідає дисперсійне співвідношення

$$(\rho_1 + m_1) \{ \Omega_k^2 + 2\omega_1 \Omega_k (1 - I_1 \kappa_k^2) + \omega_1^2 \} + N_1 \kappa_k^2 - E_1 I_1 \kappa_k^4 = 0 \quad (12)$$

Дисперсійне співвідношення (16) визначає частоту власних згинних коливань робочого органу завантажувача-змішувача залежністю

$$\Omega_k = \omega_1 (I_1 \kappa_k^2 - 1) \pm \kappa_k \sqrt{\omega_1^2 I_1 (\kappa_k^2 I_1 - 2) + \frac{E_1 I_1 \kappa_k^2 - N_1}{\rho_1 + m_1}}. \quad (12)$$

Отримані результати служать базою визначення впливу нелінійних та періодичних сил, а також руху зернової маси на динамічний процес. Нижче на базі основної ідеї методу Ван-дер-Поля

[12] будуть отримані розрахункові залежності для отримання впливу на амплітуду та частоту коливань вертикального робочого органу вказаних чинників. За базові співвідношення для їх визначення будемо вибирати співвідношення, які описують одночастотний динамічний процес для незбуреного руху. За основну форму коливань прийматимемо першу його форму, а для простоти запису індекс, який вказує на вказане опустимо. Таким чином, перше наближення збуреного руху будемо шукати у вигляді

$$\begin{aligned} \xi(t, x_1) &= a(t) \left(\cos(\kappa x_1 + \Omega t + \phi(t)) - \cos(\kappa x_1 - \Omega t - \phi(t)) \right) \\ \zeta(t, x) &= a(t) \left(\sin(\kappa x_1 + \Omega t + \phi(t)) + \sin(\kappa x - \Omega t - \phi(t)) \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Амплітуда та фаза динамічного процесу змінюються в часі з невідомими в часі законами і закони визначаються початковими умовами та правими частинами рівнянь (4). Шляхом диференціювання для збуреного руху маємо

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi(t, x_1)}{\partial t} &= -a(\omega + \frac{d\phi}{dt}) (\sin(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) + \sin(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) + \\ &+ \frac{da}{dt} (\cos(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) - \cos(\kappa x - \Omega t - \phi)), \\ \frac{\partial \zeta(t, z)}{\partial t} &= a(\Omega + \frac{d\phi}{dt}) (\cos(\kappa x_1 + \omega t + \phi) - \cos(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) + \\ &+ \frac{da}{dt} (\sin(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) + \sin(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)). \end{aligned} \quad (14)$$

Базова ідея методу Ван-дер-Поля дозволяє із (14) отримати

$$\begin{aligned} &-a \frac{d\phi}{dt} (\sin(\kappa x + \omega t + \phi) + \sin(\kappa x - \omega t - \phi)) + \\ &+ \frac{da}{dt} (\cos(\kappa x + \omega t + \phi) - \cos(\kappa x - \omega t - \phi)) = 0, \\ &a \frac{d\phi}{dt} (\cos(\kappa x + \omega t + \phi) - \cos(\kappa x - \omega t - \phi)) + \\ &+ \frac{da}{dt} (\sin(\kappa x + \omega t + \phi) + \sin(\kappa x - \omega t - \phi)) = 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Подальшим диференціюванням за часом із урахуванням наведеного маємо

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi(t, x_1)}{\partial t^2} &= -\frac{da}{dt} \Omega (\sin(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) + \sin(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) + \\ &+ a \Omega (\frac{d\phi}{dt} + \Omega) (\cos(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) - \cos(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)), \\ \frac{\partial^2 \zeta(t, x)}{\partial t^2} &= \frac{da}{dt} \Omega (\cos(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) - \cos(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) - \\ &- a \Omega (\frac{d\phi}{dt} + \Omega) (\sin(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) + \sin(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)). \end{aligned} \quad (16)$$

Для першого наближення представлення розв'язку у формі (15) буде задовольняти базовій системі диференціальних рівнянь, яка описує динаміку вертикального робочого органу завантажувача-змішувача, якщо невідомі параметри $a(t)$ та $\phi(t)$ зв'язані системою звичайних диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} &-\frac{da}{dt} \Omega (\sin(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) + \sin(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) + a \Omega \frac{d\phi}{dt} (\cos(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) - \\ &\quad - \cos(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) = \mu \tilde{f}(a, x_1, \psi), \\ &-a \frac{d\phi}{dt} (\sin(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) + \sin(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) + \frac{da}{dt} (\cos(\kappa x_1 + \omega t + \phi) - \cos(\kappa z - \Omega t - \phi)) = 0, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\frac{da}{dt} \Omega (\cos(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) - \cos(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) - a \Omega \frac{d\phi}{dt} (\sin(\kappa x_1 + \Omega t + \phi) + \sin(\kappa x_1 - \Omega t - \phi)) = e \mathcal{F}(a, x_1, y),$$

де $\mathcal{F}(a, x_1, y)$ та $\mathcal{G}(a, x_1, y)$ відповідають значенням функцій

$$f(\dots) = 2\rho_1 u_1 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t \partial x_1} + \rho_1 u^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x_1^2} \text{ та } g(\dots) = 2\rho_1 u_1 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t \partial x_1} + \rho_1 u_1^2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x_1^2} \text{ за умови, що в них функції } \xi(x_1, t), \zeta(x_1, t) \text{ та їх похідні знаходяться відповідно до (13) та (14).}$$

Легко перевірити наступне: у випадку коли праві частини диференціальних співвідношень (5) є неперервними функціями та задовольняють умовам

$$f\left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \xi}{\partial x_1^4}\right) = g\left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \xi}{\partial x_1^4}\right), \text{ а функції } \xi(x_1, t) \text{ і } \zeta(x_1, t) \text{ є}$$

одночастотними розв'язками крайової задачі (11), (12), то мають місце залежності

$$\begin{aligned} & \int_0^{l_1} \int_0^{2\pi} \mathcal{F}(a, x_1, \theta) (\sin(\kappa x_1 + \theta) + \sin(\kappa x_1 - \theta)) dx_1 d\theta = \\ & = \int_0^{l_1} \int_0^{2\pi} \mathcal{G}(a, x_1, \psi) (\cos(\kappa x_1 + \theta) - \cos(\kappa x_1 - \theta)) dx_1 d\theta, \\ & \int_0^{l_1} \int_0^{2\pi} \mathcal{F}(a, x_1, \theta) (\cos(\kappa x_1 + \theta) - \cos(\kappa x_1 - \theta)) dx_1 d\theta = \\ & = \int_0^{l_1} \int_0^{2\pi} \mathcal{G}(a, x_1, \theta) (\sin(\kappa x_1 + \theta) + \sin(\kappa x_1 - \theta)) dx_1 d\theta, \end{aligned} \quad (18)$$

де $\theta = \Omega t + \phi$.

Із системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно похідних шуканих функцій (17), із урахуванням (18) отримуємо співвідношення, для визначення амплітуди та частоти динамічного процесу вертикального робочого органу завантажувача-змішувача

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\frac{1}{4\pi\Omega l_1 (\rho_1 + m_1)} \int_0^{l_1} \int_0^{2\pi} \hat{f}(a, x_1, \theta) (\cos(\kappa x_1 + \theta) - \cos(\kappa x_1 - \theta)) d\theta dx_1, \\ \frac{d\theta}{dt} &= \Omega + \frac{1}{4\pi\Omega l_1 (\rho_1 + m_1)} \int_0^{l_1} \int_0^{2\pi} \hat{f}(a, x_1, \theta) (\sin(\kappa x_1 + \theta) + \sin(\kappa x_1 - \theta)) d\theta dx_1, \end{aligned} \quad (19)$$

де

$$\hat{f}(a, x_1, \theta) = \mathcal{F}(a, x_1, \theta) + 2\rho_1 a \kappa u_1 (\cos(\kappa x_1 + \theta) - \cos(\kappa x_1 - \theta)) + M \kappa^3 (\sin(\kappa x_1 + \theta) + \sin(\kappa x_1 - \theta)).$$

Зокрема, у випадку, якщо матеріал пружного тіла задовольняє нелінійному технічному закону пружності, а сила опору пропорційна швидкості у степені s , то функції

$$f\left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \xi}{\partial x_1^4}\right) \text{ та } g\left(\xi, \zeta, \frac{\partial \xi}{\partial t}, \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \frac{\partial \xi}{\partial x_1}, \frac{\partial \zeta}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial^4 \xi}{\partial x_1^4}\right) \text{ приймають вигляд}$$

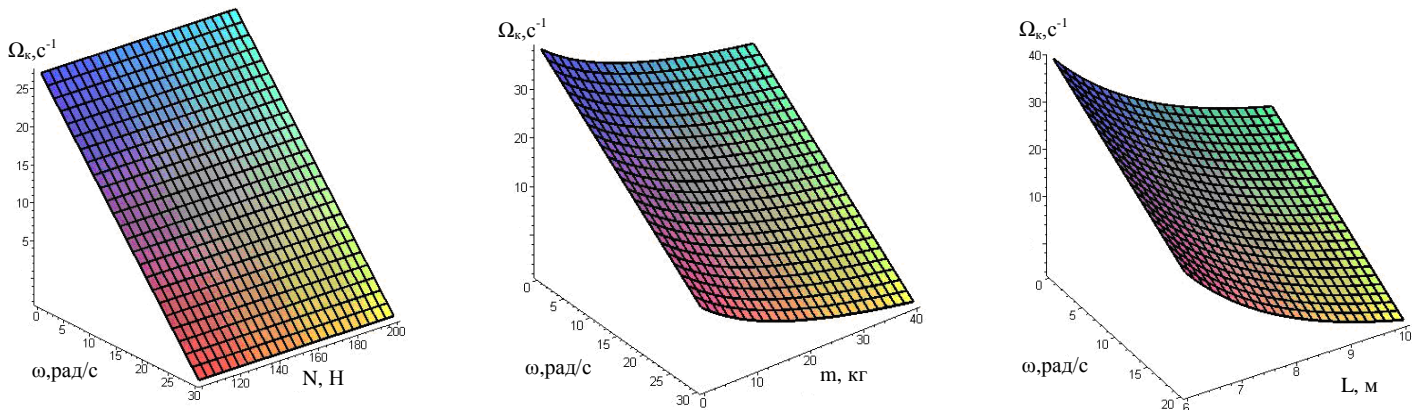
$$f(\dots) = k_1 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x_1^2} \right)^3 + \delta_1 \left(\frac{\partial \xi}{\partial t}(x_1, t) \right)^s \text{ і } g(\dots) = k_1 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x_1^2} \right)^3 + \delta_1 \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t}(x_1, t) \right)^s.$$

Загальне співвідношення (19) дозволяє, для вказаного випадку визначити закони зміни амплітуди та фази коливань робочого органу у вигляді

$$\frac{da}{dt} = -\frac{\bar{\delta}}{m_1 + \rho_1} (\Omega)^{s-1} a^s, \quad (20)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \Omega - \frac{9\mu\kappa_1\kappa^8}{8\pi(\rho_1 + m_1)l_1\Omega} a^2 - \frac{\rho_1\kappa^2}{8\pi(\rho_1 + m_1)l_1\Omega} u_1^2.$$

На рис. 2 представлено залежність частоти власних коливань вертикальної вітки завантажувача-змішувача від кутової швидкості обертання робочого органу, погонної маси зернової суміші, стискуючого зусилля.



а)- $l = 8\text{ м}, \rho = 20\text{ кг / м}, m = 20\text{ кг / м}$

б)- $l = 8\text{ м}, \rho = 20\text{ кг / м}, N = 200\text{ Н}$

в)- $l = 8\text{ м}, \rho = 20\text{ кг / м}, m = 40\text{ кг / м}$

Рис. 2. Залежність частоти власних поперечних коливань вертикальної вітки завантажувача-змішувача від: кутової швидкості обертання робочого органу та поздовжньої стискуючої сили-а); кутової швидкості обертання робочого органу та погонної маси зернової суміші –б); кутової швидкості обертання робочого органу та довжини вертикальної вітки - в)

Висновок.

Встановлено особливості динаміки вертикальної вітки завантажувача-змішувача, які значною мірою не відрізняються від горизонтальної у частині впливу погонної маси зернової суміші, швидкості її руху, кутової швидкості руху робочого органу. Щодо впливу поздовжньої стискаючої сили на власну частоту, а відтак на амплітуду збурених коливань, то більшою мірою проявляється для вертикальних робочих органів для більших довжин.

Список використаної літератури.

1. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. - М.: Наука, 1965. – 560 с.
2. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский/ - М.: Наука, 1974. - 501 с.
3. Василенко П.М. Механизация и автоматизация процессов приготовления и дозирования кормов / П.М. Василенко, И.И. Василенко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 224 с.
4. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатынский. – Львов: Вища школа, 1989. – 176 с.
5. Горошко О.А. О продольных колебаниях балки с подвижным экипажем / О.А. Горошко // Прикладная механика. - 1978. - №8. – С.70-78.
6. Григор'єв А.М. Комплексна механізація і автоматизація вантажорозвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні / А. М. Григор'єв, П. А. Преображенський. – К.: Наукова думка, 1967. – 116 с.
7. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры / А.М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
8. Доценко П.Д. О колебаниях и устойчивости прямолинейного трубопровода / Доценко П.Д. // Прикладная механика. – 1971. - Вип. 3. - С.85- 91.
9. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
10. Каудерер Г. Нелинейная механика / Г. Каудерер // пер. с нем. Я.Г. Пановко. - М.: ИЛ, 1961.- 777 с.

11. Куликівський В.Л. Розробка гвинтових транспортерів з підвищеним ресурсом для зерноочисних машин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби сільськогосподарського виробництва» / В.Л. Куликівський. – Вінниця, 2012. – 20 с.
12. Мартинців М.П. Одне узагальнення методу Д'Аламбера для систем, які характеризуються позовжнім рухом / М.П. Мартинців, М.Б. Сокіл // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. - Львів: УДЛТУ, 2003. - Вип. 13.4.- С. 64-67.
13. Митропольский Ю.А. Асимптотические решения уравнений в частных производных / Ю.А. Митропольский., Б.И. Мосеевков. - Киев: Вища школа, 1976.- 84 с.
14. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики: учеб, пособие для ун-тов / Н.Н. Моисеев. - М.: Наука, 1981. – 400 с.
15. Никифоров С.Н. Сопротивление материалов / С.Н. Никифоров. - М.: Высшая школа, 1966. - 584 с.
16. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: учебн. пособие для вузов / Н.В. Остапчук. – К.: Вища школа, 1981. – 304 с.
17. Патент №99245, Україна "Завантажувач гвинтовий з пересипом" Клендій В.М та інші. Бюл.№10, 2015.
18. Nevko R.B., Klendiy M.B., Klendiy O.M. (2016) – Investigation of a transfer branch of a flexible screw conveyer, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 48, no. 1, pp. 29-34, Bucharest, Romania.
19. Lyashuk O.L., Rogatynska O.R., Serilko D.L. (2015) - Modeling of the vertical screw conveyer loading, INMATEH: Agricultural Engineering, vol. 45, no.1, pp.87-94, Bucharest, Romania.
20. Nevko R.B., Yazlyuk B.O., Liubin M.V., Tokarchuk O.A., Klendii O.M., Pankiv V.R. (2017) - Feasibility study of mixture transportation and stirring process in continuous-flow conveyors, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 51, no. 1, pp. 49-58, Bucharest, Romania.
21. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.20.01 «Піднімально-транспортні машини», 05.05.05 «Механізація сільськогосподарського виробництва» / Р.М. Рогатинський. – Київ, 1997. – 52 с.
22. Хайлис Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин / Г.А. Хайлис. – К.: УСХА, 1992. – 240 с.
23. Хорольський І.М. Динаміка ланцюгових систем і замкнутих контурів машин неперервного транспорту / І.М. Хорольський. – Львів: Львівська політехніка, 1999. – 194 с.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 621.86

О.Л. Ляшук, В.М. Клендій, О.Л. Третьяков
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
ДИНАМІКА ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
ДЕФОРМУЮЧИМИ ПУАНСОНАМИ

Приведена схема динамічної моделі процесу зміцнення поверхні гвинтового робочого органу деформуючими пуансонами. Складна система нелінійних диференціальних рівнянь, які розв'язані числовим методом Рунге-Кутта з використанням комп'ютерної програми з побудованих графічних залежностей динамічних навантажень деформації складових елементів системи в часі. На основі теоретичних досліджень побудовані графічні залежності зміни кута деформації вала між диском та муфтою, лінійної деформації гвинтового робочого органу в напрямку осі у в часі, лінійної деформації диска в напрямку осі z в часі, лінійної деформації пуансона в напрямку осі у в часі.

Ключові слова: динамічна модель, гвинтовий робочий орган, момент, пуансон.

А.Л. Ляшук, В.М. Клендий, А.Л. Третьяков
Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя
ДИНАМИКА ПРОЦЕССА УКРЕПЛЕНИЯ ВИНТОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ДЕФОРМИРУЮЩИМИ ПУАНСОНАМИ

Приведена схема динамической модели процесса укрепления поверхности винтового рабочего органа деформирующими пуансонами. Сложная система нелинейных дифференциальных уравнений, решены численным методом Рунге-Кутта с использованием компьютерной программы из построенных графических зависимостей динамических нагрузок деформации составляющих элементов системы во времени. На основе теоретических исследований построены графические зависимости изменения угла деформации вала между диском и муфтой, линейной деформации винтового рабочего органа в направлении оси у во времени, линейной деформации диска в направлении оси z во времени, линейной деформации пуансона в направлении оси у во времени.

Ключевые слова: динамическая модель, винтовой рабочий орган, момент, пуансон.

O. Lyashuk, V. Klendii, O. Tretyakov
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
THE DYNAMICS PROCESS STRENGTHENING SCREW WORKING BODIES OF
DEFORMING POISSON

The diagram of the dynamic model of the process of strengthening the surface of a screw working organ by deforming punches is given. The complex system of nonlinear differential equations is solved by the numerical Run-Kutta method using a computer program from the graphical dependencies of dynamic load deformations of the elements of the system in time. Based on theoretical studies, graphic dependences of the change in the angle of deformation of the shaft between the disk and the clutch, the linear deformation of the helical worker the organ in the direction of the y axis in time, the linear deformation of the disk in the direction of the z axis in time, the linear deformation tion to punch t y axis direction now.

Keywords: dynamic model, screw working organ, moment, poisson.

Постановка проблеми. Робота більшості транспортуючих пристроїв зазвичай супроводжується певними динамічними навантаженнями, які частково спричиняються неточністю монтажу ланок кінематичного ланцюга певного механізму. Крім цього, зовнішні навантаження на робочі елементи конвеєрів носять не постійний характер, що призводить до зростання динамічних навантажень на елементи конвеєра, які можуть привести до виходу з ладу конструктивних частин конвеєра.

Будь-яку деталь, яка обмежує надійність і довговічність всієї конструкції й працює в умовах високих напружень з врахуванням характеру навантаження, робочих температур, навколишнього середовища, можна розглядати як важко навантажену. Деталі з гвинтовими профілями відносяться саме до таких. У сучасних транспортних машинах гвинтові деталі є основними робочими органами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи та методи визначення конструктивних, кінематичних, динамічних, технологічних, функціональних, експлуатаційних та інших параметрів і характеристик секційних гвинтових робочих органів викладені в багатьох літературних джерелах. Серед них роботи Григор'єва А.М.[1], Гевка Б.М. [2], Рогатинського Р.М. [3], Герман Х [4] та інші. У роботах [5] та [6] представлено динамічні моделі гвинтових конвеєрів і змішувачів, проведено аналіз складових елементів диференціальних рівнянь.

Відомі різноманітні методи зміцнення пластичним деформуванням широко досліджуються як закордонними так і українськими науковцями [7-8]. Цікавим для зміцнення поверхневих шарів деталей машин є метод статико – імпульсної обробки розроблений і запатентований А.В. Киричек, Д.Л. Соловєв, А.Г. Лизуткін [9-11]. Встановлено взаємозв'язок між конструктивними, конструктивно-технологічними та технологічними параметрами та їх вплив на показники якості поверхневого шару [12-13].

Проте не враховано силові параметри процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуючими пуансонами у формуванні якості для підвищення ресурсу їх експлуатації.

Постановка завдань. В роботі представлено мету - дослідження динаміки зміцнення гвинтових робочих поверхонь робочого органа екструдера як багатоланкової механічної моделі.

Викладення основного матеріалу. Особливості геометрії гвинтових робочих органів мають значний вплив на динаміку процесу їх зміцнення диском із деформуючими пуансонами, а також на будову необхідних пристроїв та інструментів. Процес зміцнення поверхні гвинтового робочого органу здійснюється періодичними ударами пуансонів та короткочасним контактом останніх з обробленими поверхнями. Тому цей процес пов'язаний із надзвичайно складними ударними та формотворними процесами. Внаслідок цього виникає необхідність у побудові математичної моделі, яка б показувала характер зміни навантажень на систему гвинтовий робочий орган, деформуючий пуансон, диск на з'єднувальні вали. Загальну оцінку динамічного характеру проявлення навантаження можна одержати на основі введення коефіцієнта динамічності k_d як відношення величини деформації системи при динамічній і статичній дії.

Зміцнення поверхні гвинтового робочого органу деформуючими пуансонами, що обертаються у диску відноситься до перехідних динамічних процесів. Вирішення задачі щодо виявлення дійсних навантажень на гвинтовий робочий орган, деформуючий пуансон, диск та конструктивні елементи установки під час перехідного процесу з врахуванням коливань являє собою одну із важливих проблем теорії розрахунку вказаних елементів. Дослідження деталей динамічної системи шляхом виділення їх із ланцюга не може дати достатньо точного уявлення про дійсні напруження в складових частинах системи гвинтовий робочий орган, деформуючий пуансон, диск. Тому розрахунок системи взаємозв'язаних деталей потрібно проводити з врахуванням пружності їх зв'язків, а отже і коливального руху всіх її елементів.

Схему зміцнення поверхні гвинтового робочого органу деформуючими пуансонами [14]. Якщо розглядати реальний процес даного зміцнення із всіма складовими прийшлося би створювати складну систему диференціальних рівнянь, яку б не тільки було важко вирішити, але й проаналізувати. Тому, щоб визначити основний характер зміцнення поверхні гвинтового робочого органу, відкидаємо другорядні фактори і приходимо до деякої ідеалізації системи.

Систему гвинтовий робочий орган, деформуючий пуансон, диск та конструктивні елементи установки представимо механічною моделлю, що складається із зосереджених мас, з'єднаних пружними зв'язками. Пружні зв'язки допустимо невагомими, що характеризуються постійними коефіцієнтами жорсткості. Місцевими напруженнями і деформаціями в місцях з'єднання окремих елементів системи будемо нехтувати. Із всіх можливих дійсних перехідних процесів і характерів зміни прикладених сил виберемо такі, щоб одержати максимально можливі в перехідному процесі значення моментів та сил пружності в окремих елементах системи. Згідно вищевказаного систему із гвинтового робочого органу, деформуючого пуансона, диска та конструктивних елементи установки можна звести до еквівалентної багатомасової системи на рис. 1.

До зосереджених мас, які показані на рисунку 1 віднесено: I_1 - зведений момент інерції диска з деформуючими пуансонами, I_2 - зведений момент інерції муфти, I_3 - зведений момент інерції ротора двигуна, I_4 - зведений момент інерції гвинтового робочого органа, m_1 – маса диска з деформуючими пуансонами, m_4 – маса гвинтового робочого органа; m_5 – маса деформуючого пуансона. Деформуючі пуансони рівномірно розміщені по колу диска. Крім того на рисунку 9 позначені зведені коефіцієнти крутильної жорсткості: C_{12} - зведена жорсткість вала між диском та муфтою, C_{23} - зведена жорсткість вала між муфтою та ротором двигуна, C_4 - зведена жорсткість гвинтового робочого органа, а також показано зведені коефіцієнти лінійної жорсткості: k_{1z} , k_{1y} - зведена лінійна жорсткість диска відповідно в напрямках осей z та y ; k_{4z} , k_{4y} - зведена лінійна

жорсткість гвинтового робочого органу в напрямках осей z та y ; k_{51z} , k_{51y} - зведена лінійна жорсткість деформуючого пуансона в напрямках осей z та y . Крім цього позначені коефіцієнти демпфування: $\beta_{12\phi}$ – коефіцієнт демпфування крутильних коливань вала між диском та муфтою, $\beta_{23\phi}$ – коефіцієнт демпфування крутильних коливань вала між муфтою та ротором двигуна, $\beta_{4\phi}$ – коефіцієнт демпфування крутильних коливань між гвинтовим робочим органом та шпинделем верстата; β_{1z} , β_{1y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між диском та корпусом установки в напрямках осей z та y ; β_{4z} , β_{4y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між гвинтовим робочим органом та шпинделем в напрямках осей z та y ; β_{51z} , β_{51y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між деформуючим пуансоном та диском в напрямках осей z та y .

На масу I_4 , m_4 , а отже і на гвинтовий робочий орган та деформуючий пуансон m_5 будуть діяти сила удару P_u , сила тертя між деформуючим пуансоном та гвинтовим робочим органом F_{t2} та сила контакту P_k між деформуючим пуансоном та гвинтовим робочим органом.

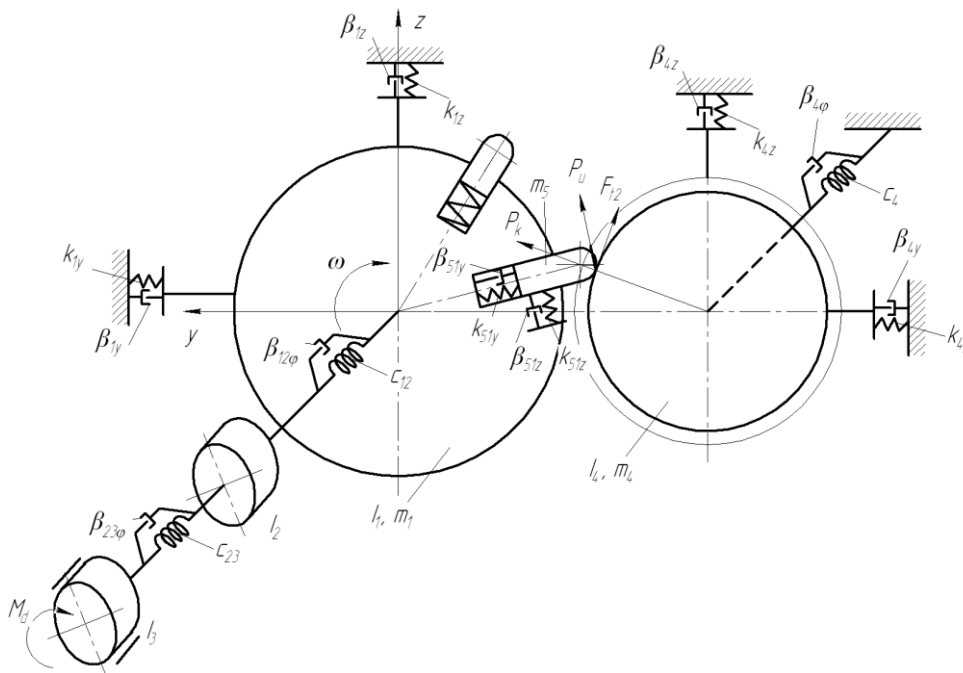


Рис. 1. Схема динамічної моделі процесу зміцнення поверхні гвинтового робочого органу деформуючими пуансонами

За час контакту деформуючого пуансона із гвинтовим робочим органом можна виділити наступні етапи:

1. Зближення на швидкості V_k , внаслідок чого проходить удар.
2. Переміщення пуансона по поверхні гвинтового робочого органу під навантаженням, що зменшується при зменшенні перекриття гвинтового робочого органу та деформуючого пуансона.
3. Вихід пуансона із зони зміцнення з наступним затухаючим коливанням.

Час контакту пуансона із гвинтовим робочим буде рівний:

$$t_E = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{\arccos\left(1 - \frac{h}{R_3}\right)}{\omega}, \quad (1)$$

Час між ударами пуансонів по поверхні гвинтового робочого органу:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z_1 \omega}, \quad (2)$$

де z_1 – кількість пуансонів, що рівномірно розміщені на диску.

Вибираємо за узагальнені координати кути повороту інерційних мас $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ та лінійні переміщення мас в напрямку осей z та y : $z_1, z_4, z_5, y_1, y_4, y_5$.

Кінетична енергія системи:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{I_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{2} + \frac{I_4 \cdot \dot{\varphi}_4^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{y}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{y}_5^2}{2}. \quad (3)$$

Потенціальна енергія системи:

$$\dot{I} = \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{C_4 \cdot \varphi_4^2}{2} + \frac{k_{51z} \cdot (z_1 - R_u \varphi_1 - z_5)^2}{2} + \frac{k_{1z} \cdot z_1^2}{2} + \frac{k_{4z} \cdot z_4^2}{2} + \frac{k_{1y} \cdot y_1^2}{2} + \frac{k_{51y} \cdot (y_1 - y_5)^2}{2} + \frac{k_{4y} \cdot y_4^2}{2}. \quad (4)$$

Функція розсіювання:

$$\hat{O} = \frac{\beta_{12\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{23\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{4\varphi} \cdot \dot{\varphi}_4^2}{2} + \frac{\beta_{51z} \cdot (\dot{z}_1 - R_u \dot{\varphi}_1 - \dot{z}_5)^2}{2} + \frac{\beta_{1z} \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{\beta_{4z} \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \frac{\beta_{1y} \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{\beta_{51y} \cdot (\dot{y}_1 - \dot{y}_5)^2}{2} + \frac{\beta_{4y} \cdot \dot{y}_4^2}{2}. \quad (5)$$

Складемо диференціальні рівняння руху системи для вимушених коливань, застосовуючи рівняння Лагранжа другого роду. Для мас, що здійснюють крутильні коливання:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \dot{I}}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \hat{O}}{\partial \dot{\varphi}_n} = M_i, \quad (6)$$

де φ_n – узагальнені координати.

Для мас, що здійснюють лінійні переміщення:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \dot{I}}{\partial z_n} + \frac{\partial \hat{O}}{\partial \dot{z}_n} = P_{uz} + F_{t2z} + P_{kz}, \quad (7)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \dot{I}}{\partial y_n} + \frac{\partial \hat{O}}{\partial \dot{y}_n} = P_{uy} + F_{t2y} + P_{ky}. \quad (8)$$

Виконуючи відповідні перетворення рівнянь (6-8), враховуючи функцію розсіювання Φ , одержимо систему рівнянь вимушених коливань:

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12\varphi} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - k_{51z} (z_1 - R_u \varphi_1 - z_5) R_u - \\ - \beta_{51z} (\dot{z}_1 - R_u \dot{\varphi}_1 - \dot{z}_5) R_u = R_u (P_u + F_{t2} \cos(\alpha + \beta_2) + P_k \sin \alpha \cos \beta_2); \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \beta_{12\varphi} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{23\varphi} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) = 0; \\ I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) + \beta_{23\varphi} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) = -M_d; \\ I_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 + C_4 \cdot \varphi_4 + \beta_{4\varphi} \dot{\varphi}_4 = R_3 (P_u \cos(\alpha + \beta_2) + F_{t2} + P_k \sin \alpha \cos \alpha); \\ m_5 \cdot \ddot{z}_5 - k_{51z} (z_1 - R_u \varphi_1 - z_5) - \beta_{51z} (\dot{z}_1 - R_u \dot{\varphi}_1 - \dot{z}_5) = P_{uz} + F_{t2z} + P_{kz}; \\ m_1 \cdot \ddot{z}_1 + k_{51z} (z_1 - R_u \varphi_1 - z_5) + \beta_{51z} (\dot{z}_1 - R_u \dot{\varphi}_1 - \dot{z}_5) + k_{1z} z_1 + \beta_{1z} \dot{z}_1 = 0; \\ m_4 \cdot \ddot{z}_4 + k_{4z} z_4 + \beta_{4z} \dot{z}_4 = P_{uz} + F_{t2z} + P_{kz}; \\ m_5 \cdot \ddot{y}_5 + k_{51y} (y_5 - y_1) + \beta_{51y} (\dot{y}_5 - \dot{y}_1) = P_{uy} + F_{t2y} + P_{ky}; \\ m_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_{1y} y_1 + \beta_{1y} \dot{y}_1 + k_{51y} (y_1 - y_5) + \beta_{51y} (\dot{y}_1 - \dot{y}_5) = 0; \\ m_4 \cdot \ddot{y}_4 + k_{4y} y_4 + \beta_{4y} \dot{y}_4 = P_{uy} + F_{t2y} + P_{ky}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де M_d – крутий момент на двигуні, Н·м.

Враховуючи те, що на початку зіткнення деформуючого пуансона та гвинтового робочого органу відбувається короточасне ударне навантаження, а сили контактної взаємодії зростають до максимального значення і спадають до нуля при виході пуансона із зачеплення з гвинтовим

робочим органом, апроксимуємо ці силові параметри відповідно зростаючою і спадаючою лінійними залежностями.

Тоді, використовуємо допоміжну безрозмірну алгебрологічну функцію:

$$F_i(t) = \left(\frac{t_K}{2} - \left| \frac{t_K}{2} - (t - t_i) \right| \right) \cdot k_2, \quad (10)$$

де k_2 - коефіцієнт, що визначає кут нахилу лінії зміни сили удару P_u , сили тертя між деформуючим пуансоном та гвинтовим робочим органом F_{t2} та сили контакту P_k між деформуючим пуансоном та гвинтовим робочим органом.

t_i - момент часу, коли проходить удар чергового деформуючого пуансона із гвинтовим робочим органом.

Використовуючи рівняння (10), сумарні сили взаємодії деформуючого пуансона із гвинтовим робочим органом в проекціях на вісі z та y представимо залежностями:

$$P_{zi}(t) = \frac{F_i(t) + P_{z\Sigma} - |F_i(t) - P_{z\Sigma}| + |F_i(t) + P_{z\Sigma} - |F_i(t) - P_{z\Sigma}||}{4}. \quad (11)$$

$$P_{yi}(t) = \frac{F_i(t) + P_{y\Sigma} - |F_i(t) - P_{y\Sigma}| + |F_i(t) + P_{y\Sigma} - |F_i(t) - P_{y\Sigma}||}{4}, \quad (12)$$

де $P_{z\Sigma} = P_{uz} + F_{t2z} + P_{kz}$, $P_{y\Sigma} = P_{uy} + F_{t2y} + P_{ky}$.

Тоді функції, що описують періодичність взаємодії деформуючого пуансона із гвинтовим робочим органом визначаємо за формулами:

$$P_z(t) = \sum_{i=1}^n P_{zi}(t); \quad (13)$$

$$P_y(t) = \sum_{i=1}^n P_{yi}(t). \quad (14)$$

Приклад використання функцій (10), (11), (12) при зміцненні поверхні гвинтового робочого органу під час послідовного удару двох чергових пуансонів представлено на рис. 2.

Початкові умови для системи рівнянь записуємо з наступних міркувань. При зміцненні поверхні гвинтового робочого органу до моменту зіткнення пуансона із гвинтовим робочим органом, від якого і ведемо відлік часу, не відбувається деформації пружних елементів системи. Тому, початкові відносні координати і швидкості приймаємо рівними нулю. Подальша деформація відбувається за рахунок дії зовнішніх сил. Отже, для $t = 0$ маємо:

$$\varphi_1(0) = 0, \quad \varphi_2(0) = 0, \quad \varphi_3(0) = 0, \quad \varphi_4(0) = 0, \quad z_1(0) = 0, \quad z_4(0) = 0, \quad z_5(0) = 0, \quad y_1(0) = 0, \quad y_4(0) = 0, \quad y_5(0) = 0,$$

$$\dot{\varphi}_1(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_2(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_3(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_4(0) = 0, \quad \dot{z}_1(0) = 0, \quad \dot{z}_4(0) = 0, \quad \dot{z}_5(0) = 0, \quad \dot{y}_1(0) = 0, \quad \dot{y}_4(0) = 0, \quad \dot{y}_5(0) = 0.$$

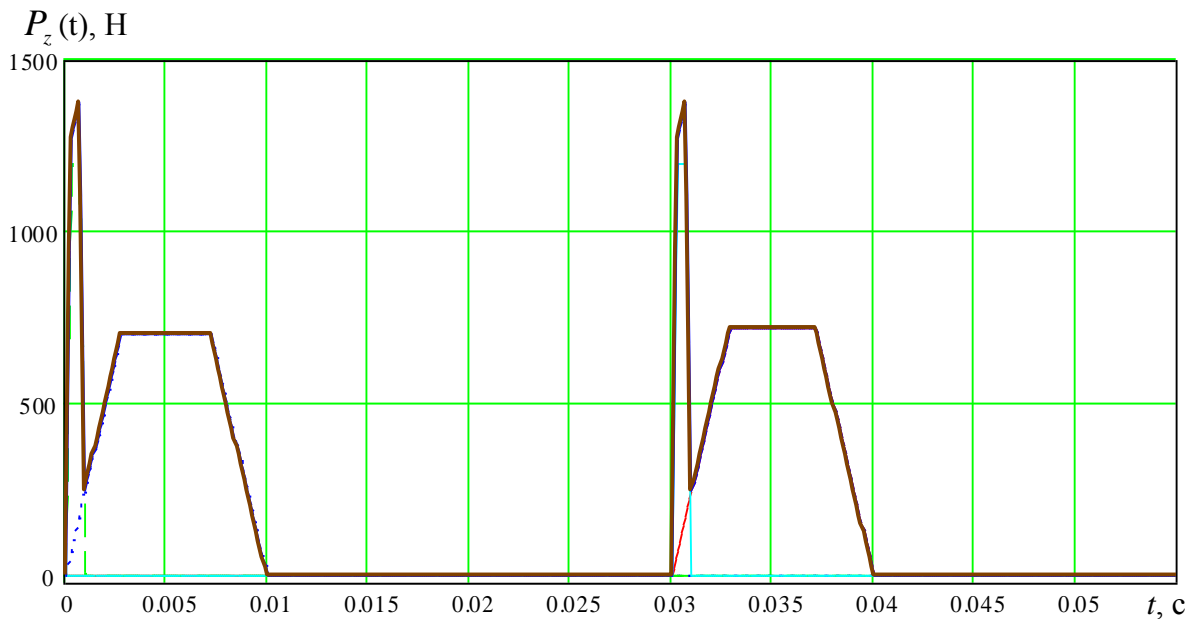


Рис. 2. Графік зміни в часі сумарних проекцій сил на вісь z при зміцненні поверхні гвинтового робочого органу під час послідовного удару двох чергових пуансонів

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (9) з початковими умовами доцільно провести на комп'ютері із застосуванням стандартної підпрограми чисельного методу Рунге-Кутта.

За результатами досліджень представлено графічні залежності зміни кута деформації вала між диском та муфтою в часі (рис. 3), лінійної деформації гвинтового робочого органу в напрямку осі y в часі (рис. 4), лінійної деформації диска в напрямку осі z в часі (рис. 5) та лінійної деформації пуансона в напрямку осі y в часі (рис. 6) під час здійснення процесу зміцнення поверхні гвинтового робочого органу двома послідовними пуансонами.

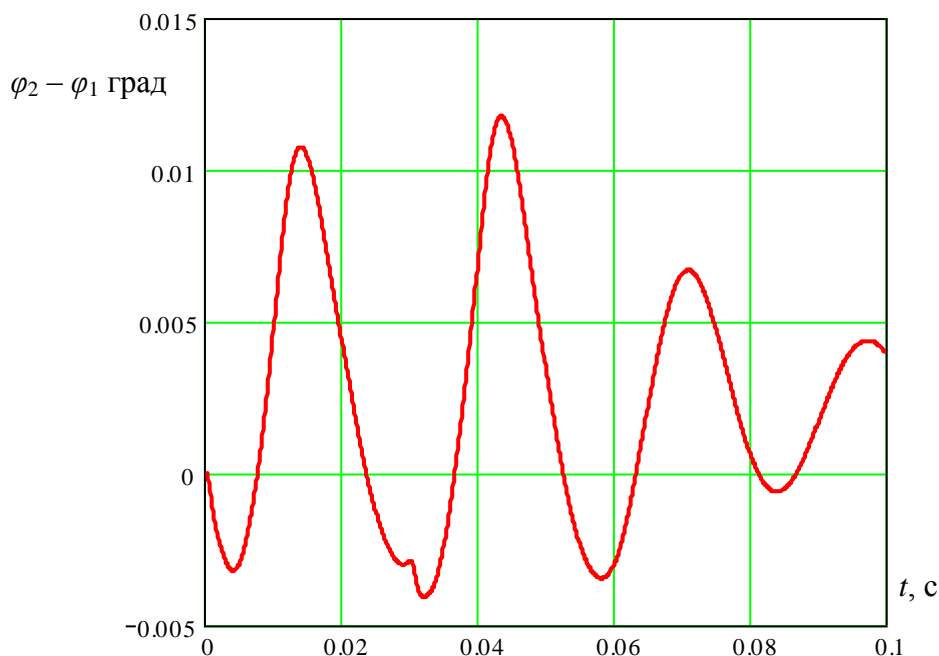


Рис. 3. Графік зміни кута деформації вала між диском та муфтою в часі

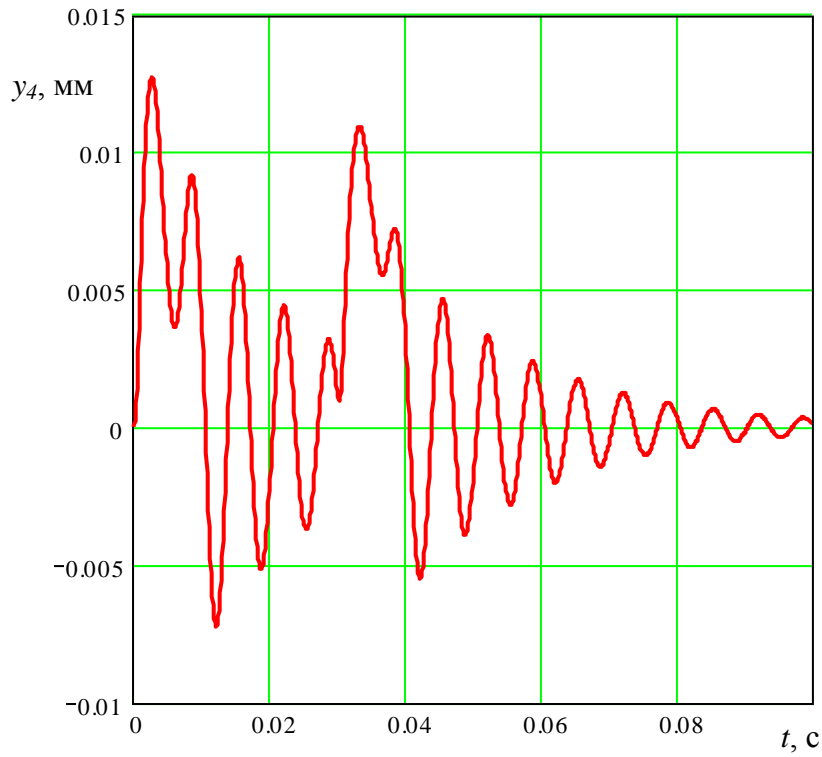


Рис. 4. Графік зміни лінійної деформації гвинтового робочого органу в напрямку осі у в часі

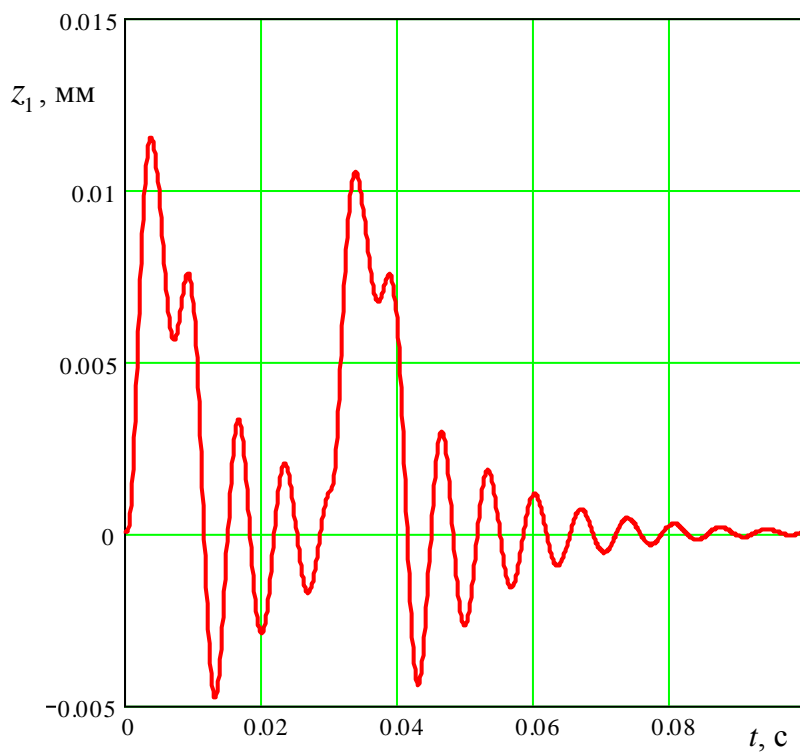


Рис. 5. Графік зміни лінійної деформації диска в напрямку осі z в часі

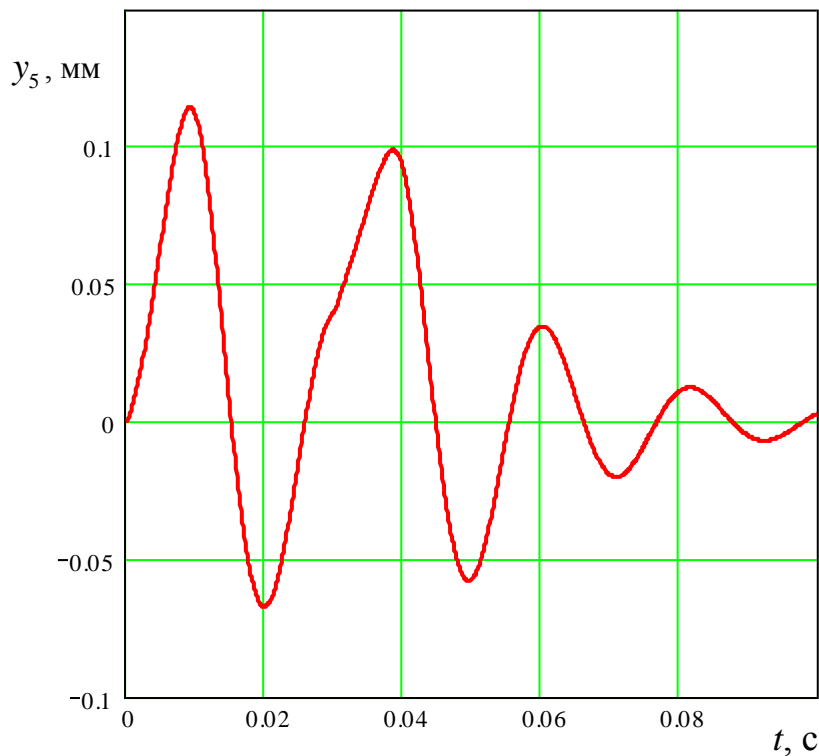


Рис. 6. Графік зміни лінійної деформації пуансона в напрямку осі у в часі

Для перевірки адекватності запропонованої системи диференціальних рівнянь усі її складові визначались експериментально. Із представлених графічних залежностей (рис. 3 – рис. 6) видно, що деформації складових елементів системи в часі спочатку зростають як наслідок ударних навантажень, а потім поступово знижується із затухаючими коливаннями до нуля при виході пуансона із зони контакту із гвинтовим робочим органом.

Висновок. Виведені аналітичні залежності для визначення сумарних сил взаємодії деформуючого пуансона із гвинтовим робочим органом в проекціях на вісі z та y . На основі теоретичних досліджень побудовані графічні залежності зміни кута деформації вала між диском та муфтою, лінійної деформації гвинтового робочого органу в напрямку осі y в часі, лінійної деформації диска в напрямку осі z в часі, лінійної деформації пуансона в напрямку осі y в часі

Список використаної літератури.

1. Григорьев А.М. Гибкие шнеки / А.М. Григорьев, П.А. Преображенский. – К.: Знание, 1967. – 245 с.
2. Механізми з гвинтовими пристроями / Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський, М.І. Пилипець, А.В. Матвійчук. – Львів: Світ, 1993. – 208 с.
3. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. на здобуття вченого ступення док. техн. наук: спец. 05.20.01, «Механізація сільськогосподарського виробництва», 05.05.05 «Підійомно-транспортні машини» / Рогатинський Роман Михайлович. – К., 1997. – 502 с.
4. Герман Х. Шнековые машины в технологии ФРГ / Х. Герман. – Л.: Машиностроение, 1975. – 148 с.
5. Киричек А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. – М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
6. Статико-импульсное упрочнение деталей передач / Киричек А. В. та ін. // Теория и практика зубчатых передач: труды международной конференции – Ижевск, 1998. – Ст. 363–368.
7. Упрочнение статико-импульсной обработкой ППД с использованием гидроударных устройств / А.Г. Лазуткин та ін. // Механизмы и машины ударного периодического и вибрационного действия: Материалы междунар. научного симпозиум. Орел. – Орел ГТУ, 2000. – Ст. 318–320.

8. Упрочнение статико-импульсной обработкой сердечников крестовин стрелочных переводов / Лазуткин А. Г. та ін. // Автотракторостроение. Промышленность и высшая школа: Тезисы докл. XXVII науч.-техн. конф. – М.: ААИ, 1999. – Ст. 17 – 19.

9. Упрочнение статико-импульсной обработкой / Лазуткин А. Г. та ін. // Новые материалы и технологии в машиностроении и приборостроении: Материалы науч.-техн. конф. – Пенза, 1996. – Ст. 26 – 31.

10. Картанов Л.В. Повышение долговечности деталей машин использованием материалов с регулярной гетерогенной структурой: дис. канд. техн. Наук / Картанов Леонид Владимирович. – ВлГУ, 1997. – 170 с.

11. Киричек А.В. Обеспечение качества несоосных винтовых механизмов деформационным упрочнением их сопрягаемых деталей: дис. докт. техн. наук / Киричек Анатолий Владимирович. – М., 1999. – 394 с.

12. Применение деформационного упрочнения статико-импульсной обработкой для повешения контактной выносливости деталей / Киричек А.В. и др // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: Мат. Межд. науч.-техн. конф. – Ростов-на-дону: ДГТУ, 2008. – Ст. 16-20.

13. Дрозд М.С. Определение механических свойств металлов без разрушения / М.С. Дрозд. – М: Изд-во Металлургия, 1965. – 171 с.

14. Патент на корисну модель № 108422. Україна, МПК(2006.01) В24В 39/04. Обкатний інструмент для зміцнення гвинтових робочих органів/ Ляшук О.Л.; Сокіл М. Б.; Третьяков О.Л.; Навроцька Т.Д.; Клендій В.М.; Марчук Р.М. (Україна). – u201601511. Заявл. 18.02.2016.; Опубл. 11.07.2016р., Бюл.№13.- 4с.;

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 629.362.2

С.П. Мазін, Г.М. Маренко, О.П. Пархомчук, І.Л. Страшний, В.М. Франков
Національна академія Національної гвардії України

**ОБГРУНТУВАННЯ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦМАШИНИ ДЛЯ БЛОКУВАННЯ І
 ВИТІСНЕННЯ НАТОВПУ ПІД ЧАС МАСОВИХ ЗАВОРУШЕНЬ В УМОВАХ
 ОБМЕЖЕНОЇ ТЕРИТОРІЇ**

Запропонована конструкція спеціальної колісної машини для блокування і витіснення натовпу під час масових заворушень й розроблена методика розрахунку її основних конструктивних параметрів.

Ключові слова: масові заворушення, спецмашина, гідрооб'ємна трансмісія, силовий бар'єр.

С.П. Мазин, Г.М. Маренко, О.П. Пархомчук, И.Л. Страшный, В.М. Франков
Национальная академия Национальной гвардии Украины

**ОБОСНОВАНИЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ СПЕЦМАШИНЫ ДЛЯ БЛОКИРОВАНИЯ И
 ВЫТЕСНЕНИЯ ТОЛПЫ ВО ВРЕМЯ МАССОВЫХ ВОЛНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
 ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Предложена конструкция специальной колесной машины для блокирования и вытеснения толпы во время массовых волнений и разработана методика расчета ее основных конструктивных параметров.

Ключевые слова: массовые волнения, спецмашина, гидрообъемная трансмиссия, силовой барьер.

S.P. Mazin, G.M. Marenko, O.P. Parkhomthuk, I.L. Strashnyi, V.M. Frankov
National Academy of the National Guard of Ukraine

**NEW DESIGN OF THE SPECIAL VEHICLE FOR BLOCKING AND RELOCATION CROWDS
 DURING PROTESTS ON A LIMITED TERRITORY**

The design of a special wheeled vehicle for blocking and relocation crowds during mass disturbances is proposed, and a methodology for calculating its main design parameters is developed.

Key words: mass riots, special vehicle, hydrostatic transmission, power barrier.

Постановка проблеми. Аналіз подій, пов'язаних з масовими заворушеннями, показує, що останнім часом в світі підвищилась кількість дій громадян, що супроводжуються вчиненням насильства, погромів, підпалів, знищенням майна, захопленням будівель, опором представникам влади з застосуванням зброї або інших предметів, які використовуються як зброя.

Події, що відбулися в Україні в останні роки, додатково свідчать, що проблема захисту як мирно налаштованих громадян, що висловлюють свою громадянську позицію під час мітингів, демонстрацій тощо, так і військовослужбовців, що охороняють громадський порядок у цих умовах, від дій агресивно настроєних громадян є досить актуальною.

Питанням припинення порушень громадського порядку як під час мирних масових заходів, так і в умовах конфліктних ситуацій різної етимології присвячена значна кількість наукових робіт, зокрема [1-4], що свідчить про велику увагу наукової спільноти до цих питань.

Вищезазначене підтверджує актуальність питань, пов'язаних із створенням зразків нової спеціальної техніки для припинення масових заворушень.

Огляд останніх досліджень і публікацій. В публікації [1] наведено підходи до розподілу повноважень між органами державної влади, формуваннями Національної гвардії України та органами поліції під час припинення масових заворушень залежно від етапів та інтенсивності перебігу заворушень, а також до визначення основного виконавця проведення заходів з припинення масових заворушень.

У публікації [2] розглянуто можливі способи застосування формувань Національної гвардії України, тактичні прийоми дій, які проводяться під час виконання службово-бойових завдань. Запропоновано підходи до формалізації задачі вибору раціональних способів застосування формувань гвардії для припинення масових заворушень.

В публікації [3] подано стислу характеристику блокових багатоярусних загороджувальних перешкод як засобів захисту бойових порядків військ.

В публікації [4] розглянуто існуючі технічні засоби оточення району масових заворушень. Приведено конструкцію спецмашини для обмеження руху людей у забороненій зоні. Конструкція базується на використанні шасі автомобіля КрАЗ-5233НЕ.

В матеріалах сайтів [6] приведено конструкцію броньованої спецмашини *Bozena Riot* для обмеження руху людей у забороненій зоні. Спецмашина являє собою пересувний щит висотою

3,7 м і довжиною від 4,5 до 7,5 м. В кабіні керування спецмашини знаходиться одна людина. Машина обладнана двома водометними гарматами з водяним насосом, а також розпилювачем сльозогінного газу. На машину встановлено декілька відеокамер спостереження. Вода для водомета, в разі потреби, насосом подається з цистерни причепа. Машина обладнана бронюванням, здатним захищати від куль калібру 7,62. Маса щита складає три тони, потужність двигуна – 140 к.с., швидкість машини досягає 40 км/год.

Враховуючи показники призначення і сучасні технічні характеристики, вважаємо за доцільне цю конструкцію прийняти в якості аналога. Слід однак зазначити, що оскільки машина розроблена і виготовляється за кордоном, то в Україні документація на її конструкцію й правила застосування відсутні.

Мета статті – обґрунтування конструктивної схеми спецмашини для блокування і витіснення натовпу під час масових заворушень в умовах обмеженої території і визначення її основних технічних параметрів.

Виклад основного матеріалу. Загальну уяву про спецмашину, конструкція якої пропонується, надає рис. 1. Машина призначена для використання в зонах з обмеженим простором (тротуари, доріжки сквери, ринки, стадіонні примикання і ін.).

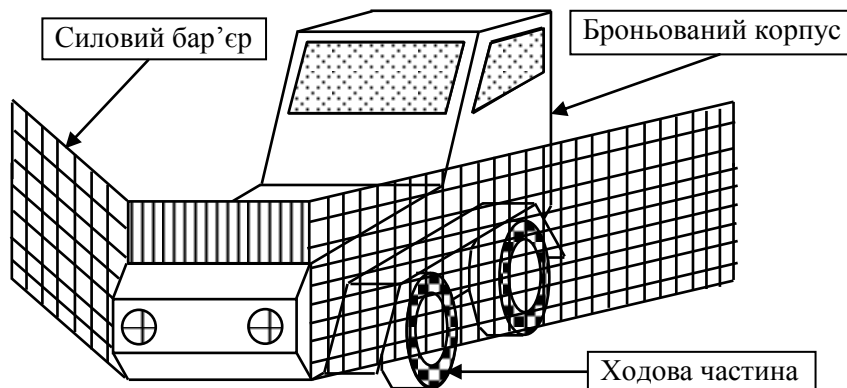


Рис. 1. Малогабаритна спецмашина для блокування і витіснення натовпу людей в обмежених зонах дії

Якщо зона використання має значні розміри декілька спецмашин можуть бути розташовані в ряд (рис. 2).

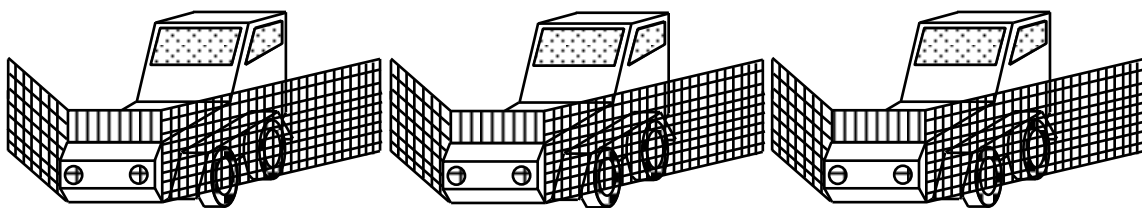


Рис. 2. Використання спецмашин в зоні зі значними розмірами

Основною відзнакою пропонованого рішення є те, що воно базується на ідеї повного розділення агресивної частини натовпу і правоохоронців, що виключає прямий їх контакт і, як наслідок, запобігає взаємним травмуванням. Крім того, використання спецмашини дозволить скоротити кількість правоохоронців, задіяних у операції з ліквідації масових заворушень.

У складі спецмашини пропонується використання гідрооб'ємної трансмісії, що обумовлює наступні переваги: трансмісія не має механізму зчеплення у звичному його розумінні з керуванням від педалі зчеплення, що виключає різкі ривки машини й можливе травмування людей під час руху, що особливо важливо у разі пересування машини в зоні великого скупчення людей, яке можливе під час припинення масових безладів; трансмісія забезпечує плавний і стійкий рух на скільки завгодно малій швидкості, що також підвищує безпеку застосування спецмашини; в силу

специфіки комплектування машини (можливість встановлення силового бар'єру з гідроприводом) гідравлічна трансмісія також є переважною; керування за допомогою бортових передач (керування по гусеничному) дозволяє отримати мінімальну ширину колісних ніш і максимальний об'єм трансмісійного відділення, а також покращує маневреність, забезпечуючи зокрема навіть розворот на місці навколо вертикальної осі машини.

Загальний вид спецмашини приведено на рис. 3. Структурна схема силового модуля спецмашини наведена на рис. 4.

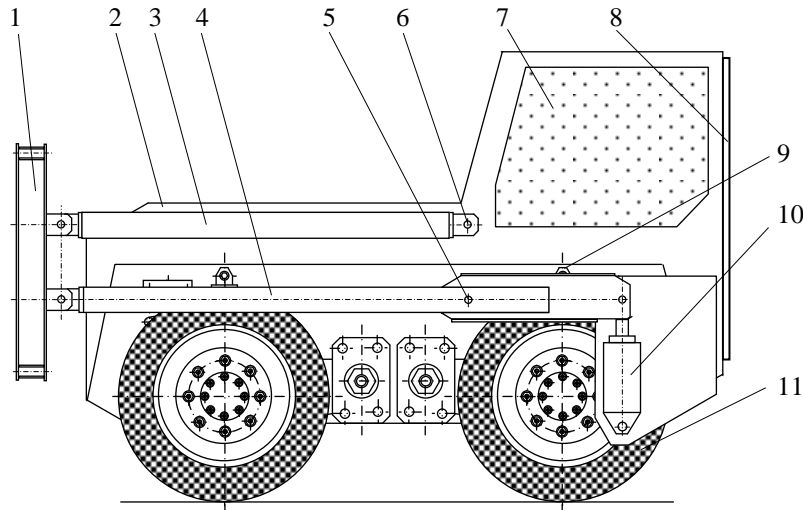


Рис. 3. Загальний вид спецмашини: 1 – рама силового бар'єру; 2 – броньований корпус; 3 – стабілізатор; 4 – основний важіль; 5 – вісь основного важеля; 6 – вісь стабілізатора; 7 – броньоване скло; 8 – задні двері; 9 – амортизатор підвіски; 10 – гідроциліндр підйому-опускання силового бар'єру; 11 – колесо

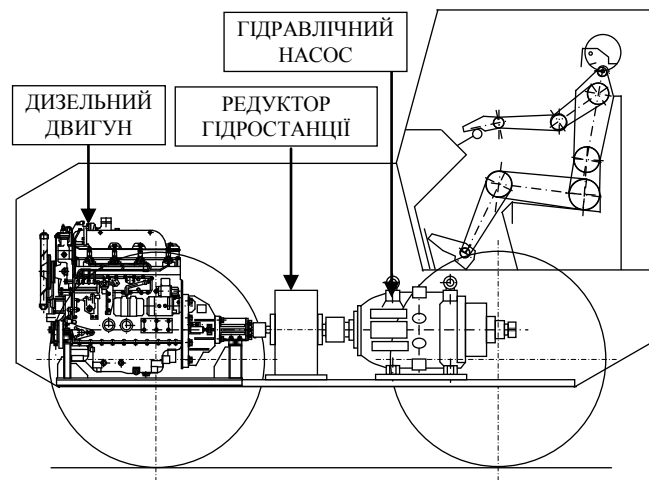


Рис. 4. Структурна схема силового модуля спецмашини

Конструктивна схема силового бар'єру наведена на рис. 5.

До складу силового бар'єру входить передня рама 1 до якої осями 2 приєднані боковини 3. Також до передньої рами осями 7 приєднані силові гідроциліндри 6, штоки 5 яких осями 4 приєднані до боковин 3. Стабілізатори 10 осями 12 приєднані до броньованого корпусу, а осями 8 – до передньої рами. Основні важелі 11 осями 9 приєднані до передньої рами, а осями 13 – до броньованого корпусу. Силові гідроциліндри 15 до броньованого корпусу приєднані осями 16. Штоки силових гідроциліндрів 15 до основних важелів 11 приєднані осями 14.

Роботою гідроциліндрів 6 забезпечується повертання боковин, а гідроциліндри 15 забезпечують підйом-опускання силового бар'єру.

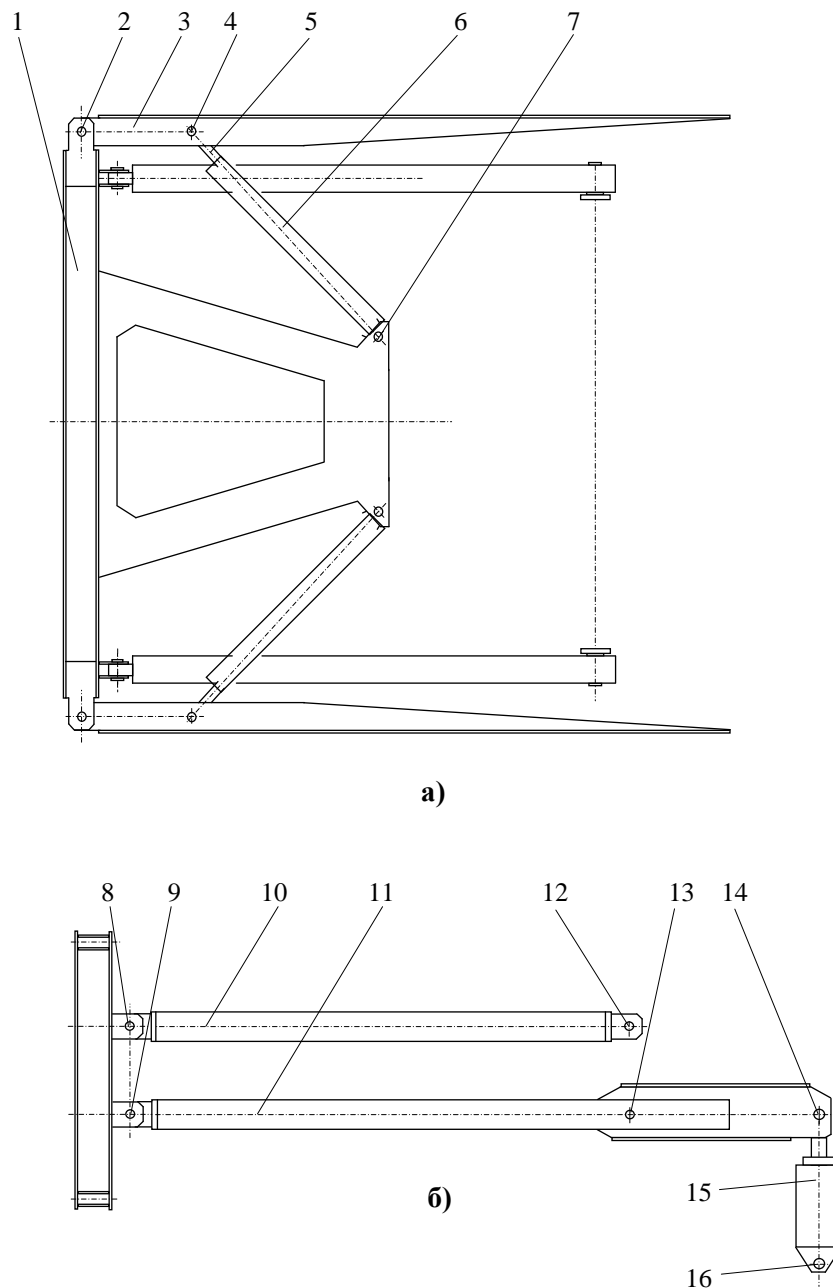


Рис. 5. Силовий бар'єр: а) – вид згори; б) – вид збоку; 1 – передня рама; 2, 4, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 16 – осі; 3 – боковина; 5 – шток; 6, 15 – гідроциліндри; 10 – стабілізатор; 11 – основний важіль

В транспортному положенні силового бар'єра піднятий. У функціональному стані бар'єр опускається на величину, що забезпечує безпечний рух або надійне блокування зони дії.

Броньований несучий корпус складається з броньованих листів та фігурних елементів, скріплених зварювальним з'єднанням.

Маса m_m спецмашини визначається сумою мас її складових частин

$$m_m = k_{nm} (m_k + m_d + m_{mc} + m_{kv} + m_{nm} + m_{zm} + m_{kol} + m_{ek} + m_{cb}) [кг],$$

де m_k – маса броньованого корпусу; m_d – маса двигуна; m_{mc} – маса гідростанції (оливний бак, редуктор, гідравлічні насоси й гідравлічні мотори); m_{kv} – маса карданних валів; m_{nm} , m_{zm} – маса

переднього й заднього мостів відповідно; $m_{\text{кол}}$ – маса коліс; $m_{\text{ек}}$ – маса екіпажу; $m_{\text{сб}}$ – маса силового бар'єру; $k_{\text{нм}}$ – коефіцієнт неврахованих мас.

Маси складових частин визначаються за довідковою літературою, а також за аналізом конструкції аналогів.

$$m_{\text{м}} = 1,1 \cdot (860 + 600 + 220 + 50 + 100 + 100 + 600 + 150 + 140) = 3100 \text{ кг}.$$

Потужність двигуна $N_{\text{роз}}$, що витрачається на рух спецмашини зі швидкістю, яка потрібна при розосередженні натовпу людей, визначається з формули

$$N_{\text{роз}} = \frac{V_{\text{роз}}}{3,6\eta_{\text{мп}}} \left(gm_{\text{м}}\psi_{\text{роз}} + \frac{k_{\text{г}}A_{\text{г}}V_{\text{роз}}^2}{13000} \right) [\text{кВт}],$$

де $V_{\text{роз}}$ – швидкість машини, необхідна під час розосередження натовпу людей, км/год; $\eta_{\text{мп}}$ – ККД трансмісії; g – прискорення вільного падіння; $\psi_{\text{роз}}$ – коефіцієнт опору дороги; $k_{\text{г}}$ – коефіцієнт опору повітря, $\text{Н с}^2/\text{м}^4$; $A_{\text{г}}$ – площа лобового опору, м^2 .

Для розрахунків приймаємо $m_{\text{м}} = 3,1 \text{ т}$; $V_{\text{роз}} = 5 \text{ км/год}$; $k_{\text{г}} = 0,7 \text{ Н с}^2/\text{м}^4$; $A_{\text{г}} = 7,5 \text{ м}^2$.

Коефіцієнт опору дороги з асфальтобетонним покриттям і ухилом $\alpha = 10^\circ$

$$\psi = f\cos\alpha + \sin\alpha = 0,02 \cdot 0,985 + 0,174 = 0,2,$$

де f – коефіцієнт опору коченню, для сухої асфальтобетонної дороги $f = 0,015 \dots 0,02$. Тоді

$$N_{\text{роз}} = \frac{5}{3,6 \cdot 0,7} \left(9,81 \cdot 3,1 \cdot 0,2 + \frac{0,7 \cdot 7,5 \cdot 5^2}{13000} \right) = 12 \text{ кВт}.$$

Для подальших розрахунків потужність двигуна доцільно прийняти з певним запасом $N_{\text{роз}} = 20 \text{ кВт}$.

Далі визначається кутову швидкість обертання коліс спецмашини на заданій швидкості руху за формулою

$$\omega_{\text{к}} = \frac{V_{\text{роз}}}{3,6r_{\text{к}}} = \frac{5}{3,6 \cdot 0,44} = 3,16 \text{ рад/с},$$

де $r_{\text{к}}$ – радіус колеса, приймаємо $r_{\text{к}} = 0,44 \text{ м}$.

Сумарний крутний момент на колесах за визначеної потужності двигуна й заданої швидкості руху

$$M_{\Sigma} = \frac{N_{\text{роз}}\eta_{\text{мп}}}{\omega_{\text{к}}} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 0,7}{3,16} = 4430 \text{ Нм}.$$

Сумарна тягова сила на ведучих колесах

$$P_{\Sigma} = \frac{M_{\Sigma}}{r_{\text{к}}} = \frac{4430}{0,44} = 10,1 \text{ кВт}.$$

Крутний момент на валу колісного гідромотора для двовісної машини

$$M_{\text{зм}} = M_{\Sigma} / 4 = 4430 / 4 = 1108 \text{ Нм}.$$

Виконані розрахунки є вихідними для розрахунку параметрів гідравлічної станції силового агрегату спецмашини, які можуть бути виконані за методикою, наведеною у роботі [5].

Розрахунок гідравлічних циліндрів силового бар'єра може бути виконаний за методикою, наведеною у роботі [4].

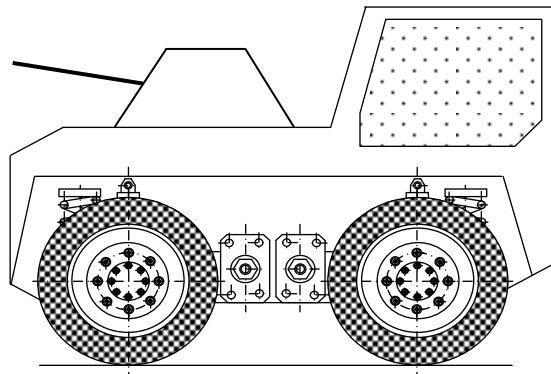


Рис. 6. Малогабаритна самохідна артилерійська установка

Окрім використання спецмашини за призначенням, на базі її шасі можна розробити малогабаритну самохідну артилерійську установку або кулемет (рис. 6), а також машину для евакуації поранених з поля бою.

Доцільно також окремо дослідити можливість створення на базі шасі запропонованої конструкції сімейства бойових та інженерних військових роботів.

Висновки

1. Особливістю конструкції, що пропонується, є те, що вона має суттєво меншу масу і розміри в порівнянні з існуючими.

2. Використання повороту по гусеничному робить рівень маневреності максимальним і дає можливість розвороту на місці.

3. Наведена методика розрахунку основних параметрів спецмашини дає можливість визначити раціональні конструктивні параметри спецмашини.

4. Приведені графічні розробки і розрахунки свідчать про можливість реалізації запропонованої конструкції спецмашини.

5. Використання спецмашини, що пропонується, у разі блокування натовпу під час припинення масових заворушень суттєво знизить ймовірність травмувань цивільних громадян та правоохоронців.

6. Застосування спецмашини запропонованої конструкції забезпечить можливість значно скоротити кількість задіяного особового складу та зменшити травматизм з обох протидіючих сторін.

Список використаних джерел

1. Шмаков О.М. Повноваження суб'єктів сфери безпеки України з припинення масових заворушень [Текст] / О.М.Шмаков, О.В. Лавніченко // Честь і закон. – 2016. – № 4(59). – с. 26–33.

2. Назаренко О.Л. Формалізація задачі вибору раціональних способів застосування формування Національної гвардії України для припинення масових заворушень [Текст] / О.Л.Назаренко, Г.А. Дробаха // Честь і закон. – 2017. – № 1(60). – с. 38–44.

3. Орлов М.М. Способи дій внутрішніх військ під час припинення масових протистоянь громадян у разі виникнення міжетничного конфлікту [Текст] / М. М. Орлов, В. В. Халеп, О. І. Шаповалов // Честь і закон. – 2014. – № 2(49). – С. 20–27.

4. Мазін С.П. Нова конструкція спецмашини з поперечним силовим бар'єром для блокування натовпу під час масових заворушень. [Текст] / С.П. Мазін, О.В. Пархомчук, А.П. Горбунов, С.О. Пивоваров // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. Вип.2 (22) 2013. м. Харків.

5. Гидрообъемные передачи транспортных и тяговых машин. Антонов А.С., Запрягаев М.М., 1968 г. 212 стр. Алл. 108. Табл. 17. Библ. 14 назв.

6. Матеріали сайтів: www.bozena.eu/riot/; www.ibtimes.co.uk/Technology/Innovation.

Рецензенти:

Худов Геннадій Володимирович, начальник кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, доктор технічних наук, професор.

Горбунов Андрій Петрович, заступник начальника навчально-методичного центру Національної академії Національної гвардії України – начальник навчального відділу, кандидат технічних наук, доцент.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2018

УДК 621. 822:681.2:369.64

В.І. Марчук, І.В. Марчук*Луцький національний технічний університет***ТЕХНОЛОГІЧНЕ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПІД ЧАС БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ**

В роботі проведено аналіз існуючих розрахункових схем шліфування з позиції теплоутворення і встановлені шляхи технологічного керування теплонапруженістю процесу шліфування. Доведено, що ефективним методом зниження теплонапруженості є застосування шліфування переривчастим абразивним інструментом, однак конструктивні параметри та характеристики переривчастих кругів для безцентрового шліфування мають визначатись за результатами теоретичних та експериментальних досліджень. Виявлено неоднозначний характер зміни температури шліфування від умов та режимів оброблення, що вказує на більш складний характер температури в процесі механічного оброблення, ніж це вважалося на практиці.

Ключові слова: якість, шорсткість, шліфування теплові дефекти, поверхневий шар.

В.И. Марчук, И.В. Марчук*Луцкий национальный технический университет***ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВО ВРЕМЯ БЕСЦЕНТРОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ**

В работе проведен анализ существующих расчетных схем шлифования с позиции теплообразования и установлены пути технологического управления теплонапряженностью процесса шлифования. Доказано, что эффективным методом снижения теплонапряженности применение шлифовки прерывистым абразивным инструментом, однако конструктивные параметры и характеристики прерывистых кругов для бесцентрового шлифования должны определяться по результатам теоретических и экспериментальных исследований. Выведено неоднозначный характер изменения температуры шлифования от условий и режимов обработки, что указывает на более сложный характер температуры в процессе механической обработки, чем это считалось на практике.

Ключевые слова: качество, шероховатость, шлифовка, тепловые дефекты, поверхностный слой.

V.I. Marchuk, I.V. Marchuk*Lutsk National Technical University***TECHNOLOGICAL CONTROL OF TEMPERATURE UNDER THE SUCCESSFUL SILICATION OF FUNCTIONAL SURFACES**

In the work the analysis of existing calculation schemes of grinding from the position of heat formation is carried out and the ways of technological control of heat stress of the grinding process are established. It is proved that an effective method of reducing the heat stress is the use of grinding with a discontinuous abrasive tool, but the design parameters and characteristics of interrupted circles for centrifugal grinding should be determined by the results of theoretical and experimental studies. The ambiguous nature of the change in the temperature of grinding from the conditions and treatment regimes was revealed, which indicates a more complicated nature of the temperature in the process of machining than was considered in practice.

Key words: quality, roughness, grinding, thermal defects, surface layer.

Скорочення тривалості виробничого циклу, зменшення фондів, запасів в поєднанні з виготовленням продукції за принципом “точно – вчасно” відкриває виробництву певні резерви. А отже, виникає необхідність виробничий процес та засоби виробництва об'єднувати в складні високопродуктивні системи, в яких технологічні та організаційні ланцюги стають дедалі взаємозалежними.

Поєднання таких складних виробничих умов із стрімко зростаючими вимогами до якості виробів вимагає невідкладного розроблення та реалізації стратегії та тактики, забезпечення та стабілізації параметрів якості виробів в умовах гнучкого переналагоджувального інтегрованого виробництва. Успішна реалізація такого підходу, на нашу думку, можлива на основі глибокого вивчення та аналізу взаємозв'язків між чинниками, що супроводжують виробничий процес, параметрами якості виробів, деталей, а також експлуатаційними характеристиками. Кінцевою метою дослідження природи цих взаємозв'язків є створення науково обґрунтованих і реалізованих на практиці методів керування параметрами якості під час проходження всіх стадій інтегрованого автоматизованого виробничого процесу. Показники технологічної ефективності, якими характеризуються окремі деталі та підшипник в цілому доцільно розділити на такі групи [3, 4]:

1. Показники якості матеріалу (фізико-хімічні показники);
2. Показники, що характеризують точність геометричних розмірів;

3. Геометричні параметри поверхневого шару деталі (відхилення форми, хвилястість, шорсткість, мікротопографія);
4. Експлуатаційні показники;
5. Показники надійності;
6. Показники технологічності;
7. Техніко-економічні показники.

Очевидно, що кожна група вище перерахованих показників ефективності містить ряд окремих параметрів та характеристик за допомогою яких, проводиться кількісна оцінка якості та ефективності об'єкту виробництва. Оскільки, характеристика якості підшипника як складової одиниці чи виробу залежить від показників якості окремих складових деталей та їх поверхонь, то якість робочих поверхонь деталей підшипника є першоджерелом забезпечення якості виробу в цілому та окремих його складових деталей зокрема. Отже загальна задача дослідження взаємозв'язків показників якості роликпідшипників з технологічними чинниками та експлуатаційними характеристиками зводиться до аналізу зв'язків параметрів якості робочих поверхонь деталей з технологічними чинниками.

Встановлено [4], що поверхневий шар деталі в залежності від вибраного методу під час оброблення за своїми фізико-хімічними властивостями різко відрізняється від властивостей основного матеріалу.

Нерівності на поверхні деталі, структура, фазовий та хімічний склад поверхневого шару впливають на її фізико-хімічні та експлуатаційні властивості.

Поверхневий шар найбільше впливає на надійність та зносостійкість під час роботи деталі та виробу в цілому. В умовах експлуатації поверхневий шар деталі піддається найбільшому фізико-хімічному впливу. Руйнування деталі (наприклад розвиток тріщин втомленості, ерозія, зношування, корозія), в більшості випадків починаються з поверхні.

Геометричні відхилення поверхонь розрізняють також в залежності від відношення довжини кроку L до висоти нерівності H [1]: при $L:H > 1000$ мають місце макроскопічні відхилення від правильної геометричної форми (конусність, овальність, вгнутість і ін.), при $L:H = 50 \dots 1000$ – хвилястість поверхні; $L:H < 50$ – шорсткість поверхні.

Висота нерівностей хвилястості та висота шорсткості практично однакові, але відношення довжин кроків до висоти нерівностей, як бачимо, різні. Хвилястість займає проміжне положення між відхиленням від правильної геометричної форми та шорсткістю поверхні.

Технологічну хвилястість поділяють на поперечну (розміщення хвиль перпендикулярно переміщенню ріжучого інструменту) і повздовжню (хвилястість співпадає з напрямом руху інструменту).

Взаємозв'язок поверхневого шару з фізико-хімічними і технологічними чинниками процесу показаний на рис. 1.

Геометричні характеристики нерівностей тісно пов'язані з фізико-хімічними процесами руйнування металу під час оброблення різанням. Так, шорсткість поверхні під час оброблення крихких металів складається з трикутних заглиблень, що відповідають формі вирваних зерен; в пластичних металах під час великих швидкостей різання сильно деформовані нерівності мають форму пластівців [2].

До якісних параметрів хвилястості відносять крок та форму профілю хвиль, до кількісних – висоту хвиль, радіус при вершині, радіус у впадині та ін. Форма профілю хвиль реальних поверхонь різноманітна: синусоїдальна, параболічна, циклоїдальна.

Процес безцентрового шліфування зовнішньої циліндричної поверхні, яка є базовою для встановлення підшипника в опорі роторної системи проходить за схемою, що характеризується обертальним рухом шліфувального круга $V_{кр \text{ шліф}}$, який є рухом різання, обертальним рухом ведучого круга $V_{кр \text{ вед}}$ в тому ж самому напрямку. Заготовки кілець подаються в зону шліфування за допомогою ведучого круга, вісь обертання якого знаходиться під деяким кутом до вісі обертання шліфувального круга. Для підтримування заготовок в зоні шліфування використовується ніж опорний. Положення осей обертання шліфувального та ведучого кругів, частота обертання кругів та заготовки, координати розміщення ножа опорного впливають на розмірні та якісні показники процесу шліфування, а визначення значень вказаних параметрів відноситься до завдань проектування інструментального налагодження верстата на шліфувальну операцію.

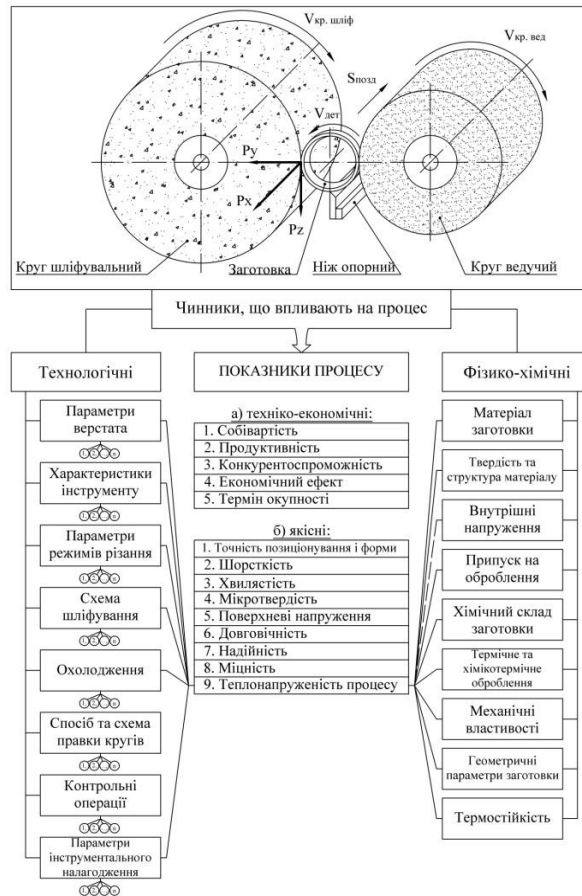


Рис. 1. Чинники та показники операцій шліфування кілець роликотідшипників

Основним завданням технологічної підготовки верстата до шліфування конкретного типорозміру заготовки в умовах переналагоджувального виробництва є швидке та зручне визначення параметрів налагодження та реалізація цих параметрів безпосередньо на верстаті. Від швидкості проектування та виконання інструментального переналагодження верстата залежать технологічна продуктивність операції та якісні показники процесу шліфування.

З рис. 1. видно, що на показник теплонапруженості процесу шліфування зовнішніх поверхонь зовнішніх кілець спричиняють вплив значна кількість технологічних чинників серед яких характеристика та параметри руху різального інструменту, параметри режимів різання, параметри інструментального налагодження, схема шліфування, спосіб охолодження, та ряд фізико-хімічних чинників.

З іншого боку аналіз виробничих дефектів на безцентрово-шліфувальних операціях показав, що до 30% всіх дефектів кілець після шліфування відноситься до температурних. Тому, встановлення раціональних температурних параметрів та їх взаємозв'язків з показниками процесу безцентрового шліфування заготовок кілець в умовах переналагоджувального виробництва є актуальною науково-технічною проблемою та вимагає ретельного аналізу причин походження та видів температурних дефектів та пошуку методів і засобів їх усунення.

Як було сказано вище, температурні дефекти, що виникають на шліфувальних операціях оброблення поверхонь обертання зовнішніх кілець роликотідшипників не тільки негативно впливають на експлуатаційні властивості підшипника, як то довговічність, точність базування, зносостійкість, надійність, а й спричиняють значний вплив на подальші операції шліфування доріжки кочення кільця внаслідок дії принципу технологічної спадковості дефектів між операціями.

Для прикладу, під час шліфування доріжки кочення кільця підшипника серії 7000 заготовка на безцентрово-шліфувальній операції на верстаті SASL5AD базується за допомогою попередньо обробленої зовнішньої циліндричної поверхні, тому неточності базування передаються на неточність оброблення внутрішньої доріжки кочення зовнішнього кільця (рис.2.).

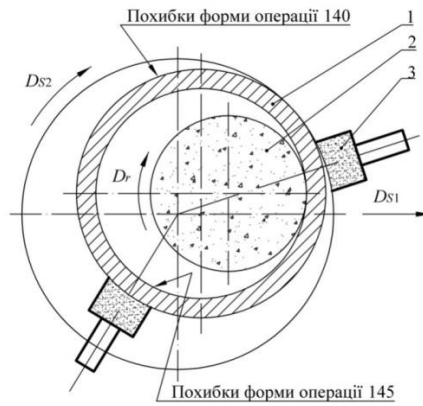


Рис. 2. Схема шліфування доріжки кочення кільця зовнішнього: 1 – заготовка кільця; 2 – головка шліфувальна; 3 – опори

До теплових дефектів під час шліфування відносяться припалення та мікротріщини.

Існує кілька видів припалень, які характерні для процесу шліфування [4, 5]:

1. Поодинокі штрихові припалення внаслідок затуплення чи засалювання зерен, або попадання разом із ЗОР в зону різання шламу;
2. Подряпини по всій шліфованій поверхні, які пов'язані з нерівномірністю властивості матеріалу заготовки, порушенням режимів шліфування, недостатнім підведенням охолоджуючої рідини в зону різання, підвищеною твердістю інструменту, зносом або забрудненням інструменту;
3. Вібраційні подряпини і плями;
4. Плями і подряпини на окремих ділянках у зв'язку з порушенням припуску або геометричної точності заготовки;

Головною причиною виникнення припалення на шліфованій поверхні є збільшення контактної температури, що більша за значення температури під час якої виникають припалення для заготовки в деякій області зони різання.

В результаті аналізу робіт А.В. Якімова [1, 2], В.А. Сипайлова, П.І. Ящеріцина та ін. можна виділити чинники, які безпосередньо впливають на температуру в зоні різання (рис. 3):

1. Властивості матеріалу заготовки;
2. Інтенсивність теплового джерела;
3. Швидкість руху теплового джерела;
4. Інтенсивність охолодження.

Висока контактна температура в зоні різання під час шліфування є не тільки причиною виникнення припалення, але і головною причиною формування в поверхневому шарі заготовки залишкових напружень розтягування, які негативно впливають на втомну міцність деталей [1-3].

Найкращі для заготовки характеристики шліфувального круга (тип абразиву, зернистість, номер структури, тип зв'язки, твердість круга) можуть бути призначені у відповідність з численними рекомендаціями [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

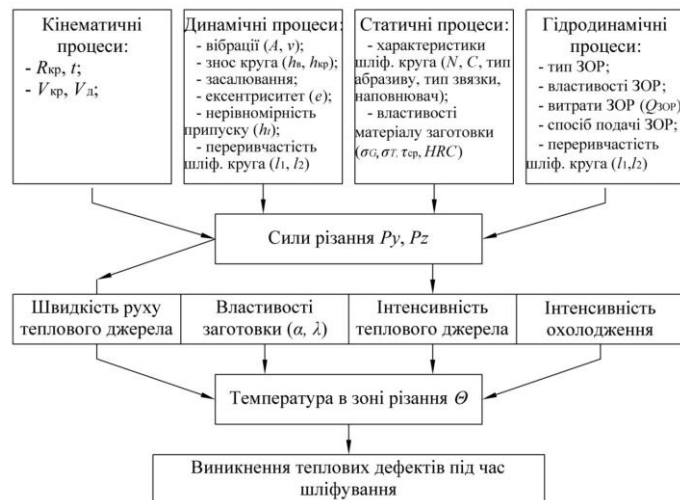


Рис. 3. Класифікація процесів, що впливають на виникнення теплових дефектів

Існують наступні основні напрямки забезпечення регламентованої якості поверхні під час шліфування сплавів типу ШХ, схильних до виникнення теплових дефектів.

1. Вибір характеристик круга (тип абразиву, зернистість, номер структури, твердість, зв'язка);
2. Вибір раціональних або оптимальних режимів різання ;
3. Управління ріжучою здатністю круга безперервною або періодичною правкою, або гідроочищенням;
4. Зниження рівня вібрацій в зоні різання;
5. Управління значеннями складових сил різання;
6. Пружне шліфування;
7. Управління динамікою процесу;
8. Вибір типу та марки ЗОР або заміна способу підведення ЗОР в зону оброблення, в тому числі застосування композиційних, переривчастих або перфорованих шліфувальних кругів [1, 2, 3].

Одним із способів зменшення теплонапруженості процесу шліфування є застосування кругів з низькою твердістю. Такі круги працюють у режимі самозаточування, але мають великий розмірний знос, що призводить до збільшення часу, який витрачається на правку круга. Збільшення твердості круга призводить до того, що круг працює в режимі постійного затуплення, що з одного боку призводить до зниження параметрів шорсткості поверхні [6, 7, 8], а з іншого боку до збільшення тангенціальної сили різання під час зносу зерен і, як наслідок, до підвищення температури в зоні різання [4, 5, 6, 7]. Перевагою шліфувальних кругів більшої твердості є їх висока розмірна стійкість, що є необхідною умовою під час оброблення з високою точністю. Необхідно розробити заходи, які дозволили б застосовувати круги більшої твердості та керувати теплонапруженістю за умови змінних режимів роботи круга під час оброблення сплавів, що схильні до виникнення теплових дефектів.

Матеріал абразивного зерна, твердість і зв'язка круга залежать від матеріалу заготовки, його твердості, а також швидкості обертання круга. Зернистість круга залежить від регламентованих параметрів шорсткості поверхні. В якості ЗОР під час шліфування може використовуватися рідке середовище, твердий мастильний матеріал або ЗОР у вигляді аерозолу. Вибір типу та марки ЗОР здійснюється у відповідності з рекомендаціями, наведеними в довідковій літературі [2]. Проте слід зазначити, що яка б ефективна ЗОР не застосовувалася, вона повністю не вирішує проблему забезпечення шліфування без припалень. [5].

В результаті аналізу існуючих досліджень визначено, що одним з найбільш ефективних способів подачі ЗОР під час безцентрового шліфування сплавів, схильних до теплових дефектів, є подача ЗОР через впадини переривчастого шліфувального круга [2, 3, 4]. Застосування кругів з переривчастою робочою поверхнею дозволяє подавати ЗОР до заготовки в момент переривання різання, знизити теплонапруженість процесу та зменшити ймовірність появи шліфувальних дефектів на поверхні заготовки.

Основними недоліками переривчастих шліфувальних кругів, що обмежують їх технологічні можливості є:

- 1) великий розмірний знос круга, коли робоча площа периферії менша, в порівнянні з суцільним кругом;
- 2) високий рівень вібрацій в технологічній системі;
- 3) деякі різновиди припалів, зазначені вище, не можуть бути усунуті за допомогою відомих переривчастих шліфувальних кругів, наприклад, припали, які зумовлені затупленням або нерівномірним зносом круга, вібраціями в технологічній системі, порушенням припуску або геометричної точності заготовки, неправильним вибором або порушенням режимів різання.

Внаслідок великого розмірного зносу переривчастих кругів рекомендується призначати їх твердість на 2 ступені вище, а зернистість на одну ступінь менше, ніж у звичайних кругів. Збільшення твердості призводить до того, що шліфувальний круг буде працювати переважно в режимі затуплення, що може привести до появи дефектів шліфованої поверхні. Зменшення зернистості також призводить до збільшення теплонапруженості шліфування.

З вище сказаного випливає, що необхідно розробити заходи для усунення недоліків, які властиві для переривчастих кругів і тим самим розширити їхні технологічні можливості, на що і спрямована дана робота. Розрахунок і проектування переривчастих шліфувальних кругів найбільш широко розглянуті в роботах А.В. Якімова [1, 2], в яких наведено формули для визначення довжин

виступів і впадин. Довжина впадини визначається при умові рідинного охолодження за наступною формулою:

$$l_2 = \frac{V_{KP} \cdot \lambda \cdot c \cdot \gamma \cdot 36}{\alpha^2} \quad (1)$$

де V_{KP} – швидкість обертання шліфувального круга, м/с; λ – коефіцієнт питомої теплопровідності заготовки, Вт/(м·°С); C – питома теплоємність заготовки, Дж/(кг·°С); γ – густина заготовки, кг/м³; α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м² · °С).

Під час аналізу літературних джерел за тематикою шліфування переривчастими кругами, виявлено, що недостатньо повно розглянуті питання, пов'язані з впливом динамічних чинників процесу на його ефективність. Під поняттям динамічних чинників процесу шліфування розуміємо наступне:

1. Нерівномірність припуску внаслідок хвилястості вихідної поверхні;
2. Нестабільність фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки;
3. Зміна ріжучої здатності круга в наслідок його затуплення або засалювання;
4. Ексцентриситет і нерівномірний знос шліфувального круга;
5. Вібрації шліфувального круга та заготовки.

Для подальшого вдосконалення високопродуктивного шліфувального інструменту під час оброблення сплавів типу ШХ, які схильні до виникнення теплових дефектів, а також для визначення раціональних режимів оброблення шліфувальним інструментом, необхідно визначити, яким чином кількісно впливають різні динамічні чинники на показники оброблення. Після цього, можна здійснювати керування процесом шліфування з метою підвищення його стабільності, ефективності та продуктивності.

Висновки: Проведено аналіз існуючих розрахункових схем шліфування з позиції теплоутворення і встановлені шляхи технологічного керування теплонапруженістю процесу шліфування. Доведено, що ефективним методом зниження теплонапруженості є застосування шліфування переривчастим абразивним інструментом, однак конструктивні параметри та характеристики переривчастих кругів для безцентрового шліфування мають визначатись за результатами теоретичних та експериментальних досліджень. За допомогою математичного моделювання визначено характер взаємозв'язків параметрів теплового процесу під час безцентрового шліфування кілець з технологічними чинниками шліфувальних операцій.

Інформаційні джерела:

1. Якимов А.В. Прерывистое шлифование / А.В. Якимов, Ю.А. Бояршинов и др. // Вестник машиностроения. – 1967. – №3. – С. 76-78.
2. Якимов О.В. Високопродуктивне шліфування / О.В. Якимов, Ф.В. Новиков. – К.: ІНТМ, 1995. – 180с.
3. Марчук І.В. Керування температурою на безцентрово-шліфувальних операціях / І.В.Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеїві // "Перспективні технології та прилади". Збірник наукових праць. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 133–138.
4. Марчук В.И. Управление параметрами качества рабочих поверхностей колец конических роликоподшипников / В.И. Марчук, В.Т. Михалевич // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: труды 5-й международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК ФЭД, 2002. – С. 127–130.
5. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
6. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167с.
7. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник/ Под ред. С.Г. Энтелеса, Э.М. Берлинера. - М.: Машиностроение, 1986. — 352с., ил.
8. Ящерицын П.И. Шлифование металлов / П.И. Ящерицын, Е.А. Жельнерович. – Минск, 1970. – 249 с.
9. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицын, Э.В. Рыжов, В.И. Аверчиков. – Минск : Наука и техника, 1977. – 255 с.
9. Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин / А.А. Маталин. – М.–Л.: Машгиз, 1956. – 252 с.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2018

УДК 539.3

О.А. Мікуліч, В.І. Шваб'юк*Луцький національний технічний університет***ВЗАЄМОДІЯ СЛАБКИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ З ТУННЕЛЬНИМИ ПОРОЖНИНАМИ У АУКСЕТИК-СЕРЕДОВИЩАХ**

У роботі розроблено аналітико-числовий метод дослідження напруженого стану пінистих середовищ з від'ємним коефіцієнтом Пуассона, що послаблені тунельними порожнинами довільного перерізу за дії слабких ударних хвиль. У рамках псевдоконтинууму Коссера при використанні перетворення Фур'є за часом та модифікації методу граничних інтегральних рівнянь записані інтегральні рівняння першої основної задачі. Для визначення кільцевих напружень на границі порожнин побудовані аналітичні залежності. На основі розробленого методу досліджено зміну з часом кільцевих напружень у пінистих ауксетик-середовищах за різних значень від'ємного коефіцієнту Пуассона.

Ключові слова: пінисті ауксетики, напружений стан, нестационарна задача.

Е.А. Микулич, В.И. Швабьюк*Луцкий национальный технический университет***ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЛАБЫХ УДАРНЫХ ВОЛН С ТУННЕЛЬНЫМ ПОЛОСТЯМИ В АУКСЕТИК-СРЕДАХ**

В работе разработан аналитико-численный метод исследования напряженного состояния пенистых сред с отрицательным коэффициентом Пуассона, ослаблены туннельными полостями произвольного сечения за действия слабых ударных волн. В рамках псевдоконтинуума Коссера при использовании преобразования Фурье по времени и модификации метода граничных интегральных уравнений записаны интегральные уравнения первой основной задачи. Для определения кольцевых напряжений на границе полостей построены аналитические зависимости. Используя разработанный метод исследовано изменение во времени кольцевых напряжений в пенистых ауксетик-средах при различных значениях отрицательного коэффициента Пуассона.

Ключевые слова: пенистые ауксетики, напряженное состояние, нестационарная задача.

O.A. Mikulich, V.I. Shvabyuk*Lutsk National Technical University***INTERACTION OF WEAK SHOCK WAVES WITH TUNNEL CAVITIES IN AUXETIC MEDIA**

This paper proposes the novel analytic numerical method for investigation of the dynamic stress state of foam medium with negative Poisson's ratio with tunnel cavities of the different cross-section under the action of weak shock waves. Applying Fourier transforms for time variable and modification of boundary integral equation method the integral equation for the first exterior problem of Cosserat continuum with constrained micro-rotations are written. The analytical dependencies for determination of dynamic hoop stresses are built. On the basis of the developed method, the time dependence of hoop stresses in auxetic foam medium with tunnel cavities was investigated for different values of negative Poisson's ratio.

Keywords: foam auxetics, stress state, non-stationary problem.

Постановка проблеми. У останні роки істотно зріс інтерес до розробки методів отримання матеріалів з від'ємним коефіцієнтом Пуассона — ауксетиків. Такі дослідження зумовлені широкими перспективами використання цих матеріалів у медицині, військовій промисловості, ракетобудуванні.

Особлива здатність ауксетик-матеріалів розширюватися за розтягу у напрямку, перпендикулярному до прикладеної сили, пояснюється їх шарнірно-подібною структурою.

Такі специфічні властивості ауксетиків відкривають широкі перспективи їх використання у медицині: для виготовлення перев'язувальних матеріалів, що розподіляють ліки при збільшенні ран, виготовленні судинних стентів.

Поряд із методами створення ауксетик-матеріалів, зростає необхідність розробки підходів до дослідження їх напруженого стану, особливо за динамічних та імпульсних навантажень. Численні експерименти показують, що використання апарату класичної теорії пружності до дослідження таких матеріалів дає значні похибки. Для ефективної оцінки їх напруженого стану слід враховувати внутрішній момент кількості руху мікрочастинок, який не можна описати у рамках апарату класичної теорії пружності.

У роботі для дослідження динамічного напруженого стану ауксетик-середовищ використано апарат моментної теорії пружності Коссера зі стисненим обертанням – псевдоконтинууму Коссера [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Велика кількість експериментальних досліджень присвячена вивченню специфічних властивостей матеріалів із від'ємним коефіцієнтам Пуассона,

що відсутні у класичних матеріалах. Так, у роботі Evans К.Е. [2] показано, що модуль зсуву ауксетиків може істотно перевищувати їх об'ємний модуль пружності. Це діаметрально протилежно у порівнянні з класичними матеріалами.

Значна кількість робіт присвячена створенню ауксетик-матеріалів та вивченню їх пружних характеристики у рамках моментної теорії пружності Коссера. У роботах Lakes R. S. [3-8] описано основний метод отримання пінистих ауксетиків, що полягає у всесторонньому стиску вихідного пінистого середовища з нагрівом до температури розм'якшення та подальшого охолодження до кімнатної температури. Аналіз мікроструктури отриманих пінистих ауксетиків показав (рис. 1), що у процесі отримання матеріалу ребра пор прогинаються усередину, тому за розтягу таких тіл поперечний переріз збільшується [9].

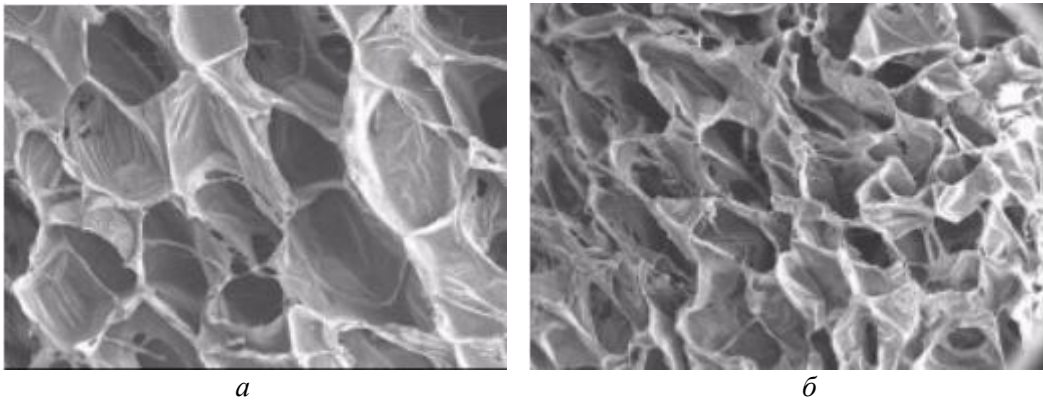


Рис. 1. Аналіз мікроструктури пінистих середовищ з додатнім (а) та від'ємним (б) коефіцієнтом Пуассона [9]

Значна кількість робіт Lakes R. S. та ін. присвячена дослідженню пружних характеристик отриманих матеріалів з від'ємним коефіцієнтом Пуассона.

Метою дослідження є розробка аналітико-числового методу розрахунку динамічного напруженого стану пінистих середовищ із від'ємним коефіцієнтом Пуассона, що послаблені порожнинами довільного перерізу на основі рівнянь моментної теорії пружності зі стисненим обертанням.

Постановка завдань. Розглянемо пружне ізотропне пінисте ауксетик-середовище з тунельною порожниною сталого довільного перерізу. Віднесемо його до декартової системи координат $Ox_1x_2x_3$, яку розмістимо у центрі ваги тіла так, щоб вісь Ox_3 співпадала з віссю порожнини середовища (рис. 2).

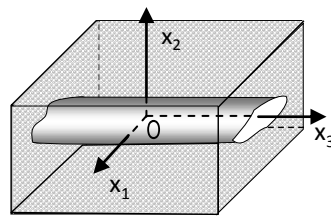


Рис. 2. Моделювання об'єкту дослідження

Дослідимо концентрацію напружень на границі тунельної порожнини у пінистому середовищі з від'ємним коефіцієнтом Пуассона за дії пружної падаючої хвилі, що рухається у напрямку зростаючих значень x_1 , яка, аналогічно до [12], задається наступними потенціалами:

$$\Phi(\mathbf{x}, t) = \Phi_0 f\left(\frac{c_1}{a}t + \frac{x_1}{a}\right), \Psi(\mathbf{x}, t) = 0, \quad (1)$$

де $c_1 = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$ — швидкість хвиль розширення, λ, μ — сталі Ляме, a — деякий характерний розмір, t — час.

Вибір методів дослідження. Відповідно [10], при моделюванні пінистих матеріалів форма комірок вибирається у формі стрижневої конструкції з комірками у вигляді правильних многокутників (рис. 3, а). На основі описаного у роботах Lakes R. S. методу отримання ауксетик-

матеріалів їх структура може бути змодельована у вигляді многокутників з увігнутими зв'язками (рис. 3, б).

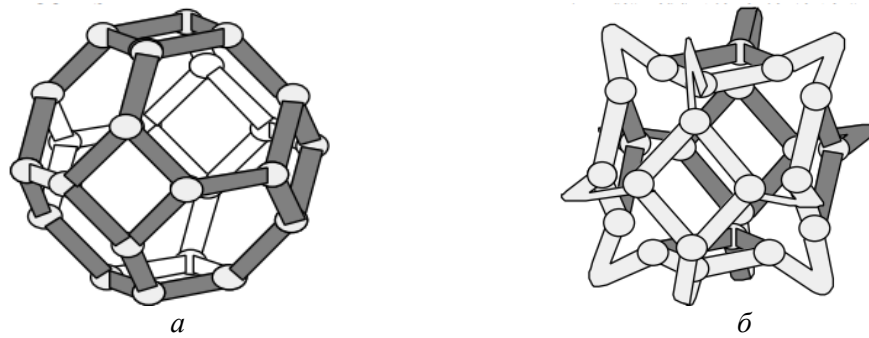


Рис. 3. Ідеалізована структура пінистого матеріалу з додатнім (а) та від'ємним (б) коефіцієнтом Пуассона [10]

Із аналізу деформацій у пінистому середовищі з від'ємним коефіцієнтом Пуассона видно, що за дії навантаження кожна мікрочастинка середовища здійснює не тільки поступальне, а і обертальне переміщення. Кожне мікрообертання частинок середовища пов'язане з їх поступальним переміщенням. Крім того, мікрочастинки пінистого середовища не можуть здійснювати мікрообертання без переміщень (рис. 2).

Тому, у роботі для дослідження напруженого стану ауксетик-середовищ із тунельними порожнинами використано апарат моментного континууму Коссера зі стисненим обертанням [1], де вектор макро- і мікроповоротів співпадають, причому

$$\varpi = \frac{1}{2} \text{rot } \mathbf{u}, \quad (2)$$

де \mathbf{u} — вектор переміщень, ϖ — вектор повороту. Зазначимо, що \mathbf{u} і ϖ є неперервними функціями.

Для плоскої задачі моментного псевдоконтинууму Коссера рівняння руху записується у вигляді:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} + b_j = \rho \frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2}, \quad (3)$$

де u_j — компоненти векторів переміщень, b_j — компоненти вектора об'ємних сил, ρ — густина середовища, σ_{ij} — силові напруження, що з урахуванням (2) у псевдоконтинуумі Коссера визначаються [2]:

$$\sigma_{ij} = \lambda e_{mm} + 2\mu e_{ij} + \frac{\gamma + \varepsilon}{4} \epsilon_{ijk} \Delta \varpi_k, \quad (4)$$

де $\lambda, \mu, \gamma, \varepsilon$ — пружні характеристики середовища у континуумі Коссера, $e_{ij} = (u_{i,j} + u_{j,i})/2$, ϵ_{ijk} — антисиметричний тензор Леві-Чівіта [6].

Викладення основного матеріалу. Для розв'язання поставленої задачі використаємо розроблений у [13] метод, що ґрунтується на сумісному застосуванні перетворення Фур'є за часом та модифікації методу граничних інтегральних рівнянь для псевдоконтинууму Коссера. Граничні умови задачі мають у області Фур'є-зображень вигляд:

$$\hat{\sigma}_n|_L = \hat{\sigma}_n^*(\mathbf{x}, \omega), \quad \hat{\tau}_{sn}|_L = \hat{\tau}_{sn}^*(\mathbf{x}, \omega), \quad (5)$$

де $\hat{\sigma}_n^*(\mathbf{x}, t)$, $\hat{\tau}_{sn}^*(\mathbf{x}, t)$ — Фур'є-зображення відомих на границі функцій, що визначаються з

урахування (1), $\hat{f}(\mathbf{x}, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\mathbf{x}, t) e^{-i\omega t} dt$, $i = \sqrt{-1}$.

Відповідно до розробленого модифікованого методу граничних інтегральних рівнянь [13] потенціальне зображення для переміщень у випадку першої основної задачі виберемо у вигляді:

$$\hat{u}_k(\mathbf{x}, \omega) = \int_L p_j(\mathbf{x}^0, \omega) \cdot U_{jk}^*(\mathbf{x}, \mathbf{x}^0, \omega) dL(\mathbf{x}^0), \quad (6)$$

де p_1, p_2 — невідомі потенціальні функції, $\mathbf{x}^0 = \{x_1^0; x_2^0\}$, U_{jk}^* — зображення фундаментальних функцій для переміщень [13], що побудовані з урахуванням умов випромінювання Зоммерфельда [14].

Відповідно до [13], задовольняючи у області Фур'є-зображень граничні умови (5), інтегральні рівняння задачі запишуться у вигляді:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(q)/2 + \mathbf{v.p.} \int_L (f_1(\mathbf{x}, \mathbf{x}^0) q d\zeta + f_2(\mathbf{x}, \mathbf{x}^0) \bar{q} d\bar{\zeta}) &= \hat{\sigma}_n^*; \\ \mathcal{G}_1 \operatorname{Im} q / 2 + \mathbf{v.p.} \int_L (g_1(\mathbf{x}, \mathbf{x}^0) q d\zeta + g_2(\mathbf{x}, \mathbf{x}^0) \bar{q} d\bar{\zeta}) &= \hat{\tau}_{sn}^*; \end{aligned} \quad (7)$$

де $pds = -iqd\zeta$, $p = p_1 + ip_2$ — невідома функція, $\zeta = x_1^0 + ix_2^0$. $\mathcal{G}_1 = 1 - (\omega l / c_\tau)^2$, $c_\tau = \sqrt{\mu / \rho}$ — швидкість хвиль зсуву, $l = \sqrt{(\gamma + \varepsilon) / (4\mu)}$ — масштабний фактор, f_j, g_j — відомі функції [13]. Тут інтеграли розуміються у сенсі їх головного значення ($\mathbf{v.p.}$).

Система інтегральних рівнянь (7) розв'язувалася числово на основі підходу, розвинутого у [14], що ґрунтується на сумісному використанні методу механічних квадратур та колокації. При цьому для інтегралів, що містять особливості типу Коші, використано квадратурні формули підвищеної точності.

Після визначення невідомих функцій з системи (7), відповідно до [13], розрахунок кільцевих напружень на границі порожнини проводиться на основі формул:

$$\hat{\sigma}_\theta = \mathcal{G}_2 \operatorname{Re} q / 2 + \mathbf{v.p.} \int_L (h_1(\mathbf{x}, \mathbf{x}^0) q d\zeta + h_2(\mathbf{x}, \mathbf{x}^0) \bar{q} d\bar{\zeta}) + \hat{\sigma}_\theta^*, \quad (8)$$

де $\mathcal{G}_1 = (1 - (c_\tau / c_l)^2)$, h_j — відомі функції [13], $\hat{\sigma}_\theta^*$ — відомі функції, що визначаються на основі (4).

Оригінали кільцевих напружень знаходилися з використанням дискретного оберненого перетворення Фур'є:

$$\sigma_\theta(T_k) = \frac{1}{T} \sum_{n=-K}^{K-1} \left(\hat{\sigma}_\theta(\omega_n) \exp\left(2\pi i \frac{n \cdot k}{K}\right) - \hat{\sigma}_\theta^*(\omega_n) \right), \quad (9)$$

де K — кількість елементів дискретної вибірки, $\omega_n = 2\pi n / T$ — частоти вибірки, $T_k = kT / K$, $k = 0..K - 1$ — фіксовані моменти часу.

За числових розрахунків представлення (9) обчислювалося на основі алгоритму швидкого дискретного перетворення Фур'є [16] при $K = 2^m$, де m — ціле додатне число.

Числовий аналіз напруженого стану акустик-середовищ. Числові розрахунки виконаємо для випадку, коли падаюча хвиля задається у вигляді слабкого ударного імпульсу [15]. Фур'є-зображення потенціалу падаючої у напрямі Ox_1 хвилі матиме вигляд:

$$\hat{\Phi}(\mathbf{x}, \omega) = \varphi_0 \frac{a}{c_1} \tilde{f}_* \left(\frac{\omega a}{c_1} \right) e^{\frac{i\omega x_1}{c_1}}; \quad \hat{\Psi}(\mathbf{x}, \omega) = 0,$$

де $\tilde{f}_*(\omega)$ — Фур'є-зображення модуляції імпульсу, що за числових розрахунків приймалася у формі слабкої ударної хвилі [17]:

$$f_*(\tau) = p_* \tau^{n_*} e^{-\alpha_* \tau}, \quad \tau > 0;$$

де p_*, n_*, α_* — сталі, $\tau = c_1 t / a$ — безрозмірний часовий параметр.

У [10], за різних умов стиснення та температури нагріву отримано пінисті ауксетик-матеріали з різними значеннями коефіцієнта Пуассона. У роботі, використовуючи експериментально отримані значення пружних характеристик для пінистих поліуретанів із від'ємним коефіцієнтом Пуассона, проведено розрахунок кільцевих напружень на границі тунельної циліндричної порожнини радіусу a .

На рис.4 наведено результати розрахунку відносних кільцевих напружень для «стисненого» пінистого поліуретану з густиною $\rho = 25 \text{ кг/м}^3$, модулем Юнга $E = 85 \text{ кПа}$, модулем зсуву $G = 115 \text{ кПа}$, коефіцієнтом Пуассона $\nu = -0,26$ та масштабним фактором $l = 1,2 \text{ мм}$. На рис. 5 показано відповідні значення відносних кільцевих напружень для пінистого поліуретану з від'ємним

коефіцієнтом Пуассона $\nu = -0,13$, густиною $\rho = 18 \text{ кг/м}^3$, модулем Юнга $E = 20 \text{ кПа}$, модулем зсуву $G = 45 \text{ кПа}$, масштабним фактором $l = 2,2 \text{ мм}$. За розрахунків вважалося, що $\bar{\sigma}_\theta = \sigma_\theta / \sigma_0$, де $\sigma_0 = 1 \text{ МПа}$.

Для числових розрахунків було вибрано 512 елементів дискретної вибірки для швидкого дискретного перетворення Фур'є та 80 вузлових точок на границі порожнини. При заданні модуляції імпульсу з часом було вибрано наступні параметри: $p_* = 30$; $n_* = 2$; $\alpha_* = 4$. Дослідження проводилися для інтервалу безрозмірного часового параметра $\tau \in [0, 8c_l / a]$.

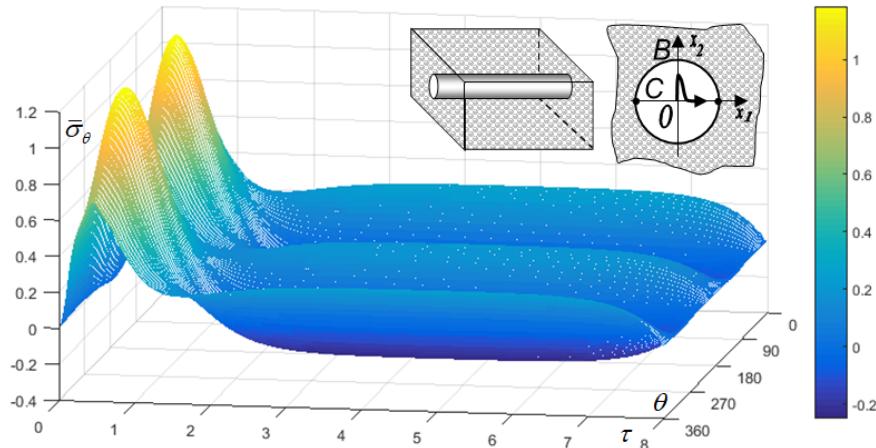


Рис. 4. Розподіл відносних кільцевих напружень у пінистому ауксетик-середовищі з коефіцієнтом Пуассона $\nu = -0,26$

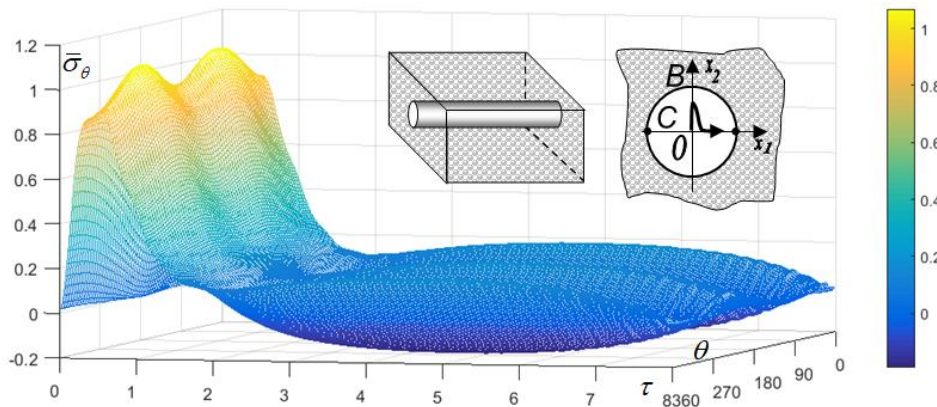


Рис. 5. Розподіл відносних кільцевих напружень у пінистому ауксетик-середовищі з коефіцієнтом Пуассона $\nu = -0,13$

З рис. 4 та 5 видно, що максимальні значення динамічних кільцевих напружень виникають у точці B границі порожнини. Вони становлять $1,185\sigma_0$ для випадку $\nu = -0,26$ та $1,07\sigma_0$ — для $\nu = -0,13$. Максимальні значення кільцевих напружень у точці C , що спричинені впливом відбитих від границі порожнини хвиль, становлять $0,65\sigma_0$ та $0,93\sigma_0$ для $\nu = -0,26$ і $\nu = -0,13$ відповідно.

Числові розрахунки показали, що після проходження слабкої ударної хвилі кільцеві напруження на границі порожнини змінюють знак та затухають. Тобто використання апарату псевдоконтинууму Коссера дає можливість враховувати знакозмінний характер кільцевих напружень. Узгодження отриманих результатів із основними принципами хвильової механіки підтверджує достовірність розробленого методу.

Висновки. В статті модифіковано аналітико-числову методику дослідження поширення пружних хвиль у пінистих середовищах із від'ємним коефіцієнтом Пуассона, що послаблені тунельними порожнинами сталого перерізу. У рамках псевдоконтинууму Коссера, з

використанням перетворення Фур'є за часом та методу інтегральних рівнянь, побудовано інтегральні рівняння першої основної задачі, ядра яких мають особливості типу Коші.

Точність запропонованого методу забезпечується визначенням зображень кільцевих напружень на границі порожнини на основі аналітично-побудованих залежностей.

Розвинений метод можна використовувати для повного аналізу перебігу нестационарних хвильових процесів у пінистих середовищах із від'ємним коефіцієнтом Пуассона, визначивши переміщення на основі залежностей (6).

Список використаних джерел:

1. A. R. Hadjefandiari, G. F. Dargush Couple stress theory for solids // International Journal of Solids and Structures. — 2011. — Vol. 48, Is. 18. — P. 2496-2510.
2. Evans K.E. Auxetic polymers: a new range of materials // Endeavour. — 1991. — Vol. 15, No. 4. — P. 170-174.
3. Kurashige M., Sato M. and Imai K. Mandel and Cryer Problems of Fluid-Saturated Foams with Negative Poisson's Ratio // Acta Mechanica. — 2005. — Vol. 175, No. 1-4. — P. 25-43.
4. C.P. Chen, R.S. Lakes Dynamic wave dispersion and loss properties of conventional and negative Poisson's ratio polymeric cellular materials // Journal of Cellular Polymers. — 1989.—8. — P. 343-359.
5. Lakes R. S. Experimental Micro Mechanics Methods for Conventional and Negative Poisson's Ratio Cellular Solids as Cosserat Continua // Journal of Engineering Materials and Technology. —1991. — Vol. 113. — P. 148-155.
6. Lakes R. S. Physical Meaning of Elastic Constants in Cosserat, Void, and Microstretch Elasticity // Journal of Mechanics of Materials and Structures. —2016. — Vol. 11, No. 3. — P. 217-229.
7. Brandel B., Lakes R.S. Negative Poisson's ratio polyethylene foams // Journal of Material Science. — 2001. — Vol. 36. — P. 5885-5893.
8. Rueger Z., Lakes R.S. Cosserat elasticity of negative Poisson's ratio foam: experiment, Smart Materials and Structures. — 2016. — Vol. 25. — P. 100-108.
9. Brandel B., Lakes R. S. Negative Poisson's ratio polyethylene foams // Journal of Materials Science. — 2001. — Vol. 36. — P. 5885-5893.
10. Friis E.A., Lakes R.S., Park. J.B. Negative Poisson's ratio polymeric and metallic materials // Journal of Material Science. — 1988. — Vol. 23. — P. 4406-4414.
11. Hadjefandiari A.R., Dargush G.F. Boundary element formulation for plane problems in couple stress elasticity. // International Journal for Numerical Methods in Engineering . — 2011. — vol. 89. — PP 618–636.
12. Г.Н. Савин, Н.А. Шульга. Динамическая плоская задача моментной теории упругости. // Прикладная механика. — 1967. — т. 3, вып. 6. — С. 216-221.
13. Шваб'юк В.І., Мікуліч О.А., Шваб'юк В.В. Напружений стан пінистих середовищ із тунельними порожнинами при нестационарному динамічному навантаженні // Проблемы прочности. — 2017. — 6. — С. 99-110.
14. Савин Н.Г. Распределение напряжений около отверстий. — К.: Наукова думка, 1968. —888 с.
15. О.А. Mikulich, V.I. Shvabjuk Interaction of weak shock waves with rectangular meshes in plates. // Odes'kyi Politehnychnyi Universytet. PRATSI. — 2016. vol. 2(49). — PP. 104-110.
16. Т. В. Сидорова, Т. В. Зыкова, К. В. Сафонов. О модификации быстрого одномерного преобразования Фурье по алгоритму Кули–Тьюки. // Вестник СибГАУ. —2015. — Т. 16, № 2. — С. 360–363
17. Я. Пастернак, Г. Сулим, Р. Пастернак . Концентрація динамічних напружень біля тонких пружних включень за умови антиплоскої деформації. // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. — 2013. — вип. 18. — С. 157 -164.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК: 621.671:532.528

О.М. Молошній, М.І. Сотник

Сумський державний університет

КАВИТАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ПІДВІДНОМУ ОБЕРТОВОМУ ОСЬОВОМУ ПРИСТРОЇ ТА РОБОЧОМУ КОЛЕСІ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Робота присвячена аналізу кавітаційних процесів в проточній частині відцентрового насосу двостороннього входу. Розглянуто 2 моделі осьового підвідного пристрою, що сформований циліндричною та дифузornoю ділянкою перед входом в РК, який містить обтічник. В першому випадку стінки осьового підводу є нерухомими, а в другому – обертаються з частотою обертання валу насоса. Аналіз показує, що насос має кавітаційні показники вище середньостатистичних. Кавітація в робочому колесі починається раніше ніж в осьовому підводі. Обертання стінок осьового підвідного пристрою призводить до відривання кавітаційної зони, що знаходяться після звуження поперечного перерізу прохідного каналу, від стінок осьового підвідного пристрою.

Ключові слова: підвід, конфузор, вхідний патрубок, робочеколесо, CFD, кавітаційний запас.

О.Н. Молошній, Н.И. Сотник

КАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОДВОДЯЩЕМ ВРАЩАЮЩЕМСЯ ОСЕВОМ УСТРОЙСТВЕ И РАБОЧЕМ КОЛЕСЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Робота посвящена анализу кавитационных процессов в проточной части центробежного насоса двухстороннего входа. Рассмотрено 2 модели осевого подводного устройства, сформированного цилиндрическим и диффузорным участком перед входом в РК, имеющим обтекатель. В первом случае стенки осевого подвода являются неподвижными, а во втором - вращаются с частотой вращения вала насоса. Анализ показывает, что насос имеет кавитационные показатели выше среднестатистических. Кавитация в рабочем колесе начинается раньше, чем в осевом подводе. Вращения стенок осевого подводного устройства приводит к отрывам кавитационной зоны от стенок осевого подводного устройства.

Ключевые слова: подвод, конфузор, входной патрубок, рабочее колесо, CFD, кавитационный запас.

O. Moloshnyi, M. Sotnyk

CAVITATION PROCESSES IN ROTATING AXIAL INLET DEVICE AND IMPELLER OF CENTRIFUGAL PUMP

The paper is devoted to the analysis of cavitation processes in the flow section of the centrifugal double suction pump. The analysis was conducted using a numerical simulation of the workflow in the ANSYS CFX software environment. Two models of the axial inlet device, which is formed by a cylindrical and diffusional section in front of the impeller entry, which contains a fairing, are considered. In the first case, the walls of the axial inlet device are stationary, and in the second case, they rotate with the pump shaft rotation speed. The numerical experiment was carried out subject to the change in the absolute pressure at the inlet and the mass flow at the outlet. The analysis shows that the pump has cavitation rates above the average. The zones of cavitation appearance in the axial intake are after narrowing the cross-section of the passage channel and at the beginning of the diffuser. The cavitation in the impeller starts earlier than in the axial intake. The rotation of the walls of the axial inlet device causes the cavitation zone which is located after narrowing of the cross-section of the passage channel to tear off from the walls of the axial inlet device.

Keywords: inlet chamber, inlet nozzle, intake section, suction casing, CFD, NPSH.

Постановка проблеми. Кавітація вважається одним з негативних явищ, які можуть відбуватися у проточній частині насоса. Вона призводить до руйнування матеріалу конструктивних елементів проточної частини, виникнення вібрації та шуму, зниження напору і енергоефективності роботи (коефіцієнту корисної дії) насоса. Тому вчені приділяють багато уваги дослідженню кавітації та шляхів зниження імовірності її виникнення в насосах. Як відомо, одним з факторів, що впливає на кавітаційні характеристики насоса, є структура потоку рідини на вході в робоче колесо (РК) насоса. Вона визначається формою підвідного пристрою, геометрією вхідної частини РК, конструкцією передвключеного гвинта або шнека.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з методів запобігання виникненню кавітації в робочому колесі (РК) відцентрового насоса є додаткове встановлення шнеку перед ним [1, 2 та 3]. Крім того, Єлін [4] розглядає можливість покращення ефективності функціонування шнека за рахунок додаткового обладнання проточної частини насоса негладкою статорною втулкою. Хоча, використання шнека вважається ефективним способом боротьби з кавітацією існує багато інших способів. Шуанг та ін. [5] отримали кращу кавітаційну характеристику насоса двостороннього входу з профільованими лопатками РК ніж з радіальними. Ксіє та ін. [6] покращили кавітаційну характеристику насоса завдяки виконанню отворів у лопатках РК поблизу вхідних кромки. Сі та ін. [7] виявили покращення кавітаційної характеристики відцентрового насоса при додатковому введенні струйного потоку рідини в підвідний пристрій насоса. Проте,

при збільшенні подачі цього потоку кавітаційна характеристика погіршувалася. Тан та ін.[8, 9] виявили погіршення кавітаційної характеристики у випадку регулювання насосу закручуванням потоку рідини вхідними статорними лопатками перед РК. При цьому спостерігалось незначне підвищення напору і ККД. Хергт та ін. [10] описали найвідоміші способи підвищення кавітаційної характеристики. Автори відмітили вплив дифузора на зменшення довжини зони рециркуляції та зниження ризику виникнення кавітації. Крім того, Гуліх [11] відмітив ефективність використання діафрагми для зниження кавітації.

Мета роботи. Провести дослідження кавітаційних процесів в РК та осьовому підвідному пристрої (ОПП) з обертовими стінками. Порівняти кавітаційні характеристики насоса за умов наявності та відсутності обертання стінок осьового підводу.

Матеріали та методи. Параметри відцентрового насоса двостороннього входу: номінальна подача $Q_{ном} = 50 \text{ м}^3/\text{год}$, номінальний напір $H=48 \text{ м}$, швидкість обертання ротору $n=2900 \text{ об/хв}$, коефіцієнт швидкохідності $n_s = 48$, діаметр вхідної воронки РК $D_0 = 75 \text{ мм}$, зовнішній діаметр РК $D_2 = 202 \text{ мм}$, кількість лопатей РК 7.

Осьовий підвідний пристрій насоса являє собою порожнистий вал, який одночасно також є валом електронасосу[12]. Підвідний пристрій сформовано циліндричною та дифузornoю ділянкою перед входом в РК, що містить обтічник конусної форми (рис. 1). Крім того, перед осьовим підвідним пристроєм розміщена циліндрична ділянка корпусу.

Числове моделювання течії рідини проведено для 2 моделей осьового підвідного пристрою (рис. 1). Конструкція моделі №2 додатково містить раптове розширення на виході з дифузornoї ділянки. Діаметр циліндричної ділянки d та вхідного патрубку $D_{вх}$ становить 45 мм і 65 мм відповідно. Довжина ділянки ОПП, що обертається, $L = 227 \text{ мм}$, нерухомої частини корпусу $l = 40$. Довжина обтічника ($l_{об}$) та дифузornoї ділянки підводу ($l_{диф}$) відповідно 37 мм та 50 мм, зовнішній ($D_{вих}$) діаметри виходу з ОПП в моделі №1 та №2 відповідно 75 мм та 71 мм. Внутрішній діаметр виходу ($d_{вих}$) з підвідного пристрою 40 мм. Габаритні розміри ОПП обмежені габаритами корпусу електронасосу.

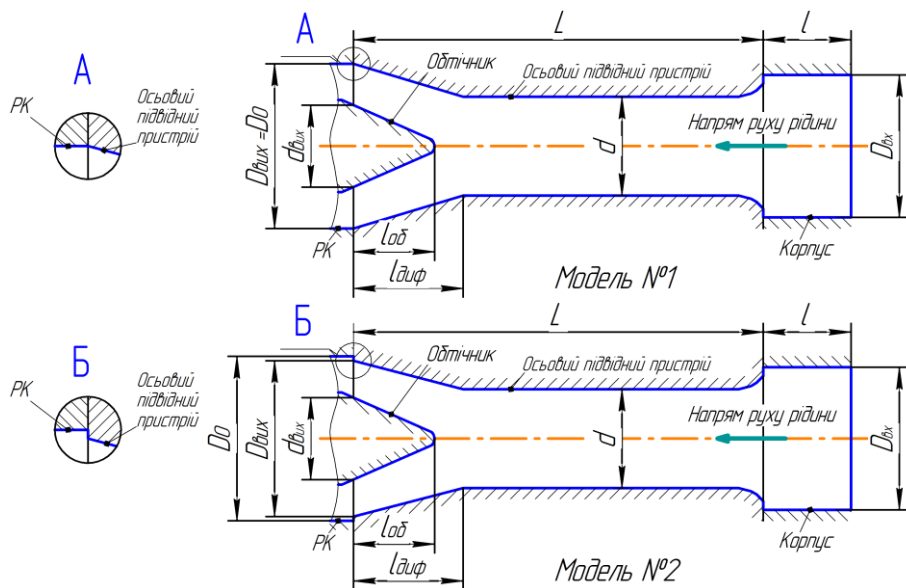


Рис. 1. Схема осьового підвідного пристрою: а) модель № 1- базовий варіант конструкції ОПП; б) модель № 2 - конструкція ОПП з раптовим розширенням на вході перед РК

Твердотільна модель розрахункової області рідини відцентрового насоса двостороннього входу містить підвідну та відвідну труби, ОПП, робоче колесо та кільцевий відвідний пристрій з направляючим апаратом (рис. 2 а). При їх створенні було здійснено спрощення геометрії шляхом припущення щодо відсутності пазух в насосному агрегаті та симетричності потоків відносно робочого колеса насоса двостороннього входу для зменшення складності сітки та підвищення швидкості розрахунку.

Неструктурована розрахункова сітка створена за допомогою програмного продукту ICEM-CFD (рис. 2). Розмір величини комірок вибраний шляхом проведення дослідження на сіткову незалежність. Поблизу вхідних і вихідних кромek лопатей сітка додатково згущена (рис. 2б). Поблизу твердих стінок в пограничному шарі були створені шари призматичних комірок (рис. 2

в). Загальна кількість комірок розрахункової області рідини насоса становить близько 5,3 млн. Осьовий підвід, РК та відвід містять відповідно 1,15 млн, 2,4 млн та 1,65 млн елементів.

Числове моделювання течії рідини в проточній частині насоса проведено з використанням програмного комплексу ANSYS CFX. Для отримання кавітаційних характеристик використовувалися модель Rayleigh-Plesset, стандартна $k-\epsilon$ модель турбулентності, рівняння Рейнольдса та рівняння нерозривності [13]. Граничні умови: тиск на вході і масова витрата на виході. Розрахунок проведено за номінальної подачі. Робоча рідина – вода з температурою 25 °С. Тиск насичених парів 3167 Па. Шорсткість поверхонь осьового підвідного пристрою прийнята 6,3 мкм.

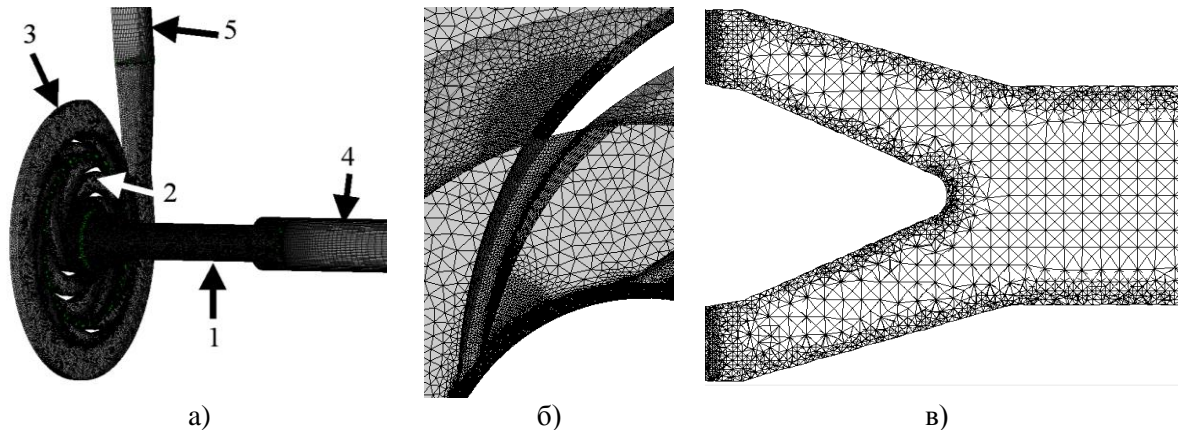


Рис. 2. Приклад сітки: а) розрахункова область рідини насоса: 1 – осьовий підвідний пристрій, 2 – робоче колесо, 3 – відвідний пристрій, 4 - підвідна труба, 5 – відвідна труба; б) сітка поблизу вхідної кромки лопаті РК; в) дифузійна ділянка розрахункової області рідини осьового підвідного пристрою

Аналіз результатів. За результатами числового моделювання визначена кавітаційна характеристика насоса за номінальної подачі при нерухомому ОПП ($n_{\text{ОПП}} = 0$) та його обертанні ($n_{\text{ОПП}} = 2900$ об/хв.) (рис. 3). Кавітаційні характеристики для моделі №1 та №2 є якісно та кількісно подібними незважаючи на введення раптового розширення на виході з підвідного пристрою та умови нерухомості його стінок. Хоча, незначні відмінності у величині напору між моделями спостерігаються при кавітаційному запасі (Δh) в діапазоні 1,5 – 5 м. В моделі №2 спостерігається більш явне вираження незначного падіння напору, а потім його зростання. Однак, вказані розбіжності не впливають на величину критичного кавітаційного запасу ($\Delta h_{\text{кр}}$), який визначається падінням величини напору на 3 %. Він становить 1,25 м відповідно за номінальної подачі для обох моделей. Допустимий кавітаційний запас ($\Delta h_{\text{дон}}$) 1,625 м [14].

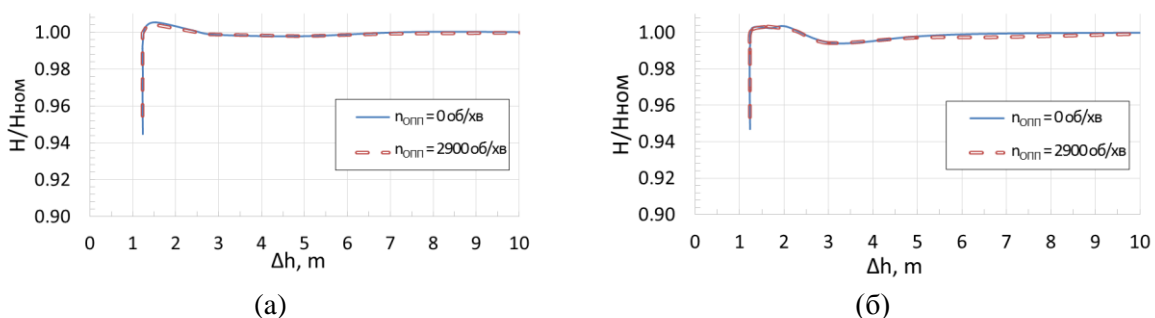


Рис.3. Кавітаційні характеристики: а) модель №1; б) модель №2

Важливим критерієм виникнення кавітації в насосі є кавітаційний коефіцієнт швидкохідності C [15]. В першу чергу цей показник характеризує умови входу рідини, що перекачується, в РК і для геометрично подібних насосів є сталою величиною [15]. Розрахована величина кавітаційного коефіцієнта швидкохідності за $Q_{\text{ном}}$ для обох моделей становить 1149. Для відцентрових насосів ця величина зазвичай є в межах 560 – 860 [16]. А згідно [11] для стандартного РК з осьовим або напівспіральним підвідним пристроєм знаходиться у діапазоні 900 – 1236. Тобто, конструктивно досліджуваний насос відповідає стандартним показникам.

Перші прояви кавітації в РК за подачі $Q_{ном}$ спостерігаються при величині Δh 6,9 м. Вони з'являються на тильних поверхнях вхідної частини лопатей і майже не впливають на напірну характеристику насосу (рис. 4а). При зниженні Δh відбувається збільшення зони кавітації та об'єму пари (рис. 4б). При цьому, величина $\Delta h_{доп}$ не задовольняє умови безпечної безкавітаційної експлуатації. При $\Delta h_{кр}$ спостерігається значна зона кавітації на тильних поверхнях вхідної частини лопатей, яка за об'ємом займає 2/3 міжлопатєвого простору (рис. 4в).

Для обох моделей ОПП та за обох умов їх функціонування розподіл об'єму фракції пари, а відповідно і зон кавітації є однаковий (рис. 5). Це спричинено незначним впливом зміни параметрів ОПП на робочий процес насосу, в тому числі, і на процес виникнення та розвиток кавітаційних процесів в РК.

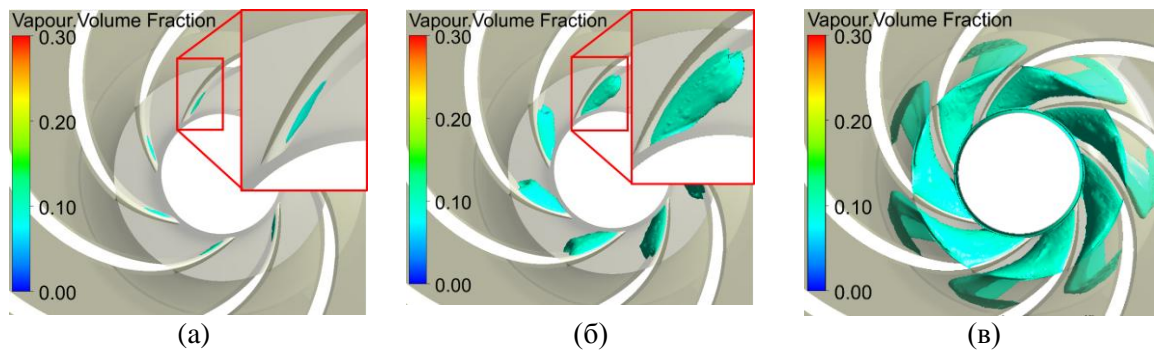


Рис. 4. Структура зон кавітації в РК при $Q_{ном}$:
(а) $\Delta h = 6,9$ м, (б) $\Delta h = 2,8$ м, (в) $\Delta h_{кр} = 1,25$ м

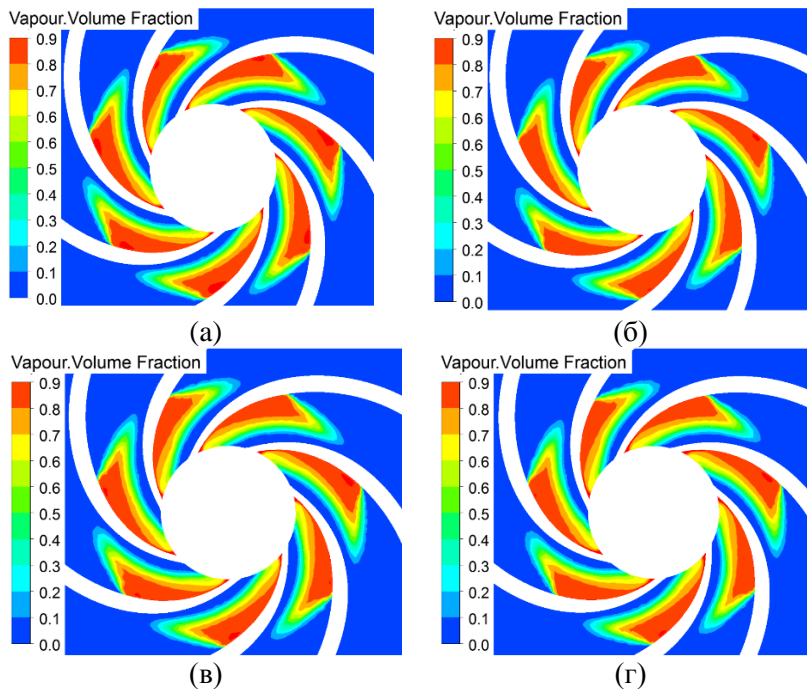


Рис. 5. Розподіл об'єму фракції пари при $\Delta h_{кр}$:
(а) Модель №1, $n_{ОПП} = 0$ об/хв; (б) Модель №1, $n_{ОПП} = 2900$ об/хв;
(в) Модель №2, $n_{ОПП} = 0$ об/хв; (г) Модель №2, $n_{ОПП} = 2900$ об/хв.

В РК за розглянутих параметрів ОПП картина розподілу тиску є однаковою і змінюється лише при зміні значення NPSP (рис. 6). Слід зауважити, що представлений переріз РК для $\Delta h = 6,9$ м не співпадає з зоною початку кавітації. Тому мінімальна величина абсолютного тиску в РК на рис. 6а) є вищою, ніж тиск насичених парів.

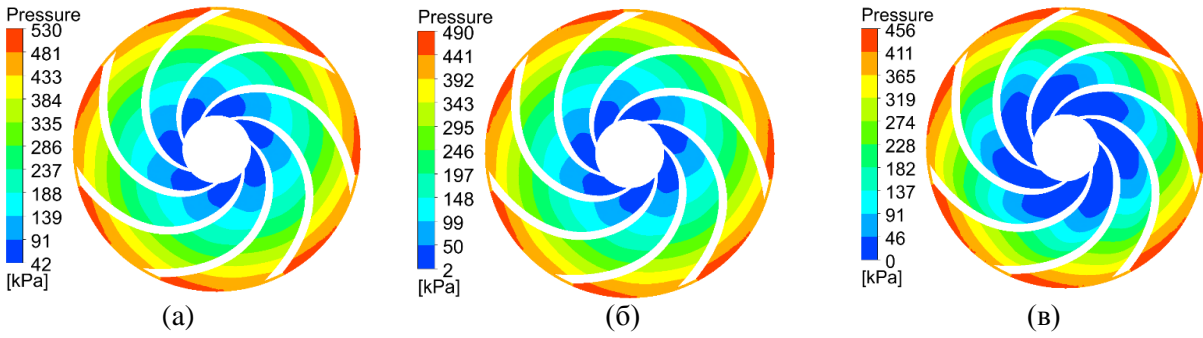


Рис.6. Розподіл абсолютного тиску в РК при $Q_{ном}$:
 (а) $\Delta h = 6,9$ м, (б) $\Delta h = 2,8$ м, (в) $\Delta h_{кр} = 1,25$ м

Кавітація в ОПП виникає за $\Delta h = 1,33$ м. Слід зауважити, що кавітація в РК починається раніше ніж в ОПП. При цьому значення допустимого кавітаційного запасу для РК є вищим того, при якому з'являються перші прояви кавітації в підводі. Тобто, в першу чергу негативному впливу кавітації буде піддаватися РК. В ОПП кавітація майже одночасно з'являється в двох зонах (рис. 7а), 7в). Перша зона – зона після звуження поперечного перерізу прохідного каналу. Друга зона - зона на початку дифузornoї ділянки. В досліджуваних випадках зони виникнення кавітації в ОПП є ті ж самі. При зниженні величин Δh ці зони швидко зростають. Відповідно, за $\Delta h_{кр}$ зона кавітації займає значний об'єм ОПП (рис. 7б), 7г). Крім того, форми кавітаційних зон є різні.

Для моделі №2 розмір другої зони кавітації більший (рис. 8, рис. 9), ніж першої, що спричинено змінною геометрією дифузornoї ділянки. Умова обертання стінок впливає на форму першої зони кавітації. За відсутності обертання, прямолінійний потік рідини з меншою швидкістю біля стінок спричинює «прилипання» кавітаційної зони до стінок (рис. 10). Для більшої інформативності ілюстрації поперечні перерізи на рис. 10 показано еліптичними. За наявності обертання стінок перша зона має відривний характер для обох моделей (рис. 8, рис.9). Вірогідно, це спричинено особливостями закручування потоку біля стінок ОПП, який розширює та «розмиває» зону кавітації (рис. 10). Крім цього, за $\Delta h_{кр}$ явище кавітації спостерігається в третій зоні, що знаходиться біля обтічника на виході з дифузору (рис 9).

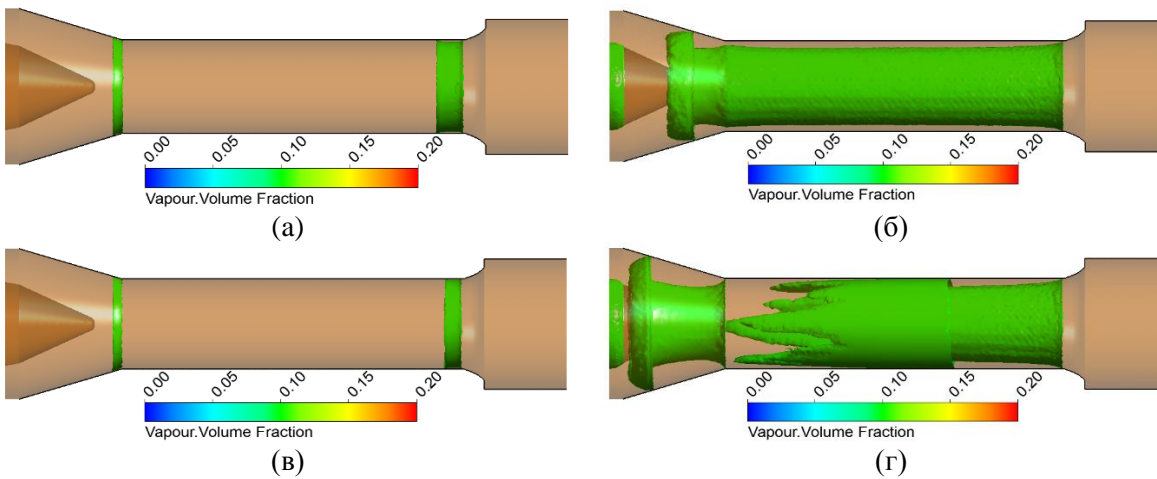
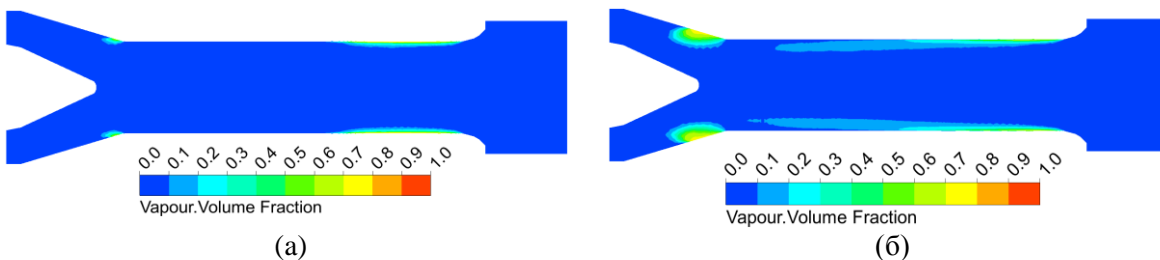


Рис.7. Структура зон кавітації в ОПП $Q_{ном}$:
 (а) $\Delta h = 1,3$ м, $n_{ОПП} = 0$ об/хв, (б) $\Delta h_{кр} = 1,25$ м, $n_{ОПП} = 0$ об/хв,
 (в) $\Delta h = 1,33$ м, $n_{ОПП} = 2900$ об/хв, (г) $\Delta h_{кр} = 1,25$ м, $n_{ОПП} = 2900$ об/хв.



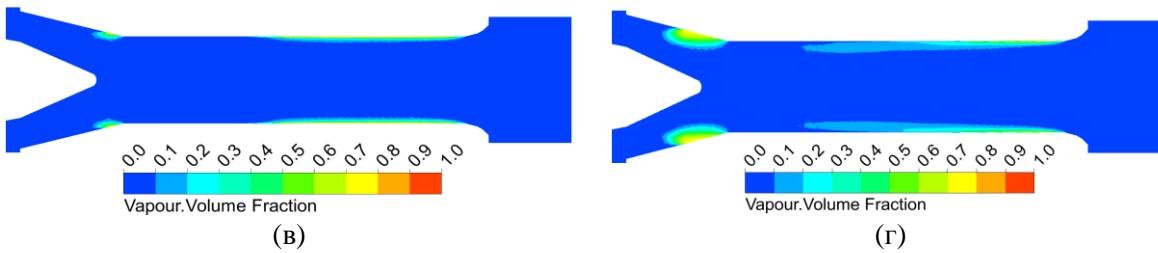


Рис.8. Картина розподілу об'єму фракції пари при $\Delta h = 1,25$ м (1% падіння величини напору): (а) Модель №1, $n_{OPP} = 0$ об/хв; (б) Модель №1, $n_{OPP} = 2900$ об/хв; (в) Модель №2, $n_{OPP} = 0$ об/хв; (г) Модель №2, $n_{OPP} = 2900$ об/хв.

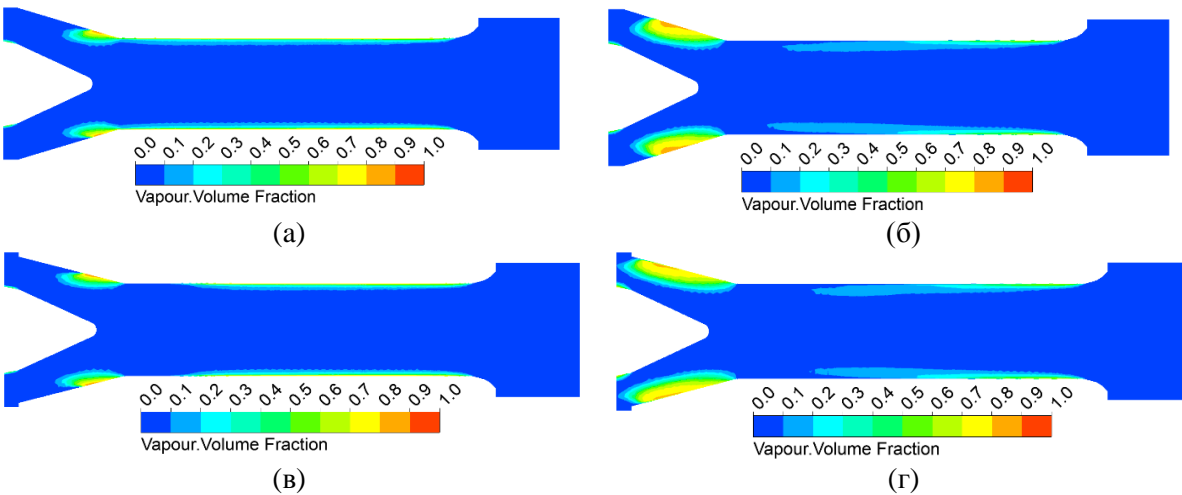
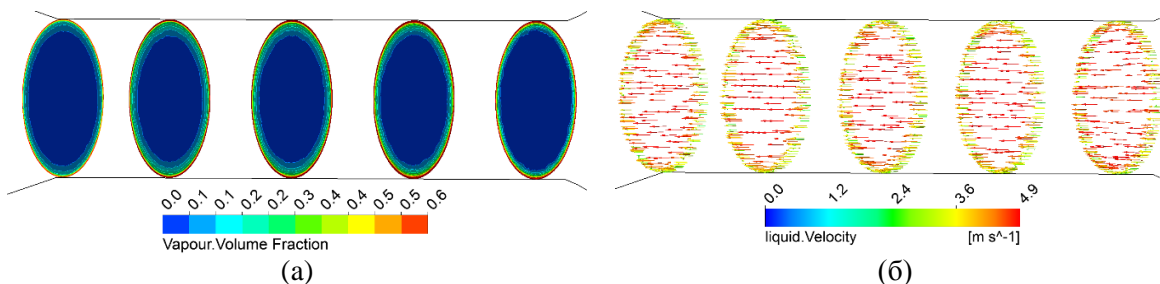


Рис.9. Картина розподілу об'єму фракції пари при $\Delta h_{кр} = 1,25$ м: (а) Модель №1, $n_{OPP} = 0$ об/хв; (б) Модель №1, $n_{OPP} = 2900$ об/хв; (в) Модель №2, $n_{OPP} = 0$ об/хв; (г) Модель №2, $n_{OPP} = 2900$ об/хв.

Картина розподілу абсолютного тиску в підводі демонструє зони пониженого тиску (рис.11), що відповідають зонам виникнення кавітації. Перша – після звуження поперечного перерізу, друга – на початку дифузornoї ділянки і третя – біля обтічника на виході з дифузору. Перша та третя – це зони підвищення швидкості, а друга – це зона місцевого завихрення рідини. Вони спричинені зміною площі поперечного перерізу прохідного каналу та напрямком руху рідини (обтікання стінок рідиною). Відповідно, при проходженні цих зон в рідині відбувається значне зниження тиску, що призводить до виникнення кавітації.

Характер розподілу абсолютного тиску для обох моделей є подібним при відповідних значеннях $\Delta h_{кр}$ (рис. 11). Хоч мінімальна величина абсолютного тиску в моделі №1 є менша ніж в моделі №2, (в межах від 0,1 кПа до 0,18 кПа) кавітаційні зони є більшими саме в моделі №2 через більші зони низького тиску. Розміри зон низького тиску співпадають з розмірами зон кавітацій.

Для усунення першої зони зниження абсолютного тиску потрібно усунути зміну діаметрів на вході в ОПП. Тобто, зменшити діаметр входу в насос до величини діаметру циліндричної ділянки підвідного пристрою. Для усунення другої зони необхідно усунути різкий перехід від циліндричної до дифузornoї ділянки ОПП з використанням (як один з варіантів) подвійного (двоступеневого) дифузора.



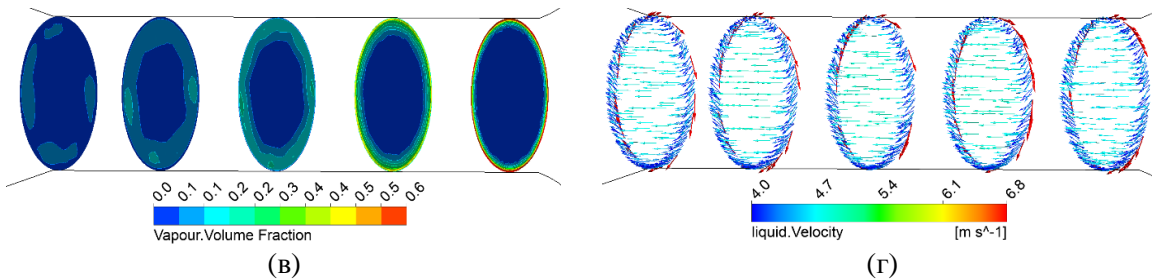


Рис.10. Поперечні перерізи ОПД моделі №1 при $NPSp_3 = 1,25$ м:
 (а) розподіл об'єму фракції пари, $n_{ОПД} = 0$ об/хв; (б) розподіл векторів абсолютної швидкості рідини, $n_{ОПД} = 0$ об/хв; (в) розподіл об'єму фракції пари, $n_{ОПД} = 2900$ об/хв; (г) розподіл векторів абсолютної швидкості рідини, $n_{ОПД} = 2900$ об/хв

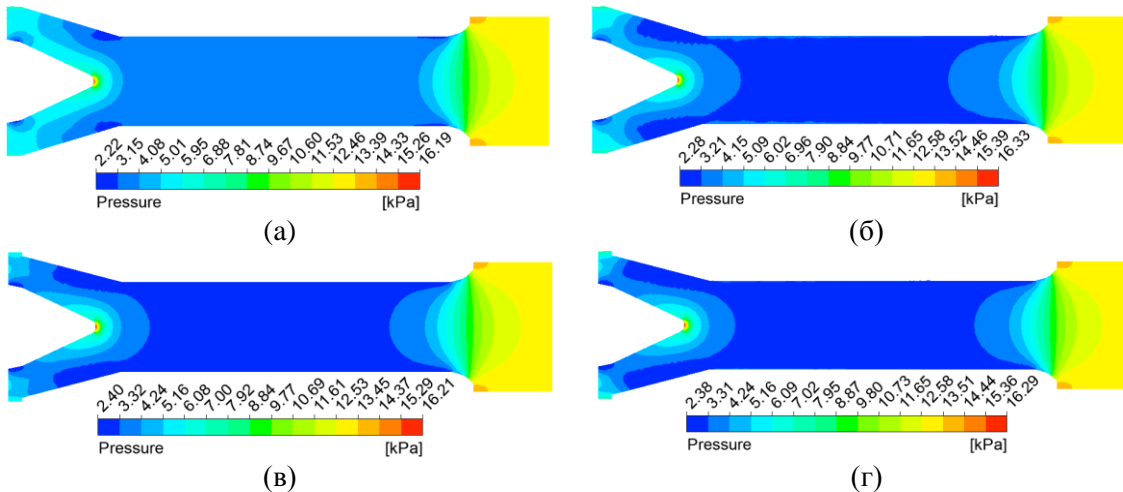


Рис.11. Розподіл абсолютного тиску в підводі, $\Delta h_{кр} = 1,25$ м:
 (а) Модель №1, $n_{ОПД} = 0$ об/хв; (б) Модель №1, $n_{ОПД} = 2900$ об/хв;
 (в) Модель №2, $n_{ОПД} = 0$ об/хв; (г) Модель №2, $n_{ОПД} = 2900$ об/хв.

Висновки. Аналіз представлених результатів числового моделювання робочого процесу у відцентровому насосі двостороннього входу за умови зміни геометричних параметрів дифузornoї ділянки осевого підводу та умов наявності і відсутності обертання його стінок за номінальної подачі дає можливість зробити наступні висновки:

1) Для обох моделей $\Delta h_{кр}$ становить 1,25 м відповідно за номінальної подачі. $\Delta h_{доп}$ відповідно становить 1,625 м. Кавітаційний коефіцієнт швидкохідності за номінальної подачі для обох моделей становить 1149 і є вищим ніж для звичайних відцентрових насосів. При цьому, для роботи насоса без жодних проявів кавітації необхідно забезпечити Δh більше 7 м.

2) Кавітація в РК починається раніше ніж в осевому підводі, тобто досліджена конструкція ОПД не буде піддаватися руйнуванню при дотриманні вимог забезпечення безкавітаційної роботи РК.

3) Зміна геометричних параметрів дифузornoї ділянки осевого підводу не впливає на кавітаційні характеристики РК, проте збільшує зони кавітації в ОПД.

4) Обертання ОПД спричинює закручування потоку біля його стінок і, як наслідок, відриває від стінок та «розмиває» зону кавітації, чим збільшує її об'єм.

5) Результати проведених досліджень показують, що для покращення кавітаційної характеристики осевого підводу відцентрового насоса розглянутої конструкції потрібно зменшити діаметр входу в насос до величини діаметру циліндричної ділянки підвідного пристрою, а також усунути різкий перехід від циліндричної до дифузornoї ділянки осевого підвідного пристрою.

Список літератури

1. Єлін О.В., Ткач П.Ю. Кавітаційно-ерозійні якості насосів зі шнековідцентровим ступенем: сучасний стан проблеми та перспектива розвитку / О.В. Єлін, П.Ю. Ткач // Прикладна гідромеханіка, гідромашини і гідропневмоагрегати. – 2013. – 2(40). – С. 60-66.

2. Guo X Analysis of cavitation performance of inducers, centrifugal pumps / Guo X, Zhu Z, Cui B and Li Y // *Centrifugal Pumps*. – 2012. – С. 14.
3. Овсянников Б.В. Теория и расчет насосов жидкостных ракетных двигателей / Овсянников Б.В. – М.: Государственное научно-техническое издательство ОБОРОНГИЗ, 1960. – 246 с.
4. Єлін О.В. Дослідження можливості підвищення всмоктувальної здатності шнекововідцентрового ступеня без зміни геометрії передвключеного і робочого колеса / Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2013.– № 4. – 7-16 С.
5. Zhuang B. Cavitation in a Shaft-less Double Suction Centrifugal Miniature Pump / Baotang Zhuang, Xianwu Luo, Lei Zhu, Xin Wang, and Hongyuan Xu // *International Journal of Fluid Machinery and Systems*. – 2011. – Vol. 4, No. 1. – С. 191-198.
6. Xie S.F. Optimization of centrifugal pump cavitation performance based on CFD / Xie S.F., Wang Y., Liu Z.C., Zhu Z. T., Ning C. and Zhao L. F. // *International Symposium of Cavitation and Multiphase Flow (ISCM 2014) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. –2015. – № 72. – С6.
7. Si Q. Investigation on the influence of jetting equipment on the characteristics of centrifugal pump / Si Q., Yuan S., Yuan J., Bois G. // *Advances in Mechanical Eng.* – 2016. – Vol. 8(8), С. 1–11.
8. Lei Tan Influence of Prewhirl Regulation by Inlet Guide Vanes on Cavitation Performance of a Centrifugal Pump / Lei Tan , Baoshan Zhu , Shuliang Cao , Yuchuan Wang and Binbin Wang // *Energies*. – 2014. – Vol 7, С. 1050-1065.
9. Tan L. Cavitation performance and flow characteristic in a centrifugal pump with inlet guide vanes / Tan L., Zha L., Cao S. L., Wang Y. C. and Gui S. B. // *International Symposium of Cavitation and Multiphase Flow (ISCM 2014) IOP Conf. Series: Materials Sci. and Eng* – 2015. – Vol.72.
10. Peter H. The suction performance of centrifugal pumps possibilities and limits of improvements / Peter H, Nicklas A, Mollenkopf G and Brodersen S // *Proceedings of the international pump users symposium, Texas A&M University system*. – 1996. – С. 13-26.
11. Gülich J. F. *Centrifugal Pumps*, 3rd Edition / Gülich J. F. – Springer: Berlin, Heidelberg, New York, 2014. – 1146 с.
12. Патент України № 111380 U МПК F04D 13/06, F04D 7/02. Герметичний насос двостороннього входу з електроприводом / М.І. Сотник, О.М. Молошний, А.К. Чорноброва; Заявл.22.04.16; опубл. 10.11.16. Бюл.№21, 2016.
13. ANSYS CFX Reference Guide, Release 15.0. 2013. <http://www.ansys.com>
14. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ. 2008. 100 с. (Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации).
15. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных насосах / Карелин В.Я. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 256 с.
16. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных насосах. Изд. Второе, переработанное и дополненное / Карелин В.Я. – М.: Машиностроение, 1975. – 334 с.

Рецензент:

Ляпощенко О.О. доцент, д.т.н. Сумського державного університету

Стаття надійшла до редакції 06.03.2018

УДК 629.083

І.О. Назаров¹, О.І. Назаров¹, Д.М. Клец¹, В.А. Цибульський¹
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ У ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

Розглянуто заходи щодо підвищення безпеки використання легкових автомобілів за критеріями зміни коефіцієнта міжосьового розподілу гальмівних сил, величини вповільнення та гальмівного шляху із врахуванням експлуатаційних умов і аеродинамічного фактора при використанні гальмівних приводів із комбінованою чи бортовою схемою включення контурів, які реалізують нерівномірність розподілу гальмівних сил між бортами.

Ключові слова: легковий автомобіль, безпека використання, вповільнення, гальмівний шлях, експлуатаційні умови, аеродинамічний фактор, нерівномірний розподіл гальмівних сил між бортами.

И.А. Назаров¹, А.И. Назаров¹, Д.М. Клец¹, В.А. Цыбульский¹

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены меры по повышению безопасности использования легковых автомобилей по критериям изменения коэффициента межосевого распределения тормозных сил, величины замедления и тормозного пути с учетом эксплуатационных условий и аэродинамического фактора при использовании тормозных приводов с комбинированной или бортовой схемой включения контуров, которые реализуют неравномерность распределения тормозных сил между бортами.

Ключевые слова: легковой автомобиль, безопасность использования, замедление, тормозной путь, эксплуатационные условия, аэродинамический фактор, неравномерное распределение тормозных сил между бортами.

I.A. Nazarov¹, A.I. Nazarov¹, D.M. Klets¹, V.A. Tsybulsky¹

Kharkov National Automobile and Highway University

IMPROVING THE SAFETY OF USE OF PASS VEHICLES IN OPERATING CONDITIONS

Measures are considered to increase the safety of passenger cars using the criteria for changing the coefficient of inter axle distribution of braking forces, the magnitude of deceleration and the stopping distance, taking into account operating conditions and the aerodynamic factor when using brake actuators with a combined or on-board circuit for switching contours that realize unevenness distribution of brake forces between the sides.

However, during operation on a passenger car, there is a large number of external forces that can lead not only to the uneven distribution of normal loads between the axles, but also between the wheels of the same axes, that is, to the cross-sectional unevenness.

The analysis of inhibition of passenger cars in the operating conditions shows that on the wheels of different sides when moving on a flat horizontal road under the influence of a side wind, as well as on roads with a transverse and longitudinal bias or with a fixed curvature radius, different sizes of normal loads take place.

Keywords: passenger car, safety of use, deceleration, stopping distance, operating conditions, aerodynamic factor, uneven distribution of braking forces between the sides.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими завданнями. Стрімкий ріст парку експлуатованих легкових автомобілів на території України, котрий за станом на 2017 р. налічує близько 6,9 млн. одиниць, серед яких обладнані виключно АБС становлять 19%, а не обладнані АБС всього 4%, а також прогнозоване зростання інтенсивності й швидкості руху, вимагає посилення вимог до безпеки їх використання[1].

Вимогами чинних міжнародних і вітчизняних стандартів встановлюється використання АБС або систем, які дублюють їх роботу, в гальмівних системах сучасних легкових автомобілів. Однак, для експлуатованих легкових автомобілів, гальмівні системи яких не обладнано та обладнано виключно АБС, економічно доцільним і технічно здійсненним є застосування вдосконалених гальмівних приводів, які реалізують нерівномірність розподілу гальмівних сил між бортами, що веде до підвищення гальмівних властивостей.

Проблема розв'язувалась у відповідності до плану науково-дослідних робіт за напрямом «Покращення гальмівних властивостей експлуатованих легкових автомобілів, обладнаних антиблокувальними системами», які виконувалися в період з 01.12.2013 по 30.11.2017 р., номер державної реєстрації 0115u0026.57.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомо, що вимогами діючих як міжнародних, так і національних стандартів, як необхідного критерію оцінки безпеки використання експлуатованого легкового автомобіля, є забезпечення ефективності та стабільності функціонування всіх елементів його гальмівної системи при екстрених гальмуваннях.

У відомих літературних джерелах вказується [2–7], що фактори, які викликають зміну показників гальмівних властивостей легкових автомобілів, носять випадковий характер і визначаються їх конструктивними та експлуатаційними факторами. Найбільш важливими з них є значення коефіцієнта зчеплення шини з опорною поверхнею дороги, коефіцієнта розподілу гальмівних сил, положення центру мас і метacentру автомобіля, величина нормальних реакцій на колесах при гальмуванні в експлуатаційних умовах і особливості конструкції їх гальмівних систем.

Однак під час експлуатації на легковий автомобіль діє велика кількість зовнішніх сил, які можуть призвести не тільки до нерівномірного розподілу нормальних навантажень між осями, а й між колесами однойменних осей, тобто до міжбортової нерівномірності.

Аналіз гальмувань легкових автомобілів в експлуатаційних умовах показує, що на колесах різних бортів мають місце різні величини нормальних навантажень [8–10].

При цьому в більшості випадків в гальмівних системах легкових автомобілів застосовується або осьова, або діагональна схема поділу контурів гальмівного привода.

Однак ні осьова, а ні діагональна схема поділу контурів гальмівного привода не здатні реалізувати в повній мірі зміну бортового навантаження автомобіля, так як вони забезпечують гальмування автомобіля при залученні контурів, що включають або передні, або задні гальмівні механізми – при осьовій схемі, або передній лівий/правий та задній правий/лівий гальмівні механізми – у разі діагональної схеми.

Не вирішена частина проблеми. Для підвищення безпеки використання з урахуванням зростання швидкості руху легкових автомобілів на дорогах України слід посилити вимоги до ефективності гальмування та гальмівного шляху. Вирішення такого завдання може бути отримано з урахуванням експлуатаційних умов і аеродинамічного фактора. Для цього необхідно більш повно реалізовувати керуючий вплив гальмівного привода шляхом установки динамічних регуляторів гальмівних сил, здатних забезпечувати необхідну гальмівну силу на кожному колесі в конкретних умовах експлуатації із врахуванням фаз процесу екстреного гальмування.

При цьому, для максимальної реалізації міжбортової нерівномірності гальмівних сил слід використовувати комбіновану або бортову (частину комбінованої) схему включення контурів гальмівного привода спільно з пристроями [11], що забезпечують необхідне регулювання приводного тиску в контурах, які з'єднують гальмівні механізми переднього і заднього коліс відповідного борту автомобіля.

Мета та методи її досягнення. Метою дослідження є підвищення безпеки використання легкових автомобілів, що знаходяться в експлуатації, шляхом підвищення ефективності функціонування їх гальмівних систем за рахунок впровадження вдосконалених конструкцій гальмівних приводів, спроможних реалізувати нерівномірність розподілу гальмівних сил між бортами. Вирішення поставленої проблеми забезпечується використанням системного підходу, узагальнення та аналізу відомих наукових результатів. При вирішенні окремих завдань у теоретичній частині використовуються методи класичної механіки та математичного моделювання, методи диференціального числення. Адекватність розроблених моделей оцінювалася з застосуванням теорії похибок.

Встановлення оціночного показника безпеки використання. З метою встановлення оціночного показника безпеки використання легкових автомобілів під час екстреного гальмування на рівній горизонтальній дорозі розроблено методіку оцінки зміни нормальних осьових реакцій за різних фаз процесу гальмування з врахуванням аеродинамічного фактора і коефіцієнта розподілу гальмівних сил між осями.

На рис. 1 показано динамічну модель легкового автомобіля під час екстреного гальмування на рівній горизонтальній дорозі.

У разі гальмування автомобіля з заблокованими колесами динамічні нормальні реакції на осях можуть бути визначені, розглядаючи суму моментів відносно точок D і C (рис. 1). Враховуючи динаміку обертання коліс та те, що складові аеродинамічної сили співвідносяться, як $P_{wz}/P_{wx}=\lambda_z$ і $P_{wy}/P_{wx}=\lambda_y$, одержимо залежності

$$R_{z1} = G_a \cdot \frac{b}{L} + P_{T1} \cdot \frac{h-r_D}{L} + P_{T2} \cdot \frac{h-r_D}{L} - P_{wx} \cdot \frac{h_w + \lambda_z \cdot b - n}{L} \quad (1)$$

$$R_{z2} = G_a \cdot \frac{a}{L} - P_{T1} \cdot \frac{h-r_D}{L} + P_{T2} \cdot \frac{h-r_D}{L} - P_{wx} \cdot \frac{h_w + \lambda_z \cdot a - n}{L}, \quad (2)$$

де G_a – вага автомобіля;

P_{wx} – подовжня складова аеродинамічної сили;
 P_{T1}, P_{T2} – гальмівна сила на передній і задній осі відповідно;
 r_D – динамічний радіус колеса.

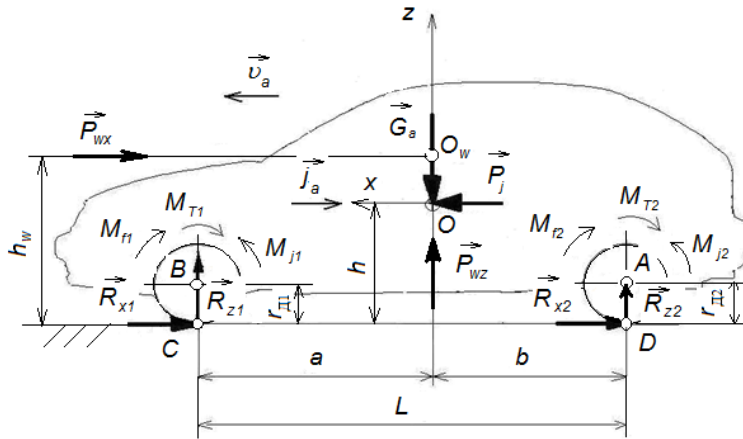


Рис. 1. Динамічна модель автомобіля під час гальмування

Позначимо аеродинамічний фактор, як

$$\Phi_e = \frac{P_{wx}}{G_a} = \frac{\rho_B \cdot c_x \cdot S_a \cdot v_0^2}{2m_a \cdot g}, \tag{3}$$

де ρ_B – густина повітря;
 c_x – коефіцієнт лобового опору кузова автомобіля;
 $S_a = H_a \cdot B_a$ – площа лобового опору автомобіля (площа Міделя);
 v_0 – початкова швидкість гальмування автомобіля;
 m_a – маса автомобіля.

Розрахункові значення аеродинамічного фактора для досліджуваних легкових автомобілів зведено до табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові значення аеродинамічного фактора

Автомобіль	Значення аеродинамічного фактора						
	при початковій швидкості гальмування, км/год (м/с)						
	40 (11,1)	60 (16,7)	80 (22,2)	100 (27,8)	110 (30,6)	130 (36,1)	150 (41,7)
Lanos	0,012	0,027	0,048	0,076	0,092	0,128	0,171
	0,007	0,017	0,029	0,046	0,056	0,078	0,105
LadaPriora	0,012	0,027	0,048	0,076	0,092	0,128	0,171
	0,007	0,017	0,029	0,046	0,056	0,078	0,105
Chevrolet	0,014	0,031	0,054	0,085	0,103	0,143	0,191
	0,008	0,019	0,034	0,053	0,064	0,089	0,119
Forza	0,011	0,026	0,046	0,073	0,088	0,122	0,163
	0,008	0,018	0,032	0,049	0,060	0,083	0,111

З урахуванням (3) рівняння (1) і (2) приймуть вигляд

$$R_{z1} = G_a \cdot \left[\frac{b}{L} + \gamma_1 \cdot \frac{h-r_D}{L} + \gamma_2 \cdot \frac{h-r_D}{L} - \Phi_e \cdot \frac{h_w + \lambda_z \cdot b - n}{L} \right], \tag{4}$$

$$R_{z2} = G_a \cdot \left[\frac{a}{L} + \gamma_1 \cdot \frac{h-r_D}{L} + \gamma_2 \cdot \frac{h-r_D}{L} - \Phi_e \cdot \frac{h_w + \lambda_z \cdot a - n}{L} \right], \tag{5}$$

де $\gamma_1 = \frac{P_{T1}}{G_a}$ – питома гальмівна сила передньої осі;

$\gamma_2 = \frac{P_{T2}}{G_a}$ – питома гальмівна сила задньої осі.

У загальному випадку руху легкового автомобіля $\Phi_e \neq 0$.

Тоді ідеальний коефіцієнт розподілу гальмівних сил між осями при не блокованих передніх і задніх колесах автомобіля

$$\beta_{\text{ид}} = \frac{\frac{b}{L} + z \cdot \frac{h-r_{\text{д}}}{L} - \Phi_e \cdot \frac{h_w + \lambda_z \cdot b - n}{L}}{1 - \lambda_z \cdot \Phi_e}, \quad (6)$$

де $z = \frac{j}{g}$ – коефіцієнт гальмування.

Якщо знехтувати аеродинамічним фактором автомобіля ($\Phi_e \rightarrow 0$), отримана залежність (6) для ідеального коефіцієнта розподілу гальмівних сил між осями набирає вигляду формули, отриманої в роботі [12]

$$\beta_{\text{ид}} = \frac{b}{L} + z \cdot \frac{h-r_{\text{д}}}{L}, \quad (7)$$

У разі гальмування автомобіля з блокованими колесами динамічні нормальні реакції на осях можуть бути визначені аналогічно при прийнятих припущеннях (див. рис. 1) як

$$R_{z1} = G_a \cdot \frac{b}{L} + P_{T1} \cdot \frac{h}{L} + P_{T2} \cdot \frac{h}{L} - \Phi_e \cdot \frac{h_w + \lambda_z \cdot b - n}{L}, \quad (8)$$

$$R_{z2} = G_a \cdot \frac{a}{L} + P_{T1} \cdot \frac{h}{L} + P_{T2} \cdot \frac{h}{L} - \Phi_e \cdot \frac{h_w + \lambda_z \cdot a - n}{L}, \quad (9)$$

Тоді ідеальний коефіцієнт розподілу гальмівних сил між осями при блокованих колесах

$$\beta_{\text{ид}} = \frac{\frac{b}{L} + z \cdot \frac{h}{L} - \Phi_e \cdot \frac{h_w + \lambda_z \cdot b - n}{L}}{1 - \lambda_z \cdot \Phi_e}, \quad (10)$$

Нехтуючи аеродинамічним фактором автомобіля ($\Phi_e \rightarrow 0$), отримана залежність (10) приймає вигляд класичної [13]

$$\beta_{\text{ид}} = \frac{b}{L} + z \cdot \frac{h}{L}, \quad (11)$$

Аналіз отриманих виразів (6) і (10) та його порівняння їх з класичним (11), який визначає ідеальний розподіл гальмівних сил між осями показує, що урахування фаз процесу гальмування й аеродинамічного фактора Φ_e впливають на величини нормальних динамічних реакцій R_{z1} і R_{z2} на осях, що призводить до меншої чутливості коефіцієнта $\beta_{\text{ид}}$ від зміни коефіцієнта гальмування z .

Це означає, що ідеальний коефіцієнт розподілу гальмівних сил, який визначається за розробленою теорією (з врахуванням фаз процесу гальмування та аеродинамічного фактора), змінюється в менших межах зі зміною коефіцієнта гальмування, ніж за класичною теорією, що говорить про можливість збільшення гальмівного моменту на колесах задньої осі, тобто підвищення безпеки використання.

На підставі цього авторами запропоновано перший критерій оцінки безпеки використання легкових автомобілів у експлуатаційних умовах

$$\frac{d}{dz} [\Delta \beta_{\text{ид}}(z)] \xrightarrow{\Delta} \max, \quad (12)$$

де $\Delta \beta_{\text{ид}} = \beta_{\text{ид1}}(z) - \beta_{\text{ид2}}(z)$ – зміна коефіцієнта ідеального розподілу гальмівних сил між осями;

$\beta_{\text{ид1}}(z)$ – ідеальний коефіцієнт розподілу гальмівних сил, який визначається за класичною формулою (11);

$\beta_{\text{ид2}}(z)$ – ідеальний коефіцієнт розподілу гальмівних сил, який визначається за одержаними формулами (6) та (10).

У відповідності до розробленої методики безпека використання легкових автомобілів Lanos, загальмовуваних на рівній горизонтальній дорозі має місце, коли відповідні значення ідеального коефіцієнта розподілу гальмівних сил приймають менші значення (рис. 2).

Так, для легкових автомобілів Lanos із спорядженою масою при урахуванні фаз процесу гальмування та аеродинамічного фактора:

-гальмування з заблокованими колесами $\beta_{\text{Д}} = 0,639-0,703$;

-гальмування з заблокованими колесами $\beta_{\text{Д}} = 0,663-0,797$;

тоді, як для таких легкових автомобілів при урахуванні лише фаз процесу гальмування:

-гальмування з заблокованими колесами $\beta_{\text{Д}} = 0,656-0,776$;

-гальмування з заблокованими колесами $\beta_{\text{Д}} = 0,664-0,798$;

Для легкових автомобілів із повною масою при урахуванні фаз процесу гальмування та аеродинамічного фактора:

-гальмування з заблокованими колесами $\beta_{\text{Д}} = 0,554-0,586$;

-гальмування з заблокованими колесами $\beta_{\text{Д}} = 0,579-0,681$;

а для таких легкових автомобілів при урахуванні лише фаз процесу гальмування:

-гальмування з заблокованими колесами $\beta_{\text{Д}} = 0,556-0,587$;

-гальмування заблокованими колесами $\beta_{\text{Д}} = 0,580-0,682$.

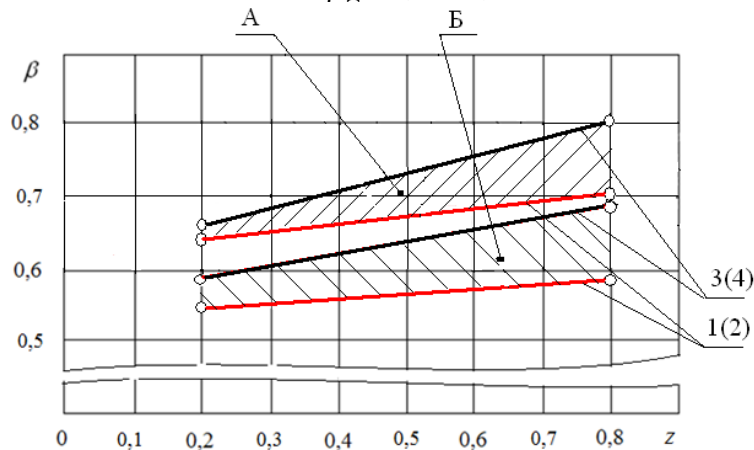


Рис. 2. Области безпеки використання за зміною коефіцієнта розподілу гальмівних сил між осями легкового автомобіля Lanos:

1 – при заблокованих колесах із врахуванням аеродинамічного фактора; 2 – при заблокованих колесах без врахування аеродинамічного фактора; 3 – при заблокованих колесах із врахуванням аеродинамічного фактора; 4 – при заблокованих колесах без врахування аеродинамічного фактора; область А – споряджена маса; область Б – повна маса

Таким чином, у відповідності до (12) для діапазону $z = 0,2 - 0,08$ зміни значення коефіцієнта гальмування, найвищу безпеку використання буде мати той автомобіль, в якого зміна значень коефіцієнта розподілу гальмівних сил між осями буде найбільшою.

Крім того, у межах одного вагового стану легкового автомобіля коефіцієнт розподілу гальмівних сил між осями у більшій мірі залежить від фаз процесу гальмування та не залежить від зміни аеродинамічного фактора (прямі 1 і 2 та 3 і 4 співпадають, див. рис. 2).

Для оцінки безпеки використання i -го легкового автомобіля серед досліджуваних запропоновано критерій, який визначає область безпеки використання по найбільшій зміні уповільнення для певного значення коефіцієнта гальмування

$$\frac{d}{dz} [\Delta_j(z)] \xrightarrow{\Delta} \max, \quad (13)$$

де $\Delta_j(z)$ – величина зміни уповільнення i -го легкового автомобіля, яка визначається як різниця між значенням, визначеним за одержаним виразом

$$j = g \cdot (z + \Phi_e \cdot (1 - \lambda_z \cdot z)), \quad (14)$$

і значенням, визначеним за класичною теорією $[j^0] = \varphi \cdot g$.

Отже, найвища безпека використання буде мати легковий автомобіль із найбільшим аеродинамічним фактором.

На підставі розрахункових даних для досліджуваних легкових автомобілів побудовано графічні залежності зміни уповільнення від коефіцієнта гальмування z (рис. 3).

Таким чином, для певного значення коефіцієнта гальмування з діапазону $z=0,2-0,8$ найвищою безпекою використання буде характеризуватися той автомобіль, у якого відносно

збільшення уповільнення буде максимальним. Наприклад, у разі порівняння досліджуваних легкових автомобілів зі спорядженою масою при $z=0,8$ перше місце з безпеки використання посяде автомобіль Chevrolet ($1,72 \text{ м/с}^2$), друге Lanos (Lada) ($1,54 \text{ м/с}^2$) і третє Forza ($1,47 \text{ м/с}^2$).

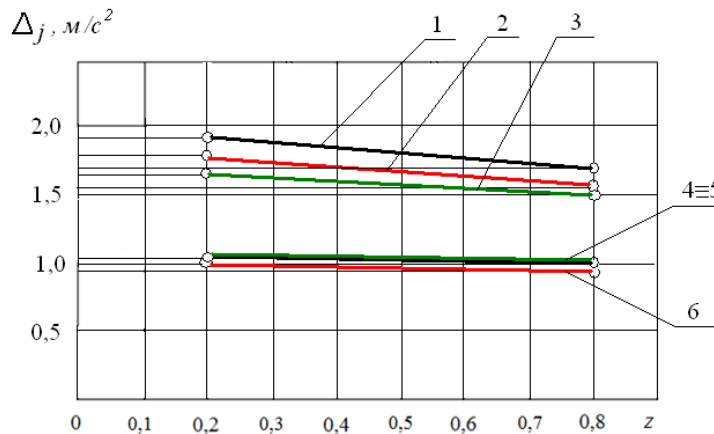


Рис. 3. Оцінка безпеки використання легкового автомобіля за зміною уповільнення:

1, 2, 3 – для автомобілів Chevrolet, Lanos (Lada), Forza у спорядженому стані;
4, 5, 6 – для автомобілів Chevrolet, Forza, Lanos (Lada) із повною масою.

Оцінка безпеки використання i -го легкового автомобіля серед досліджуваних може бути здійснена за максимальною зміною його гальмівного шляху під час екстреного гальмування у експлуатаційних умовах за критерієм

$$\frac{d}{dz} [\Delta s_T(z)] \xrightarrow{\Delta} \max \cdot \quad (15)$$

де $\Delta s_T(z)$ – величина зміни гальмівного шляху i -го легкового автомобіля, яка визначається як різниця між гальмівним шляхом, одержаним за виразом

$$S_T = \frac{m_a + \sum \frac{J_i}{r_k^2}}{2K_o \cdot F_w} \cdot \ln\left(1 + \frac{K_o \cdot F_w \cdot g_o^2}{A}\right) = \frac{m_a + \sum \frac{J_i}{r_k^2}}{\rho_E \cdot c_x \cdot F_w} \cdot \ln\left(1 + \frac{\Phi_e}{z - \Phi_e}\right) \leq [S_T], \quad (16)$$

де $A = m_a \cdot j - P_{\text{вх}}$;

i гальмівним шляхом легкового автомобіля, одержаним за класичною теорією [13] в разі екстреного гальмування

$$[S_T^o] = \frac{g_o^2}{2 \cdot [j^o]}. \quad (17)$$

Порівняльний аналіз теоретичних параметрів гальмування Lanos (табл. 3), обладнаних вдосконалим гальмівним приводом, показує, що у діапазоні зміни початкових швидкостей гальмування 80–150 км/год для автомобілів зі спорядженою масою значення уповільнення зростають на 12,3–15,3%, а гальмівного шляху зменшуються на 3,6–9,8%; тоді, як для автомобілів із повною масою ці показники становлять відповідно 12,8–16,5% і 1,8–4,8%.

Таблиця 3

Теоретичні значення параметрів екстрених гальмувань автомобіля Lanos, обладнаного вдосконалим гальмівним приводом

Автомобіль	Маса, кг	Значення параметрів гальмування			
		при початковій швидкості гальмування, км/год			
		80	100	130	150
Lanos	споряджена	8,19	8,39	8,88	9,02
		30,91	47,57	78,55	95,5
	повна	8,06	8,38	8,49	9,13
		31,14	48,11	80,1	97,5

Примітки. У верхній строчці вказано значення вповільнення, м/с^2 ; у нижній – гальмівного шляху, м.

Висновки. Дослідження зміни ефективності гальмування легковими автомобілями за різних експлуатаційних умов дозволило встановити те, що підвищення безпеки їх використання можливе шляхом покращення їх гальмівних властивостей за рахунок застосування гальмівних приводів, які враховують нерівномірність розподілу гальмівних сил між бортами.

Встановлено, що врахування фаз процесу гальмування і аеродинамічного фактора призводить до зменшення значення постійного коефіцієнта розподілу гальмівних сил між осями і гальмівного шляху та збільшення уповільнення. Ця обставина дозволяє забезпечити відповідні області безпеки використання легкових автомобілів у разі екстрених гальмувань, обмежені зміною вище вказаних параметрів.

Список використаних джерел:

1. Ярещенко Н.В. Довгострокове прогнозування швидкостей руху на автомобільних дорогах: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» / Н.В. Ярещенко. – Харків, 1999. – 16 с.
2. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / [Подригало М.А., Волков В.П., Карпенко В.А. и др.]; под ред. М.А. Подригало. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 614 с.
3. Shang M. Braking force dynamic coordinated control for hybrid electric vehicles / [M. Shang, L. Chu, J. Guo, Y. Fang, F. Zhou] // In Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control (ICACC '10). – Shenyang, China, 2010. – vol. 4. – pp. 411–416.
4. Jo C. Cooperative regenerative braking control algorithm for an automatic-transmission-based hybrid electric vehicle during a downshift / [C. Jo, J. Ko, H. Yeo, T. Yeo, S. Hwang, H. Kim] // Journal of Automobile Engineering. – 2012. – vol. 226. – no. 4. – pp. 457–467.
5. Zhang J. Integrated control of braking energy regeneration and pneumatic anti-lock braking / J. Zhang, X. Chen, P.-J. Zhang // Journal of Automobile Engineering. – 2010. – vol. 224. – no. 5. – pp. 587–610.
6. Реализация интеллектуальных функций в электронно-пневматическом управлении транспортных средств: монография / А.Н. Туренко, В.И. Клименко, Л.А. Рыжих и др. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 450с.
7. Подригало М.А. Анализ неравномерности вертикальных реакций на колесах и ее влияние на эксплуатационные свойства автомобиля/ Подригало М.А. // Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы: IV-ая международ. научно-техн. конф., 11-15 апр. 2000 г. – Севастополь: СевГТУ, 2000. – С. 76-79.
8. Назаров В.І. Математичне моделювання перерозподілу реакцій на осях під час екстреного гальмування на дорозі з нахилом / Назаров В.І., Назаров О.І., Назаров І.О. // Вісник НТУ «ХПІ»: Серія «Математичне моделювання в техніці та технологіях». – Харків, 2014. - №39(1082). – С. 134–140.
9. Назаров А.И. Перераспределение вертикальных реакций на колесах легкового автомобиля, движущегося в воздушном потоке по горизонтальной дороге с фиксированным радиусом кривизны / Назаров А.И., Назаров И.А., Назаров В.И. // Вісник НТУ «ХПІ»: Серія «Автомобіле- і тракторобудування». – Харків, 2015. – №8(1117). – С. 57-65.
10. Назаров И.А. Обеспечение безопасности движения двухосных транспортных средств при выполнении экстренных торможений в эксплуатационных условиях: (конф. «Молодые ученые – альтернативной транспортной энергетике», 27-28 апреля 2015 г.: сб. научн. трудов «Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе») [Электронный ресурс] / Назаров И.А., Назаров В.И., Назаров А.И. – Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГЛА, 2015. – Т.2. – Вып. 2. – С. 218–222.– ISSN 2409-7829.
11. Патент №76189 Украина, МПК 2006.01, В60Т 8/24. Устройство для повышения эффективности торможения легковых автомобилей [Текст] / [Подригало М.А., Назаров В.И., Назаров А.И., Назаров И.А.]; заявитель Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет №u201207284; заявл. 15.06.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. №24.
12. Подригало М.А. Новое в теории эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов: монография / Подригало М.А. – Харьков: Академия ВВ МВС Украины, 2013. – 22 с.
13. Булгаков Н.А. Исследование динамики торможения автомобиля. Научное сообщение №18/ Булгаков Н.А., Гредескул А.Б., Ломака С.И. – Харьков: Изд-во госуниверситета им. А.М. Горького, 1962. – 36 с.

Рецензенти:

Волков В.П., д.т.н., проф. ХНАДУ;

Бондаренко А.І., д.т.н., проф. НТУ «ХПІ».

Стаття надійшла до редакції 13.03.2018

УДК 539.3

В.М. Неміш, К.М. Березька*Тернопільський національний економічний університет***НАПРУЖЕНИЙ СТАН ІЗОТРОПНОГО СЕРЕДОВИЩА З НЕКАНОНІЧНИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ**

Одержані аналітичні та числові результати для напружень ізотропного середовища з неканонічними жорсткими включеннями. Показано розподіл напружень як на поверхнях включень, так і в їх околах. Дослідження концентрації напружень проводились наближеним методом збурення форми границі.

Ключові слова: напруження, ізотропне середовище, неканонічні включення, збурення форми границі.

Рис. 5. Форм. 16. Літ. 6.

В.М. Неміш, К.М. Березкая**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗОТРОПНОЙ СРЕДЫ С НЕКАНОНИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ**

Получены аналитические и числовые результаты для напряжений изотропной среды с неканоническими включениями. Показано распределение напряжений как на поверхностях включений, так и в их окрестностях. Исследование концентрации напряжений проводилось приближенным методом возмущения формы границы.

Ключевые слова: напряжение, изотропная среда, неканонические включения, возмущения, формы границы.

V.M. Nemish, K. Berezka**STRESSED STATE OF AN ISOTROPIC MEDIUM WITH A NON-CANONICAL INCLUSIONS**

It has been got the analytical and numerical results of isotropic environment stress with strict noncanonical inclusions. It has been shown the distribution of stresses on the surface of particles and their vicinities. The research of stress concentration was conducted with the close method of border form perturbation.

Keywords: stress, isotropic environment, noncanonical inclusions, border form perturbation.

Постановка проблеми. Дослідження напруженого стану деформівного пружного тіла в трьохмірному просторі є однією із складних задач математичної теорії пружності. Основним методом знаходження точного розв'язку просторових граничних задач для канонічних областей є метод розділення змінних. Для неканонічних областей, які не допускають розв'язок крайових задач методом безпосереднього відокремлення змінних, найбільш ефективним є варіант методу збурення форми границі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Математичні основи методу збурення форми границі, а також поширення його на просторові задачі механіки суцільного середовища для неканонічних областей, граничні поверхні яких мало відрізняються від сферичних, розглянуто в навчальному посібнику [1]. Для фігур, близьких до еліпсоїда обертання наближений метод розв'язування крайових задач теорії пружності розвинутий в працях [2, 3]. Статті [4, 5] присвячені осесиметричним задачам теорії пружності для однорідного ізотропного середовища, обмеженого канонічною, замкнутими циліндричними порожнинами і включеннями. В роботі [6] показані варіанти практичного застосування методу збурення форми границі.

Мета роботи. Провести дослідження напруженого стану ізотропного середовища з жорсткими неканонічними включеннями у випадку всестороннього розтягу (стиску).

Постановка задачі. Розглядаються просторові граничні задачі математичної теорії пружності для однорідного ізотропного середовища з неканонічними жорсткими включеннями у вигляді правильних шестикутників обертання з заокругленими кутами. Напружено-деформівний стан досліджується наближеним методом збурення форми границі.

Припустимо, що деяка поверхня S утворена обертанням контура Γ навколо його вісі oz . В довільній меридіональній площині zoR функція

$$z + iR = r_0^{-1} \omega(\zeta) = \zeta + \varepsilon f(\zeta) = r e^{i\theta} \quad (1)$$

$$(f(\zeta) = \zeta^{-k}, \zeta = \rho e^{i\gamma}, \varepsilon = \frac{m}{k}, 0 < |m| < 1)$$

здійснює конформне відображення зовнішності одиничного круга площини ζ на зовнішність контура Γ . При цьому постійна r_0 характеризує абсолютні розміри і його орієнтацію по відношенню до системи координат zoR . В залежності від вигляду функції $f(\zeta)$ і значення малого параметра ε можна одержати різні види контурів. При $k = 1$ рівнянням (1) відповідають витягнуті

($\varepsilon > 0$), або стиснуті ($\varepsilon < 0$) еліпсоїди обертання. Якщо $k > 1$, то при певних значеннях параметра ε можна одержати рівняння, які відповідають "правильним" $(k+1)$ -кутникам з заокругленими кутами, які при обертанні навколо вісі oz утворюють неканонічні поверхні. Так, наприклад, при $k = 2$, $\varepsilon = \frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$ на основі (1) можна побудувати "правильний" трикутник, якому відповідає конус (при $\varepsilon = -\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$ конус дзеркально відображається відносно площини xoy). При $k = 3$, $\varepsilon = \pm \frac{1}{6} \div \frac{1}{9}$ відповідає "квадрат", а значить просторові фігури мають циліндричний вигляд. Значенням $k = 5$, $\varepsilon = \pm \frac{1}{15}$ відповідають "правильні" шестикутники, просторові фігури яких показані на рис. 1, 2.

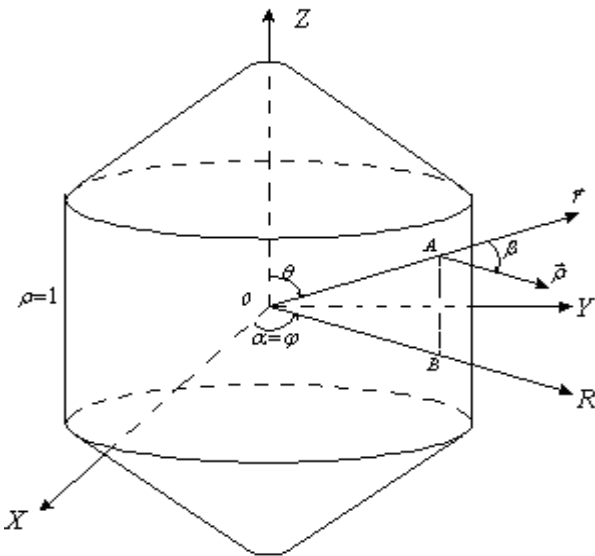


Рис. 1. Неканонічна поверхня
($k = 5; \varepsilon = 1/15$)

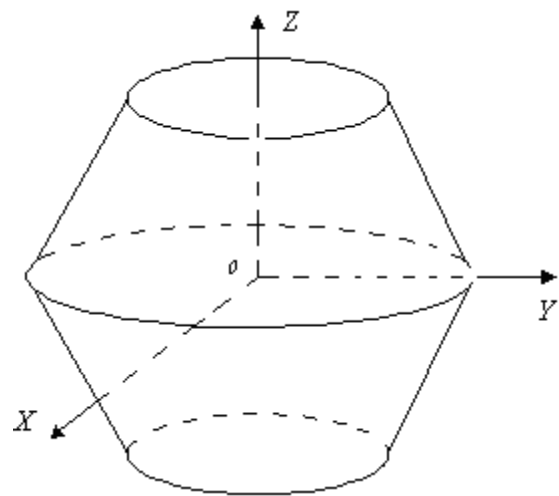


Рис. 2. Неканонічна поверхня
($k = 5; \varepsilon = -1/15$)

Зв'язок між безрозмірними декартовими x, y, z і криволінійними ортогональними ρ, γ, φ координатами має вигляд

$$\begin{aligned} x &= (\rho \sin \gamma - \varepsilon \rho^{-k} \sin k\gamma) \cos \varphi; \\ y &= (\rho \sin \gamma - \varepsilon \rho^{-k} \sin k\gamma) \sin \varphi; \\ z &= \rho \cos \gamma + \varepsilon \rho^{-k} \cos k\gamma. \end{aligned} \quad (2)$$

Безрозмірні сферичні координати r, θ і кут β між радіальним напрямком \vec{r} і нормаллю $\vec{\rho}$ до контура Γ виражаються через відображувачу функцію $\omega(\zeta)$ формулами

$$\begin{aligned} r &= r_0^{-1} \sqrt{\omega(\zeta) \overline{\omega(\zeta)}}; \quad \theta = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} \omega(\zeta)}{\operatorname{Re} \omega(\zeta)}; \\ e^{i\beta} &= \frac{\zeta \omega'(\zeta) \overline{\omega(\zeta)}}{|\zeta \omega'(\zeta)| |\omega(\zeta)|}. \end{aligned} \quad (3)$$

Значить, довільна функція, яка залежить від x, y, z , або r, θ, β , може бути представлена рядами за степенями малого параметра ε ($|\varepsilon| \ll 1$).

Розглянемо задачу про напружений стан однорідного ізотропного середовища, обмеженого неканонічною поверхнею ($k > 1$) у випадку симетричного навантаження відносно вісі oz (осесиметрична задача). Дослідження напруженого стану середовища будемо проводити методом збурення форми границі. Для цього представимо компоненти $\sigma_\rho, \sigma_\gamma, \sigma_\varphi, \sigma_{\rho\varphi}, u_\rho, u_\gamma$ у вигляді рядів за степенями параметра ε , тобто

$$\sigma_\rho = \sum_{j=0}^{\infty} \varepsilon^j \sigma_\rho^{(j)}; \dots; u_\gamma = \sum_{j=0}^{\infty} \varepsilon^j u_\gamma^{(j)}. \quad (4)$$

Використавши формули переходу від напружень в сферичній системі координат r, θ, α до відповідних складових в криволінійній ортогональній системі координат ρ, γ, φ і співвідношення (3), розкладемо їх в ряди вигляду (4). Після прирівнювання коефіцієнтів при однакових степенях параметра ε , для визначення компонентів j -го наближення, одержимо рекурентні співвідношення [1]

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} \sigma_\rho^{(j)} \\ \sigma_\gamma^{(j)} \end{Bmatrix} &= \sum_{m=0}^j \left[\Lambda_1^{(j-m)} \begin{Bmatrix} \sigma_r^{(m)} \\ \sigma_\theta^{(m)} \end{Bmatrix} \pm \Lambda_2^{(j-m)} (\sigma_\theta^{(m)} - \sigma_r^{(m)}) \pm \Lambda_3^{(j-m)} \sigma_{r\theta}^{(m)} \right]; \\ \sigma_{\rho\gamma}^{(j)} &= \sum_{m=0}^j \left[\Lambda_4^{(j-m)} \sigma_{r\theta}^{(m)} + \frac{1}{2} \Lambda_3^{(j-m)} (\sigma_\theta^{(m)} - \sigma_r^{(m)}) \right]; \\ \sigma_\varphi^{(j)} &= \sum_{m=0}^j \Lambda_1^{(j-m)} \sigma_\alpha^{(m)}; \\ \begin{Bmatrix} u_\rho^{(j)} \\ u_\gamma^{(j)} \end{Bmatrix} &= \sum_{m=0}^j \left[\Lambda_5^{(j-m)} \begin{Bmatrix} u_r^{(m)} \\ u_\theta^{(m)} \end{Bmatrix} \pm \Lambda_6^{(j-m)} \begin{Bmatrix} u_\theta^{(m)} \\ u_r^{(m)} \end{Bmatrix} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Тут $\Lambda_i^{(j)}$ - диференціальні оператори, які для відображувачої функції (1) в нульовому, першому і другому наближеннях мають вигляд

$$\begin{aligned} \Lambda_1^{(0)} &= \Lambda_4^{(0)} = \Lambda_5^{(0)} = 1; \Lambda_2^{(0)} = \Lambda_3^{(0)} = \Lambda_6^{(0)} = \Lambda_2^{(1)} = 0; \\ \Lambda_1^{(1)} &= \Lambda_4^{(1)} = \Lambda_5^{(1)} = \frac{\cos(k+1)\gamma}{\rho^k} \frac{\partial}{\partial \rho} - \frac{\sin(k+1)\gamma}{\rho^{k+1}} \frac{\partial}{\partial \gamma}; \\ \Lambda_3^{(1)} &= 2\Lambda_6^{(1)} = \frac{2(k+1)\sin(k+1)\gamma}{\rho^{k+1}}; \Lambda_4^{(2)} = \Lambda_1^{(2)} - 2\Lambda_2^{(2)}; \\ \Lambda_1^{(2)} &= \frac{1 + \cos 2(k+1)\gamma}{4\rho^{2k}} \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} - \frac{\sin 2(k+1)\gamma}{2\rho^{2k}} \frac{\partial^2}{\partial \rho \partial \gamma} \frac{1}{\rho} + \frac{1 - \cos 2(k+1)\gamma}{4\rho^{2k+2}} \left(\frac{\partial^2}{\partial \gamma^2} + \rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right); \\ \Lambda_2^{(2)} &= \frac{(k+1)^2 [1 - \cos 2(k+1)\gamma]}{2\rho^{2k+2}}; \Lambda_3^{(2)} = \frac{(k^2 - 1)\sin 2(k+1)\gamma}{\rho^{2k+2}} + \frac{(k+1)\sin 2(k+1)\gamma}{\rho^{2k+1}} \frac{\partial}{\partial \rho} - \\ &\quad - \frac{(k+1)[1 - \cos 2(k+1)\gamma]}{\rho^{2k+2}} \frac{\partial}{\partial \gamma}; \\ \Lambda_4^{(2)} &= \Lambda_1^{(2)} - 2\Lambda_2^{(2)}; \Lambda_5^{(2)} = \Lambda_1^{(2)} - \frac{1}{2}\Lambda_2^{(2)}; \Lambda_6^{(2)} = \frac{1}{2}\Lambda_3^{(2)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Компоненти $\sigma_r^{(m)}(\rho, \gamma), \sigma_\theta^{(m)}(\rho, \gamma), \dots, u_\theta^{(m)}(\rho, \gamma)$ записуються на основі їх представлень в безрозмірних (віднесених до величини r_0) сферичних координатах, якщо формально замінити r, θ відповідно на ρ, γ , а в довільних постійних поставити індекс (j), тобто

$$\begin{aligned}
\sigma_r^{(m)}(\rho, \gamma) &= \frac{2G}{r_0^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left[-\frac{n(n^2 + 3n - 2\nu)}{\rho^{n+1}} C_n^{(j)} + \frac{(n+1)(n+2)}{\rho^{n+3}} D_n^{(j)} \right] P_n(\cos \gamma); \\
\sigma_\theta^{(m)}(\rho, \gamma) &= \frac{2G}{r_0^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[\frac{n(n^2 - 2n - 1 + 2\nu)}{\rho^{n+1}} C_n^{(j)} - \frac{(n+1)^2}{\rho^{n+3}} D_n^{(j)} \right] P_n(\cos \gamma) - \right. \\
&\quad \left. - \left[\frac{-n+4-4\nu}{\rho^{n+1}} C_n^{(j)} + \frac{1}{\rho^{n+3}} D_n^{(j)} \right] \operatorname{ctg} \gamma \frac{dP_n(\cos \gamma)}{d\gamma} \right\}; \\
\sigma_\alpha^{(m)}(\rho, \gamma) &= \frac{2G}{r_0^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[\frac{n(n+3-4\nu-2\nu)}{\rho^{n+1}} C_n^{(j)} - \frac{(n+1)}{\rho^{n+3}} D_n^{(j)} \right] P_n(\cos \gamma) + \right. \\
&\quad \left. + \left[\frac{-n+4-4\nu}{\rho^{n+1}} C_n^{(j)} + \frac{1}{\rho^{n+3}} D_n^{(j)} \right] \operatorname{ctg} \gamma \frac{dP_n(\cos \gamma)}{d\gamma} \right\}; \\
\sigma_{r\theta}^{(m)}(\rho, \gamma) &= \frac{2G}{r_0^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{n^2 - 2 + 2\nu}{\rho^{n+1}} C_n^{(j)} - \frac{n+2}{\rho^{n+3}} D_n^{(j)} \right] \frac{dP_n(\cos \gamma)}{d\gamma}; \\
u_r^{(m)} &= \frac{1}{r_0} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{n(n+3-4\nu)}{\rho^n} C_n^{(j)} - \frac{n+1}{\rho^{n+2}} D_n^{(j)} \right] P_n(\cos \gamma); \\
u_\theta^{(m)} &= \frac{1}{r_0} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{-n+4-4\nu}{\rho^n} C_n^{(j)} + \frac{1}{\rho^{n+2}} D_n^{(j)} \right] \frac{dP_n(\cos \gamma)}{d\gamma}.
\end{aligned} \tag{7}$$

Тут $P_n(\cos \gamma)$ - поліноми Лежандра; $C_n^{(j)}, D_n^{(j)}$ - довільні постійні, які знаходяться із граничних умов; ν - коефіцієнт Пуассона; G - модуль зсуву.

Припустимо, що однорідне ізотропне середовище з жорстким неканонічним включенням знаходиться "на нескінченності" під дією зовнішніх сил

$$\sigma_x^{(\infty)} = \sigma_y^{(\infty)} = \sigma_z^{(\infty)} = p \quad (\sigma_{xy}^{(\infty)} = \sigma_{xz}^{(\infty)} = \sigma_{yz}^{(\infty)} = 0), \tag{8}$$

де p - інтенсивність навантаження (значення $p > 0$ відповідає розтягу, $p < 0$ - стиску).

При дослідженні напруженого стану граничні умови в j -му наближенні на поверхні S мають вигляд

$$\left(u_\rho^{(j)} + \hat{u}_\rho^{(j)} \right)_{\rho=1} = 0, \quad \left(u_\gamma^{(j)} + \hat{u}_\gamma^{(j)} \right)_{\rho=1} = 0. \tag{9}$$

Тут $u_\rho^{(j)}, u_\gamma^{(j)}$ знаходяться із (5), а $\hat{u}_\rho^{(j)}, \hat{u}_\gamma^{(j)}$ відповідають основному напруженому стану середовища (без включення) і у випадку рівномірного всестороннього розтягу (стиску) такі

$$\begin{aligned}
\hat{u}_\rho^{(0)} &= \frac{p(1-2\nu)}{2G(1+\nu)} r_0 \rho; \quad \hat{u}_\gamma^{(0)} = 0; \\
\hat{u}_\rho^{(1)} &= \frac{a_0 r_0}{\rho^k} \cos(k+1)\gamma; \\
\hat{u}_\gamma^{(1)} &= -\frac{a_0 r_0 (k+1)}{\rho^k} \sin(k+1)\gamma;
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\hat{u}_\rho^{(2)} = -\frac{a_0 r_0 k(k+2)}{4\rho^{2k+1}} [1 - \cos 2(k+1)\gamma];$$

$$\hat{u}_\gamma^{(2)} = -\frac{a_0 r_0 k(k+1)}{2\rho^{2k+1}} \sin 2(k+1)\gamma \quad \left(a_0 = \frac{p(1-2\nu)}{2G(1+\nu)} \right).$$

Із співвідношень (5) - (7) і граничних умов (9) одержимо

$$\begin{cases} \sum_{n=0}^{\infty} [n(n+3-4\nu)C_n^{(j)} - (n+1)D_n^{(j)}] P_n(\cos \gamma) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(j)}(\nu) P_n(\cos \gamma) \\ \sum_{n=1}^{\infty} [(-n+4-4\nu)C_n^{(j)} + D_n^{(j)}] \frac{dP_n(\cos \gamma)}{d\gamma} = \sum_{n=1}^{\infty} d_n^{(j)}(\nu) \frac{dP_n(\cos \gamma)}{d\gamma}, \end{cases} \quad (11)$$

де $c_n^{(j)}(\nu), d_n^{(j)}(\nu)$ відомі вирази. Прирівнюючи коефіцієнти при однакових поліномах Лежандра і їх похідних, із одержаної системи знаходимо

$$\begin{aligned} C_n^{(j)} &= \frac{c_n^{(j)}(\nu) + (n+1)d_n^{(j)}(\nu)}{2[n(3-4\nu) + 2(1-\nu)]}; \quad D_0^{(j)} = -c_0^{(j)}(\nu) \\ D_n^{(j)} &= (n-4+4\nu)C_n^{(j)} + d_n^{(j)}(\nu) \quad (n \geq 1). \end{aligned} \quad (12)$$

Таким чином, гранична задача для неканонічних включень, формально зводиться до послідовності граничних задач для сферичних включень.

Як приклад, розглянемо однорідне ізотропне середовище з жорсткими неканонічними включеннями у вигляді правильних шестикутників обертання з заокругленими кутами (рис. 1, 2). Використавши граничні умови (9) в нульовому наближенні (сферичне включення) одержимо

$$D_0^{(0)} = a_0 r_0^2; \quad C_n^{(0)} = 0 (n = 0, 1, \dots); \quad D_n^{(0)} = 0 (n = 1, 2, \dots). \quad (13)$$

Напружений стан середовища з неканонічними включеннями з врахуванням j наближень, згідно позначень робіт [4, 5], знаходимо так:

$$\sigma_i^{*(j)} = \sigma_i^{*(j-1)} + \varepsilon \sigma_i^{(j)} (i = \rho, \gamma, \varphi); \quad \sigma_{\rho\gamma}^{*(j)} = \sigma_{\rho\gamma}^{*(j-1)} + \varepsilon \sigma_{\rho\gamma}^{(j)}. \quad (14)$$

Тут

$$\frac{\sigma_{\rho}^{*(0)}}{p} = 1 + \frac{4Ga_0}{\rho^3}; \quad \frac{\sigma_{\gamma}^{*(0)}}{p} = \frac{\sigma_{\varphi}^{*(0)}}{p} = 1 - \frac{2Ga_0}{\rho^3}; \quad \frac{\sigma_{\rho\gamma}^{*(0)}}{p} = 0. \quad (15)$$

Знайдені напруження в наступних наближеннях мають громіздкий вигляд. Зокрема, згідно формули (14) при $\nu = 0,3$ маємо

$$\left. \frac{\sigma_i^{*(2)}}{p} \right|_{\substack{\rho=1 \\ \varepsilon=\pm\frac{1}{15}}} = \sum_{k=0}^6 a_{2k}(\nu) P_{2k}(\cos \gamma); \quad \left. \frac{\sigma_i^{*(2)}}{p} \right|_{\substack{\gamma=0 \\ \varepsilon=\frac{1}{15}}} = 1 + \sum_{k=0}^6 b_{2k}(\nu) \rho^{-2k-3}, \quad (16)$$

де $a_{2k}(\nu), b_{2k}(\nu)$ - відомі вирази.

Аналогічний вигляд мають напруження $\frac{\sigma_i^{*(2)}}{p}, \frac{\sigma_{\rho\gamma}^{*(2)}}{p}$ при

$$\gamma = \frac{\pi}{3} \left(\varepsilon = \frac{1}{15} \right), \quad \gamma = \frac{\pi}{6} \left(\varepsilon = -\frac{1}{15} \right), \quad \gamma = \frac{\pi}{2} \left(\varepsilon = -\frac{1}{15} \right).$$

Розподіл напружень вздовж четверті меридіональних перерізів жорстких включень у вигляді правильних шестикутників обертання з заокругленими кутами показані на рис. 3 ($\nu = 0,3; \varepsilon = \frac{1}{15}$)

і рис. 4 ($\nu = 0,3; \varepsilon = -\frac{1}{15}$). Графіки на рис. 5 показують, що при незначному віддаленні від

поверхонь включень в точках з найменшим радіусом кривизни, величини напружень різко зменшуються і наближаються до основного напруженого стану. Зокрема, при $\rho = 3$ основні

напруження $\frac{\sigma_i^{*(2)}}{p}$ не перевищують відповідних напружень в середовищі без включення не більше, ніж 2,2%.

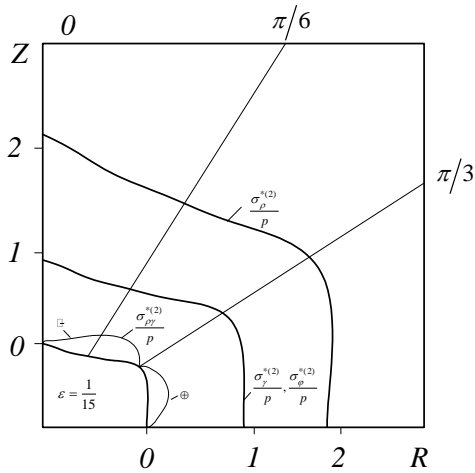


Рис. 3. Розподіл напружень вздовж четверті меридіонального перерізу ($k = 5; \varepsilon = 1/15$)

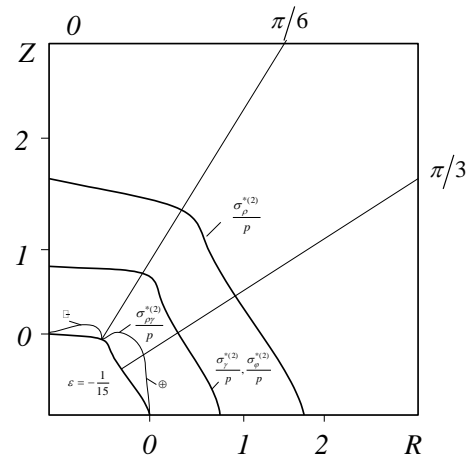


Рис. 4. Розподіл напружень вздовж четверті меридіонального перерізу ($k = 5; \varepsilon = -1/15$)

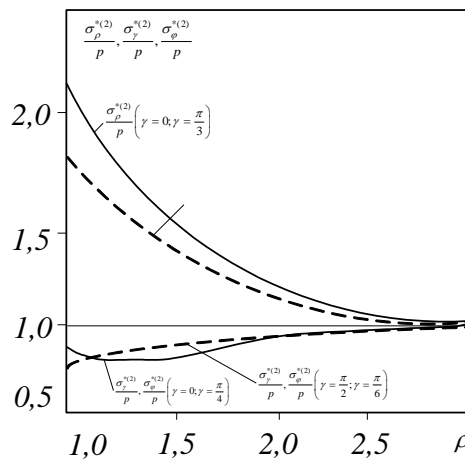


Рис. 5. Розподіл напружень в околі неканонічних поверхонь

Висновки:

1. Зона підвищеної концентрації напружень однорідного ізотропного середовища з неканонічними включеннями у випадку всестороннього розтягу (стиску), носить ярко виражений локальний характер.

2. Одержані результати можна поширити на деякі просторові багатозв'язні області, тіла скінчених розмірів, а також на товстостінні неканонічні оболонки обертання, якщо їх граничні поверхні знаходяться на такій відстані одна від другої, що взаємним впливом цих поверхонь можна знехтувати.

Література:

1. Гузь А. Н. Методы возмущений в пространственных задачах теорий упругости / А. Н. Гузь, Ю. Н. Немиш. – Киев: Вища школа. Головное изд-во. 1982. – 352с.
2. Подільчук Ю. Н. Приближенный метод решения краевых задач теории упругости для фигур, близких к эллипсоиду вращения / Ю. Н. Подільчук // Прикладная механика. – 1970. – Т. VI. – №9. – с. 23-30.
3. Подільчук Ю. М. Про наблизений метод розв'язку крайових задач теорії пружності для фігур, близьких до еліпсоїда обертання / Ю. М. Подільчук, А. М. Кириченко // ДАН УРСР. – 1970. – серія А. – №7. – с. 650-655.
4. Немиш Ю. Н. Распределение напряжений около неканонических поверхностей / Ю. Н. Немиш, В. Н. Немиш, П. Ф. Ярема // Прикладная механика. – 1971. – Т. 7. – №12. – с. 41-50.
5. Немиш В. Н. Пространственная деформация изотропной среды с неканоническими включениями / В. Н. Немиш // Математическая физика. – 1976. – №19. – с. 104-109.

Стаття надійшла до редакції 02.02.2018

УДК 621.8.06

Ю.В. Петраков, Д.К. Шуплецов, І.І. Ткач
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
**МОНІТОРИНГ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ КОНТУРІВ НА ФРЕЗЕРНИХ
ВЕРСТАТАХ З ЧПК**

Представлено методику моніторингу точності і верифікації контурів деталей безпосередньо на фрезерному верстаті з ЧПК. Методика базується на вимірюваннях трикоординатним контактним щупом за розробленою управляючою програмою з автоматичним занесенням даних у файл та використанні спеціально створеної прикладної програми для демонстрації та візуалізації результатів. В прикладну програму завантажуються файл G-кодів обробленого контуру та файл даних вимірювань.

Ключові слова: вимірювання контуру деталі, верстат з ЧПК, трикоординатний щуп.

Ю.В. Петраков, Д.К. Шуплецов, И.И. Ткач
**МОНИТОРИНГ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ КОНТУРОВ НА ФРЕЗЕРНЫХ
СТАНКАХ С ЧПУ**

Представлена методика мониторинга точности и верификации контуров деталей непосредственно на фрезерном станке с ЧПУ. Методика базируется на измерениях трехкоординатным контактным щупом по разработанной управляющей программе с автоматическим занесением данных в файл и использовании специально созданной прикладной программы для демонстрации и визуализации результатов. В прикладную программу загружается файл G-кодов обработанного контура и файл данных измерений.

Ключевые слова: измерение контура детали, станок с ЧПУ, трехкоординатный щуп.

Y. Petrakov, D. Shuplietsov, I. Tkach
**MONITORING OF ACCURACY OF PROCESSING OF CONTOURS ON CNC MILLING
MACHINES**

The method of monitoring the accuracy and verification of profiles directly on the milling CNC-machine is presented. The technique is based on measurements of three-dimensional contact probe according to the developed control program with automatic entering of the data in the file and use specifically created application soft for demonstration and visualization of results. In the application soft load the file in G-code machining contour and the data file measurements.

Key words: measurement of the contour, the CNC-machine, three-axis probe.

Постановка проблеми. Розвиток сучасного металообробного обладнання, а саме верстатів з ЧПК, стає можливим обробка всієї деталі за одну операцію, наприклад лопать турбіни, прес-форми ПЕТ тари та ін. [1, 2]. Для досягнення необхідної точності потрібна адаптація управляючої програми до фактичних умов оброблення, яка полягає у корекції з метою рівномірного розподілу припуску чи траєкторії формоутворення на останньому проході тощо. Всі такі інновації потребують вимірювань безпосередньо на верстаті без зняття заготовки для вимірювань на контрольно-вимірювальних машинах (КВМ).

Для виконання таких вимірювань використовують вимірювальні щупи, якими укомплектовуються верстати з ЧПК. Наприклад, на фрезерних обробляючих центрах фірми HAAS встановлені датчики фірми Renishaw, які задовольняють вимогам за точністю контролю. Частіше це контактні трикоординатні щупи, які в основному використовуються для прив'язки управляючої програми до заготовки і системи координат верстата.

Таким чином, науково-технічна проблема визначається у необхідності розроблення нової технології, спрямованої на вимірювання точності оброблення, особливо поверхонь складної форми, безпосередньо на верстаті на будь якому етапі чи переході виконання технологічної операції для прийняття заходів з необхідної корекції управляючої програми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Отже, для вимірювань складнопрофільних 3D поверхонь рекомендується використовувати датчики нового покоління від компанії Renishaw MP700 и OMP400 (рис.1). Такі датчики мають нову систему перетворювачів, яка використовує не контакти, а тензодатчики. За рахунок цього вони забезпечують задану точність вимірювань при контакті у довільному напрямку, що і дозволяє вимірювати складно профільні 3D поверхні. Для виконання вимірювань, крім датчиків, необхідні спеціальні програмні продукти, наприклад, PowerINSPECT компанії Delcam, який первинно був спрямований на використання в КВМ, а в співпраці з компанією Renishaw був трансформований у новий програмний продукт — PowerINSPECT OMV (On-Machine Verification) [3, 4]. Зазначається, що запропонована технологія

OMV забезпечує значну економію часу, оскільки точність обробки можна контролювати на всіх етапах технологічної операції, без знімання деталі (заготовки) з верстата (рис.2).



Рис.1. Тензометричний датчик від компанії Renishaw

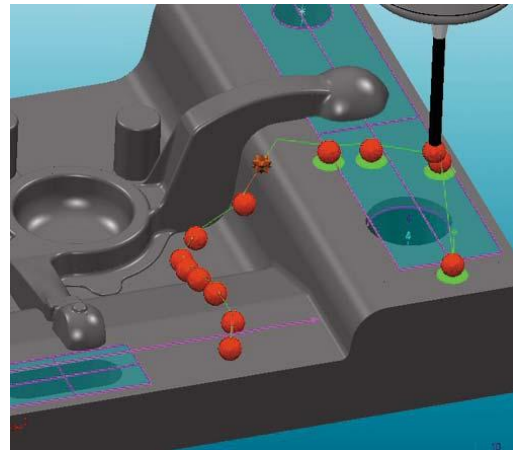


Рис.2. Результати контролю у програмі PowerINSPECT OMV

Вимірювання на верстатах під час виконання технологічної операції виконуються вже давно, з тих часів, як на них почали встановлювати датчики. Діапазон таких вимірювань був обмежений стандартними циклами, які «зашиті» в системі ЧПК [5]. В цьому випадку вимірювання програмуються вручну, а інформація про результати зчитується з екрана стійки ЧПК.

Для використання PowerINSPECT OMV необхідно до системи ЧПК верстату підключити комп'ютер, який буде приймати сигнали від вимірювального щупа, виконувати їх відповідну обробку і готувати протокол в заданому форматі. Таким чином, комп'ютеру треба забезпечити постійний зв'язок зі стійкою верстату, крім того, можна використовувати тільки такі сучасні системи як Siemens 840D, Mazatrol 640, Fanuc 16i, Heidenhain 426 [6, 7].

Постановка завдань. Метою даного дослідження є розробка простої технології моніторингу точності і верифікації контурів деталей безпосередньо на фрезерному верстаті з ЧПК, який оснащений простим трикоординатним контактним щупом. Для цього необхідно, по-перше розробити управляючу програму з автоматичним занесенням даних вимірювань у файл та по-друге створити прикладну програму, яка за завантаженою управляючою програмою оброблення (або її фрагментом) у G-кодах, демонструватиме результати моніторингу та підготує файл для виконання корекції первинної управляючої програми оброблення контуру за результатами виконаних вимірювань [8].

Викладення основного матеріалу. Для виконання першого завдання можна скористатися шаблонами, що містяться в більшості стійок верстатів з ЧПК, оснащених простими контактними щупами. Однак, для більшості схем вимірювань контурів та поверхонь деталей з метою використання результатів в наступних розрахунках корекції таких шаблонів недостатньо. Тому було розроблено спеціальну управляючу програму з використанням стандартних кодів руху вимірювального щупа, які, наприклад, наведені в роботі [9]. Програма записується у G-кодах, як і управляюча програма для фрезерування контуру деталі.

Такий підхід був використаний при контролі обробленого контуру деталі, який складається з двох прямих і дуги кола (рис.3). Управляюча програма для автоматичного вимірювання складена за запропонованою технологією з використанням стандартних кодів для руху вимірювального щупа.

Рух здійснюється спочатку в напрямку координати X до контакту з обробленою поверхнею з заданим кроком за координатою Y. При цьому у файл заноситься значення координати x_s , що визначає координату зупинки руху за сигналом від щупа. Координата y_s визначається також автоматично безпосередньо з управляючої програми. Аналогічно здійснюються виміри і при русі за координатою Y з поступовим зміщенням за координатою X з тим самим кроком: за сигналом від вимірювального щупа у файл заноситься значення координати y_s .

Координати точки A контакту кульки вимірювального щупа з обробленою поверхнею контуру, тобто координати фактично обробленого контуру можна визначити за геометричними співвідношеннями рис.4.

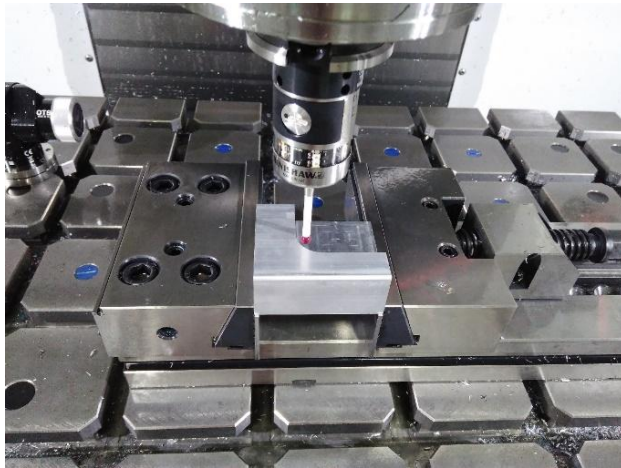


Рис.3. Вимірювання контуру на верстаті з ЧПК HAAS VM3

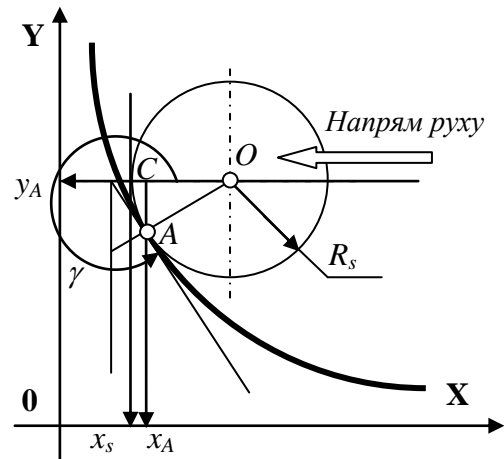


Рис.4. До визначення координати точки контуру

Якщо $\gamma_i < 7\pi/4$ і рух здійснюється за координатою X:

$$\begin{cases} (x_\partial)_i = (x_s)_i + R_s(1 - \cos(\gamma_i - 3\pi/2)) \\ (y_\partial)_i = (y_s)_i \end{cases}; \quad (1)$$

якщо $\gamma_i > 7\pi/4$ і рух здійснюється за координатою Y:

$$\begin{cases} (x_\partial)_i = (x_s)_i \\ (y_\partial)_i = (y_s)_i + R_s(1 - \sin(\gamma_i - 3\pi/2)) \end{cases}. \quad (2)$$

де x_∂, y_∂ – координати контуру, R_s – радіус кульки шупа, γ – кут нахилу контуру у точці вимірювання, що вимірюється від позитивного напрямку вісі X проти годинникової стрілки (дивись рис.4).

Таким чином, для такого алгоритму необхідні дані щодо кута нахилу обробленого контуру на всій його довжині. Крім того, для оцінювання точності необхідні дані щодо теоретичного контуру. Виконання таких операцій передбачене при вирішенні другого завдання дослідження. Оскільки всі такі дані містяться в управляючій програмі обробки контуру вона була покладена в основу спеціально розробленої прикладної програми. Розпізнавання кодів управляючої програми та формування масивів координат еквідистанти, контуру, що обробляється, кутів нахилу відбувається за алгоритмом, укрупнена блок-схема якого представлена на рис.5.

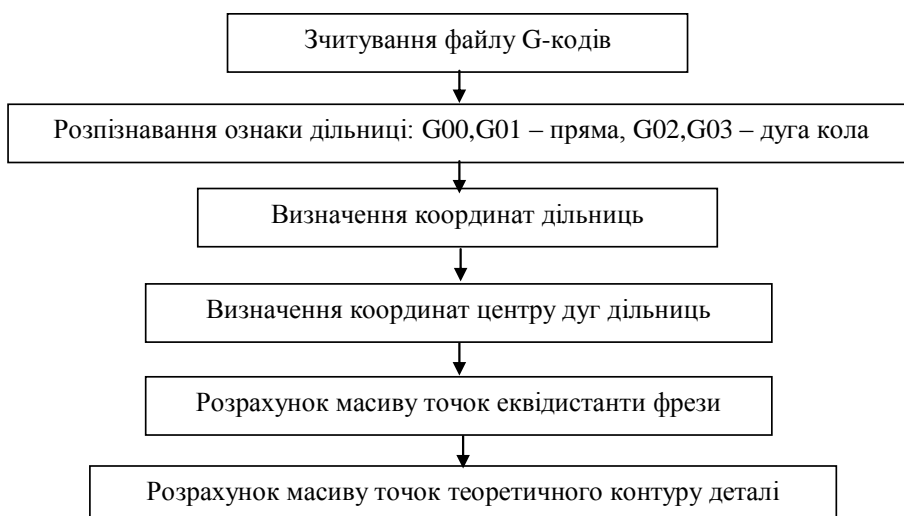


Рис.5. Укрупнена блок-схема алгоритму

Визначення координат центрів дуг, що представляють дільниці еквідистанти (і контуру, відповідно) здійснюється за залежностями, отриманими з геометричних співвідношень рис.6, де лінією 1 позначена траєкторія еквідистанти фрези 2, а лінією 3 позначений контур деталі. В програмі передбачені обидва існуючих варіанти завдання дуги кола: координатами кінця дільниці $[x_B, y_B]$ і радіусом R , або координатами кінця дільниці $[x_B, y_B]$ і параметрами J, I . В другому випадку радіус дуги визначається як $R = \sqrt{J^2 + I^2}$. Початок і кінець дільниці визначається за напрямком руху при обробленні контуру – позначено стрілками на рис.6.

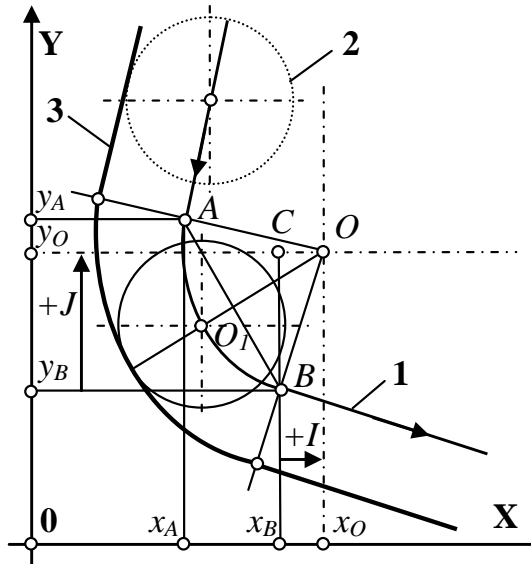


Рис.6. До визначення центру дуги

Отже, в обох випадках у G-кодах управляючої програми в явному вигляді присутні координати $[x_B, y_B]$ кінця дільниці. Тому координати центра дуги кола можуть бути визначені з трикутника OCB :

$$\begin{cases} x_O = x_B + R \cos(\angle BCO) \\ y_O = y_B + R \sin(\angle BCO) \end{cases}, \quad (3)$$

де $\angle BCO = \angle x_A AB + \angle AOO_1$.

В свою чергу ці кути визначаються з геометричних співвідношень рис.6:

$$\angle x_A AB = \arctan \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}, \quad (4)$$

$$\angle AOO_1 = \arcsin \frac{\sqrt{(y_A - y_B)^2 + (x_A - x_B)^2}}{2R}. \quad (5)$$

Далі розрахунок масиву точок еквідистанти фрези виконується з заданим кроком, а масив точок контуру деталі обчислюється за відомими геометричними співвідношеннями з використанням попередньо визначеного масиву кутів нахилу еквідистанти. Всі такі розрахунки виконуються чисельним методом. Нарешті, розраховується масив кутів нахилу контуру деталі також чисельним методом із заданим кроком. Таким чином в програмі створюються всі необхідні масиви для моніторингу точності оброблення контуру.

Інтерфейс програми в стані верифікації результатів за завантаженими файлами G-кодів та вимірювань представлений на рис.7. Після зрозумілих за надписами послідовних маніпуляцій кнопками інтерфейсу в його графічному вікні з'являються траєкторія (еквідистанта) руху центру фрези (лінія 1) і теоретичний контур деталі (лінія 2).

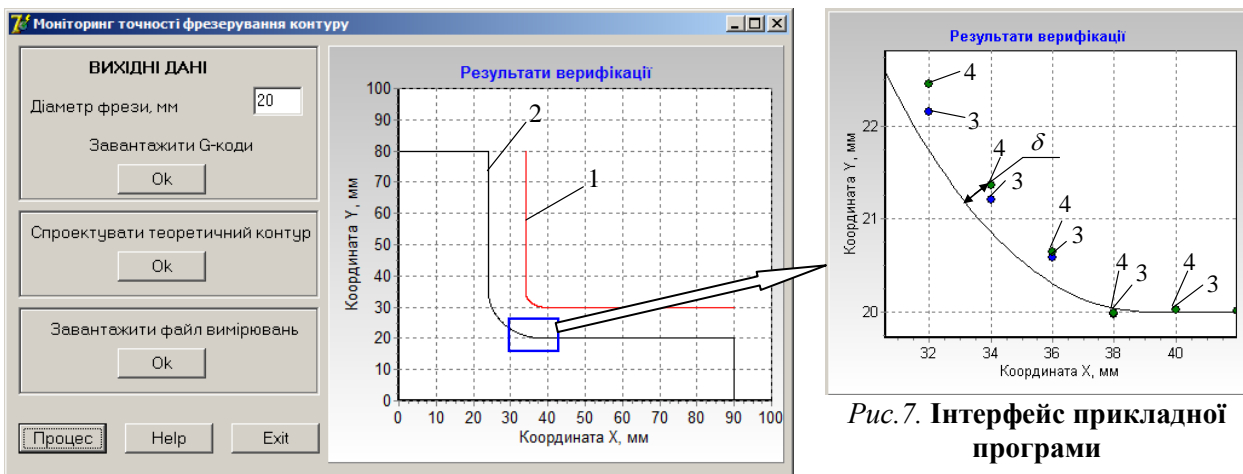


Рис.7. Інтерфейс прикладної програми

Будь-яка дільниця графічного зображення може бути збільшена до потрібного масштабу. Наприклад, збільшення дільниці, що обведена прямокутником, дозволяє спостерігати розташування координат файлу вимірювань (точки 3) і координат фактичного контуру (точки 4),

що розраховані в програмі за залежностями (1) і (2). Як і очікувалось, координати точок, що були виміряні щупом, збігаються з координатами фактичного контуру на дільницях контуру, кут нахилу яких кратний $\pi/2$ і розходяться на всіх інших дільницях. За результатами, що представляються в графічному вікні, можна оцінити точність оброблення контуру за величиною δ , що визначає відстань від теоретичного контуру до розрахованої точки контролю і вимірюється за нормаллю до теоретичного контуру деталі як показано на рис.7.

Висновки.

1. Доведена можливість контролю обробленого контуру деталі безпосередньо на фрезерному верстаті з ЧПУ при використанні трикоординатного контактного щупа і стандартних циклів G-кодів з автоматичним створенням файлу.
2. Розроблена методика контролю, що передбачає використання створеної прикладної програми, орієнтованої, у якості первинної інформації, на використання управляючої програми оброблення контуру та файлу вимірювань на верстаті.
3. Закладені основи для прийняття рішень щодо корекції траєкторії формоутворення за результатами вимірювань фактично обробленого контуру деталі.

Список використаних джерел:

- 1.Обработки лопатки турбины и других деталей авиации на обрабатывающих центрах CHIRON // <https://www.youtube.com/watch?v=k7JJv8T19io>
- 2.Изготовление пресс-форм выдува ПЭТ тары // <https://www.youtube.com/watch?v=9w4shd0VVQE>
- 3.Веретнов А. Контроль точности обработки изделий на станках с ЧПУ при помощи PowerINSPECT OMV // ж. САПР и графика. – 2012. – №. 6. – С. 76-79.
- 4.Ведмидь П., Власов В. PowerINSPECT OMV — новый продукт семейства Power Solution // ж. САПР и графика. – 2007. – №. 4. – С. 80.
- 5.PowerINSPECT – World-leading hardware-independent inspection software <ftp://arrow.delcam.com/pdf/powerinspect/en/PowerINSPECT-OMV.pdf>
- 6.Delcam's PowerINSPECT OMV provides "an invaluable tool" for Makino-NCMT // CIMdata.com 2015 [Електронний ресурс] <https://www.cimdata.com/en/industry-summary-articles/item/4678-delcam-s-powerinspect-omv-provides-an-invaluable-tool-for-makino-ncmt>
- 7.Зорин А. PowerINSPECT OMV – незаменимый помощник на производстве! // САПР и графика. – 2009. – №. 5. – С. 22-25.
- 8.Petrakov Y., Shuplietsov D. Программування адаптивної обробки контурного фрезерування // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. – Т. 1. – №. 79. – С. 34-40.
- 9.Renishaw. Inspection plus software for HAAS machining center// Programming manual H-2000-6222-0A-B – 2008 С. 74

Рецензенти:

1. **Кузнєцов Ю.М.**, професор кафедри конструювання верстатів та машин НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», доктор технічних наук, професор.
2. **Сохань С.В.**, старший науковий співробітник інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2018

УДК 656.1

Н.В. Пономарьова, А.В. Приз*Харківський національний автомобільно-дорожній університет***ПІДХІД ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЗОН ПРІОРИТЕТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ ДОСТАВЦІ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ**

Ефективність перевізного процесу у міжнародному сполученні залежить від наявності зворотного завантаження транспортного засобу. В рамках дослідження для найбільш пріоритетних напрямків перевезення вантажів було запропоновано класифікацію зон обслуговування по критерію максимальної кількості «очищених» замовлень, що збільшує вірогідність зворотного завантаження транспортного засобу, який виконує доставку вантажів у міжнародному сполученні

Ключові слова: вантаж, міжнародні перевезення, замовлення, транспортний засіб, зворотне завантаження, зонінг, радіус транспортного обслуговування

Н.В. Пономарева, А.В. Приз**ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЗОН ПРИОРИТЕТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ДОСТАВКЕ ГРУЗОВ В МЕЖДУНАРОДНОМ СООБЩЕНИИ**

Эффективность перевозочного процесса в международном сообщении зависит от наличия обратной загрузки транспортного средства. В рамках исследования для наиболее приоритетных направлений перевозки грузов предложена классификация зон обслуживания по критерию максимального количества «очищенных» заказов, что увеличивает вероятность обратной загрузки транспортного средства, выполняющий доставку грузов в международном сообщении

Ключевые слова: груз, международные перевозки, заказ, транспортное средство, обратная загрузка, радиус транспортного обслуживания

N.V. Ponomareva, A.V. Priz**APPROACH TO FORMING THE ZONES OF PRIORITY TRANSPORT SERVICE FOR DELIVERY OF GOODS IN INTERNATIONAL MESSAGE**

The modern stage of Ukraine's integration relations with the world community is characterized by active "euro-oriented" steps of our state. The efficiency of the transport process in international traffic depends on the availability of a return load of the vehicle. Designing a scheme for the goods delivery in an international combined complex process. In determining the economic feasibility of the designed delivery scheme, special attention should be given to reverse loading of the vehicle. Within the framework of the study, the classification of service areas by the criterion of the maximum number of "cleared" orders is proposed for the most priority directions of cargo transportation, which increases the probability of a return load of the vehicle that performs the delivery of goods in international traffic

Keywords: cargo, international transportation, order, vehicle, return load, radius of transport service

Постановка проблеми. Швидкі темпи економічного розвитку країн світу сприяють інтенсифікації міжнародних зв'язків та зростанню обсягів торгівлі. Тенденції розвитку світової економіки на сучасному етапі характеризується постійним розширенням господарських зв'язків та міжнародної економічної кооперації. Саме вантажопотоки є відображенням транспортно-економічних зв'язків між країнами. Аналіз вантажопотоків нерозривно пов'язаний з аналізом товарних, транспортних та інформаційних потоків, стану і тенденцій ринку транспортних послуг. Знання характеристик вантажопотоків необхідно для вирішення основних завдань транспортного забезпечення логістики: планування розвитку та модернізації транспортної інфраструктури, вибору виду транспорту і технології транспортування, визначення параметрів транспортних засобів та їх необхідної кількості, маршрутизації перевезень, оцінки економічних характеристик транспортного процесу.

На сьогоднішній день територія України працює велика кількість малих та середніх підприємств, що представляють послуги з перевезення вантажів у міжнародному сполученні. Для того, щоб витримати конкуренцію та одержати прибуток, необхідно вирішувати низку проблем. Однією з них, і самою важливою, є задача вибору раціонального зворотного завантаження транспортного засобу. Можливий простий автомобіля в очікуванні зворотного завантаження зазвичай враховується перевізниками при прийнятті рішення про виконання перевезення в тому чи іншому напрямку. Оцінка часу простою в пункті призначення прямого рейсу носить суб'єктивний характер і лягає на плечі перевізників, які спираються на власні знання та досвід, що не дозволяє розраховувати на високу точність такої оцінки.

На сьогоднішній день прибуток транспортного підприємства залежить не тільки від виконання доставки вантажів у прямому сполученні, але й від тривалості та фінансової

привабливості зворотного завантаження транспортних засобів. Слід відмітити, що у більшості випадків зворотне завантаження транспортних засобів має випадковий характер й залежить від багатьох факторів. Отже, на даному етапі виникає нагальне питання у формуванні зон по території держав пріоритетного транспортного обслуговування, для підвищення оперативності прийняття рішення. В даний час оптимальне зворотне завантаження вибирається за принципом мінімального порожнього пробігу або максимальної ставки фрахту транспортного засобу, що виконує перевезення. Коли транспортний засіб готується до вивантаження, зворотне завантаження для нього вже відоме, тому час очікування при розрахунках не враховується. Проте досягти такої мінімізації часу практично неможливо, бо надається зовсім мало інформації, яка може сприяти покращенню перевізного процесу у міжнародному сполученні [1].

Відсутність такого замовлення ставить перед перевізником питання доцільності його очікування. Розробка теоретичного підґрунтя формування стратегій перевізників з обслуговування разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні є актуальним завданням, вирішення якого дозволить перевізникам зайняти вигідну позицію на ринку транспортних послуг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки через збільшення рівня вимог до міжнародних автомобільних перевезень вантажів і рівня конкуренції на ринку міжнародних автомобільних перевезень виникає потреба в розробці й впровадженні більше ефективних методів управління транспортним процесом. В роботі [2] авторами проведений аналіз існуючих методів раціоналізації процесу доставки вантажів у міжнародному сполученні. Більшість розроблених методів та моделей раціоналізації схем доставки не враховують імовірнісні характеристики параметрів транспортного процесу, що зменшує ефективність прийняття управлінських та організаційних рішень. Перспективними напрямками досліджень є удосконалення моделей, що розглядають транспортний процес як процес з кінцевим числом стану вантажу та рухомого складу (моделі марківських процесів), та їх адаптація до умов роботи підприємств на сучасному ринку транспортних послуг з урахуванням базисних умов поставки вантажів в міжнародному сполученні.

В роботі [3, 4] проведені дослідження параметрів потоку замовлень на перевезення вантажів, тобто параметрів попиту на перевезення. Кожну заявку пропонується характеризувати такими показниками, як об'єм вантажу, інтервал надходження замовлення, відстань доставки та сумарний нульовий пробіг. Крім того, через особливості документального оформлення та технології процесу міжнародних перевезень інтервал замовлення як параметр попиту, що обумовлює частоту надходження замовлень та їх кількість протягом розрахункового періоду, можна також не враховувати.

Постановка завдань. В роботі поставлена мета розробки підходу до формування таких пріоритетних зон транспортного обслуговування, які дозволили б раціоналізувати транспортно-технологічну схему доставки вантажів на етапі проектування транспортної послуги у міжнародному сполученні.

Викладення основного матеріалу. З розвитком світового ринку формується принципово інша основа співвідношення регульованої і вільної економіки в господарстві країн і світового співтовариства. Тенденції розвитку світового ринку пов'язані з інтеграційними процесами міжнародних ринків, економік національного масштабу, галузевих ринків. Зростаючі проблеми споживання визначають рух суспільства шляхом накопичення багатства, отже, зростання обсягів виробленого продукту [1]. Вихідна звідси потреба у переміщенні різноманітних товарів сприяє не тільки функціонуванню, а й розвитку ринку транспортних послуг, про що свідчать статистичні дані.

На основі статистичних даних можливо визначити найбільш поширені напрямки перевезень. Тому доцільно дослідити територію країн та визначити області потрапляння заявок у прямому та зворотному напрямку та розробити методіку, яка б спрощувала знаходження заявок на зворотне завантаження вантажів.

Дослідження проводимо у декілька етапів, кожний з яких розглянемо детально.

I етап. Для аналізу заявок по кожному з напрямів перевезення вантажів необхідно зробити вибірку із генеральної сукупності даних. Протягом трьох днів було проаналізовано заявки на перевезення вантажів, що надходили з (до) України до (з) Німеччини та Польщі. Було встановлено, що відсоток реальних заявок в масиві даних становить 33%. Тому кількість отриманих заявок розраховуються по формулі

$$n_{оз} = N_{\Sigma} \cdot \frac{k_3}{100}, \quad (1)$$

де N_{Σ} – розмір генеральної сукупності, заявок, од.; k_3 – відсоток реальних заявок в масиві даних, %.

Проаналізувавши кількість заявок у період 2015-2016 року можна бачити тенденцію, що найбільше заявок із України надходять до таких країн - Німеччина, Польща, Румунія, Болгарія. (рис. 1).



Рис.1. Діаграма кількості заявок, що надходять з України у період 2015-2016 року

На діаграмі 2 показано кількість заявок, які надходять в Україну. Найбільше заявок надходить з Туреччини, Росії та Польщі [5].



Рис.2. Діаграма кількості заявок, що надходять в Україну у період 2015-2016 року

Отже, найбільш поширеними напрямками є Німеччина та Польща. Аналіз розрахованої вибірки показав, що в кожній країні існують області, в які заявка на перевезення надходить найчастіше. Тому на основі методики визначення оптимального радіуса зони обслуговування територія Німеччини та Польщі була розбита на певні зони, враховуючи, що зона обслуговування має вигляд кола (рис. 3-4). Рациональний радіус зони обслуговування визначається за формулою

$$R_{(обсл)} = k_{(нм)} \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot N_{(ц)}}}, \quad (2)$$

Де $k_{(нм)}$ – коефіцієнт нерівномірності охоплення визначеними зонами обслуговування території країни; F – площа країни, км²; $N_{(ц)}$ – кількість визначених центрів зон обслуговування, од.

Чисельне значення коефіцієнта непрямої мережі розраховується по формулі

$$k_{(нм)} = \frac{\sum_{i=1}^{20} L_i^{ф\phi}}{\sum_{i=1}^{20} L_i^{с\phi}}, \quad (3)$$

де $L_i^{ф\phi}$ – фактична довжина шляху i -ї ділянки заміру, км; $L_i^{с\phi}$ – довжина тієї ж ділянки заміру, визначена по «повітряній лінії», км.

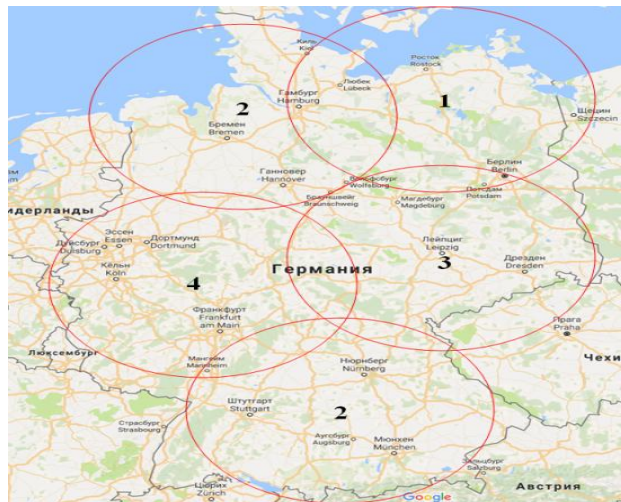
II етап. Аналіз розрахованої вибірки показав, що в кожній країні існують області, в які заявка на перевезення надходить найчастіше. Тому на основі методики визначення оптимального радіуса зони обслуговування територія Німеччини та Польщі була розбита на певні зони, враховуючи, що зона обслуговування має вигляд кола та запропонована загальна класифікація зон обслуговування для обраних країн. Була запропонована загальна класифікація зон обслуговування для обраних країн (табл. 1).

Таблиця 1.

Класифікація зон обслуговування

Кількість заявок, що надходять до країни	Зона обслуговування
0-5	біла зона
5-10	сіра зона
10-15	рожева зона
більше 15	червона зона

III етап. Якщо заявка на перевезення потрапляє до червоної зони, то вірогідність зворотного завантаження є найбільшою. Тому подальші розрахунки приводимо для маршруту Харків-Марбург, Харків-Груецьз урахуванням часу очікування зворотного завантаження. На основі розрахунку раціонального радіуса було визначено центр червоної зони обслуговування по кожній країні.



Умовні позначення: 1 – біла зона; 2 – сіра зона; 3 – рожева зона; 4 – червона зона

Рис.3. Зони обслуговування в Німеччині



Умовні позначення: 1 – біла зона; 2 – сіра зона; 3 – рожева зона; 4 – червона зона

Рис.4. Зони обслуговування в Польщі

За допомогою зон обслуговування та даної класифікації спрощується процедура пошуку зворотного завантаження автомобіля. Якщо заявка на перевезення потрапляє до червоної зони, то вірогідність зворотного завантаження є найбільшою – тому даний напрямок буде пріоритетним.

Висновки. В результаті теоретичних досліджень та моніторингу сучасного стану ринку міжнародних вантажних перевезень вантажів було виявлено, що найбільш перспективним є орієнтування вантажних автомобільних перевезень у напрямку - Польща, Німеччина. Розроблено підхід до формування пріоритетних зон транспортного обслуговування при організації доставки вантажів у міжнародному сполученні.

Перспективою даного дослідження є побудова регресійної моделі доставки вантажів у міжнародному сполученні. В якості критерія ефективності передбачається використання загальних витрат перевізників на виконання доставки вантажів у міжнародному сполученні.

Література

1. Організація міжнародних автомобільних перевезень вантажів: навч. посіб. / Н. В. Пономарьова, Т. В. Волкова, Н. М. Пономарьова та ін. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 180 с.
2. Наумов В.С., Бабич І.А., Кокора В.С. Аналіз існуючих методів раціоналізації процесу доставки вантажів у міжнародному сполученні і основні напрямки їх удосконалення // Автомоб. тр-т: Сб. науч. тр. – Х., 2007. – Вып. 21. – С. 57 – 60.
3. Наумов В.С. Расчёт рациональной структуры автопарка для выполнения разовых заявок // Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та.: Сб. науч. тр. – Х., 2005. – Вып. 28. – С. 63 – 66.
4. Наумов В.С. Анализ влияния параметров потока заявок на рациональную структуру автопарка // Автомоб. трансп.: Сб. науч. тр. – Х., 2005. – Вып. 17. – С. 70 – 74.
5. Статистичні дані [Електронний ресурс] Офіційний сайт [www.ukrstat.gov.ua](http://ukrstat.gov.ua) : Режим доступу : <http://ukrstat.gov.ua/>.

Рецензенти:

Ю.О. Давідіч, д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.

В.П. Волков, д-р техн. наук, проф., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018

УДК 621.941

Б.І. Придальний, Ю.М. Кузнєцов**ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПРИВОДА ЗАТИСКУ З АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ**

Представлено результати теоретичних досліджень характеристик роботи розробленого електромеханічного привода затиску для токарних автоматів. Дослідження проведені з використанням спеціально розробленої комп'ютерної програми, що відображає результати у вигляді графіків. Проаналізовано залежність величини струму статора, частоти обертання і обертового моменту ротора електродвигуна та переміщення вихідної ланки від часу. Це сприяє виявленню шляхів вдосконалення конструкції та підвищенню ефективності експлуатації механізму за рахунок вибору більш оптимальних параметрів роботи і налаштувань.

Ключові слова: електромеханічний привод затиску, теоретичні дослідження, асинхронний двигун, характеристики процесу затиску.

Б.И. Придальный, Ю.Н. Кузнецов**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА ЗАЖИМА С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

Представлены результаты теоретических исследований характеристик работы разработанного электромеханического привода зажима для токарных автоматов. Исследования проведены с использованием специально разработанной компьютерной программы с возможностью представления результатов в виде графиков. Проанализирована зависимость величины тока статора, частоты вращения и крутящего момента ротора электродвигателя и перемещение выходного звена от времени. Это способствует выявлению путей совершенствования конструкции и повышению эффективности эксплуатации механизма за счет выбора более оптимальных параметров работы и настроек.

Ключевые слова: электромеханический привод зажима, теоретические исследования, асинхронный двигатель, характеристики процесса зажима.

B.I. Prydalnyi, Y.M. Kuznetsov**THEORETICAL RESEARCH OF CHARACTERISTICS THE ELECTROMECHANICAL ACTUATOR OF CLAMPING MECHANISM WHICH BASED ON ASYNCHRONOUS MOTOR**

The results of theoretical research characteristics the developed electromechanical actuator of clamping mechanism for lathe automat are presented. The research was conducted by using a specially designed computer program that displays results in form of graph. The dependence of the stator current, frequency of rotation and torque of the rotor of the electric motor and the displacement of the initial link on time has been analyzed. This helps to identify ways to improve the design and increase the efficiency of the operation of the mechanism by choosing more optimal working parameters and settings.

Key words: clamping electromechanical actuator, theoretical research, asynchronous motor, characteristics of the clamping process.

Постановка проблеми. Як відомо характеристики затискних механізмів (ЗМ) токарних автоматів (ТА) впливають на продуктивність та якість обробки. Габарити ЗМ визначають компактність конструкції таких вузлів, як шпindelьні барабани багатшпindelьних автоматів або шпindelьні бабки одношпindelьних автоматів і револьверних верстатів. Також, до ЗМ ставлять ряд додаткових і спеціальних вимог: швидкозмінність і легкість регулювання, широкодіапазонність, захищеність, ремонтпридатність, можливість автоматичного регулювання характеристик затиску або дистанційного керування, безшумність, безпека роботи, уніфікація, стандартизація, універсальність і ін.. Привод затискного механізму (ПрЗ), як один з основних його елементів впливає на характеристики ЗМ. Від силових та енергетичних характеристик ПрЗ залежить: максимальна інтенсивність режимів різання; стабільність і надійність затиску, що визначає можливість та якість обробки некаліброваних і тонкостінних заготовок; витрати енергії та ін. [4]. Характеристики ПрЗ впливають на величину, можливість стабілізації та регулювання зусилля затиску. Це у певній мірі також визначає можливість використання резервів ТА з точки зору збільшення допустимого відхилення розміру оброблюваних прутків (перехід на більш дешеві гарячекатані), підвищення економії енергії, продуктивності і якості обробки та ін.. Також, характеристики ПрЗ повинні бути оптимізовані параметрами, які обумовлюють його взаємодію із спряженими вузлами верстатної системи.

Очевидно, що найбільш ефективним та поширеним способом живлення технологічного обладнання є використання електричної енергії. Також спостерігається тенденція до розширення сфери використання електромеханічних вузлів в складі технологічного обладнання і в тому числі як заміна їх існуючих механічних аналогів, що зменшує кількість перетворювачів енергії та втрат. Це дає можливість зробити припущення про перспективність використання електромеханічних

приводів затиску (ЕМПрЗ) у складі ЗМ металообробних верстатів [3]. Для попередньої оцінки доцільності використання а також можливості подальших експериментальних досліджень пристроїв даної конструкції необхідно провести теоретичні дослідження їх характеристик.

Метою досліджень визначення окремих характеристик роботи ЕМПрЗ для аналізу та подальших досліджень, що стосуються доцільності використання та шляхів вдосконалення даної конструкції.

Виклад основного матеріалу. Для проведення досліджень обрано одну з найбільш простих конструкцій ЕМПрЗ [5] за патентом України [6], що побудована на основі асинхронного електродвигуна 4А112МА8. Для аналізу його роботи використано математичну модель [7], що дає змогу розраховувати основні часові електромеханічні залежності. Для даного двигуна ЕМПрЗ проведено розрахунок індуктивних та активних опорів. Величина індуктивностей статора L_s і ротора L_r визначається розрахунковим шляхом, виходячи із заздалегідь відомих паспортних даних електродвигуна. Номінальний фазний струм двигуна обрано з [2].

$$I_{\phi, \text{ном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{3 \cdot U_{\phi, \text{ном}} \eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{2200}{3 \cdot 220 \cdot 0,765 \cdot 0,71} = 6,137 \text{ A.}$$

Визначення абсолютних значень опорів:

$$\begin{aligned} x_m &= X_m \cdot \frac{U_{\phi, \text{ном}}}{I_{\phi, \text{ном}}} = 1,5 \cdot \frac{220}{6,137} = 53,772 \text{ Ом}; \\ r_1' &= R_1' \cdot \frac{U_{\phi, \text{ном}}}{I_{\phi, \text{ном}}} = 0,093 \cdot \frac{220}{6,137} = 3,334 \text{ Ом}; \\ x_1' &= X_1' \cdot \frac{U_{\phi, \text{ном}}}{I_{\phi, \text{ном}}} = 0,11 \cdot \frac{220}{6,137} = 3,92 \text{ Ом}; \\ r_2'' &= R_2'' \cdot \frac{U_{\phi, \text{ном}}}{I_{\phi, \text{ном}}} = 0,083 \cdot \frac{220}{6,137} = 2,975 \text{ Ом}; \\ x_2'' &= X_2'' \cdot \frac{U_{\phi, \text{ном}}}{I_{\phi, \text{ном}}} = 0,17 \cdot \frac{220}{6,137} = 6,094 \text{ Ом}; \end{aligned}$$

Згідно [2], отримано значення індуктивного опору розсіювання фази обмотки статора:

$$x_{\sigma 1} \approx \frac{2x_1' x_m}{x_m + \sqrt{x_m^2 + 4x_1' x_m}} = \frac{2 \cdot 3,92 \cdot 53,772}{53,772 + \sqrt{53,772^2 + 4 \cdot 0,11 \cdot 53,772}} = 3,912 \text{ Ом}.$$

Згідно [1], визначаємо інші опори:

$$r_1 = \frac{r_1'}{m_T} = \frac{3,334}{1,38} = 2,415 \text{ Ом}; \quad r_2' = \frac{r_2''}{m_T (1 + \tau_1)^2 \cdot (1 + \rho_1^2)} = \frac{2,975}{1,38(1 + 0,066)^2 \cdot (1 + 0,058^2)} = 1,891 \text{ Ом};$$

$$x_1 = \frac{x_1'}{1 + \tau_1} - r_1 \rho_1 = 3,537 \text{ Ом}; \quad x_2' = \frac{x_2''}{(1 + \tau_1)^2 \cdot (1 + \rho_1^2)} = \frac{6,094}{(1 + 0,066)^2 \cdot (1 + 0,058^2)} = 5,345 \text{ Ом};$$

де m_T – коефіцієнт приведення активного опору до розрахункової робочої температури [1] [2], що визначається класом ізоляції по нагрівостійкості (для класу ізоляції F і H , $m_T = 1,37 \dots 1,38$).

Коефіцієнт опору статора $\rho_1 = \frac{r_1 m_T}{x_1 + x_m} = 0,058$, коефіцієнт розсіювання статора

$$\tau_1 = \frac{x_1}{x_m} = \frac{x_1}{53,772} = 0,066. \text{ Відповідно до [1] } x_1/x_2' \approx 0,7 \dots 1, \quad x_1/x_2' = 3,537/5,345 = 0,66, \text{ що є}$$

допустимим, з урахуванням наближень у розрахунках.

Для визначення характеристик роботи дослідного ЕМПрЗ використано спеціально створену комп'ютерну програму. З її допомогою виявлено залежності від часу: частоти обертання ротора n , величини струму живлення обмотки статора I , електромагнітного обертового моменту M_a , що виникає на роторі, переміщення X_T вихідної ланки ЕМПрЗ. Зазначені характеристики визначалися при наступних значеннях вихідних даних, що відповідають дослідному ЕМПрЗ:

- максимальне значення напруги живлення обмотки статора – 310В;
- кутова частота напруги мережі живлення – 314 c^{-1} ;
- активний опір фази обмотки статора – 2,415 Ом;
- активний опір фази обмотки ротора – 1,891 Ом;
- обернена індуктивність розсіювання (дисипації) фази статора – $88,77 \text{ Гн}^{-1}$;

- обернена індуктивність розсіювання (дисипації) ротора – $58,7 \text{ Гн}^{-1}$;
 - основна обернена індуктивність магнітопроводу (вітки намагнічування) – $5,84 \text{ Гн}^{-1}$;
 - момент інерції ротора – $0,07 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
 - кількість пар полюсів електродвигуна – 4;
 - тривалість першого етапу роботи ЕМПрЗ – 0,3с;
 - момент опору обертанню ротора під час вибірки зазорів (перший етап роботи) – 5 нм ;
 - тривалість подачі живлення до механізму (може бути меншою ніж тривалість процесу затиску за рахунок роботи сил інерції) – 2с;
 - максимальне осьове навантаження вихідної ланки, що визначається необхідною величиною зусилля затиску заготовки – 40000 Н ;
 - стала часу – 3;
 - середній діаметр різі гвинтової передачі – $0,089 \text{ м}$;
 - крок різі гвинтової передачі – $0,002 \text{ м}$;
 - приведений кут тертя гвинтової передачі – 4° .
- Після внесення даних вікно програми для розрахунку характеристик має вигляд рис.1

Рис. 1. Дані, що внесені у програму для визначення характеристик ЕМПрЗ

Результати розрахунків представлені у вигляді графіків залежностей від часу: частоти обертання ротора n , величини струму живлення обмотки статора I , електромагнітного обертального моменту M_a , що виникає на роторі та переміщення X_T вихідної ланки ЕМПрЗ при максимальних значеннях її осьового навантаження 40 кН (рис. 2) та 30 кН (рис. 3). При цьому мінімальна тривалість першого етапу затиску прийнята рівною $t_{k1} = 0,3 \text{ с}$, що було визначено як час протягом якого відбувається розгін ротора електродвигуна до початку роботи в усталеному режимі. Дана величина виявлена з графіків залежності частоти обертання та обертального електромеханічного моменту. Таким чином встановлено, що реальний механізм слід відрегулювати шляхом зміни величини вільного вибігу ротора протягом $0,3 \text{ с}$. Після даного періоду часу починається процес створення натягу в системі, що супроводжується наростанням опору переміщення вихідної ланки до її максимального значення. Керування швидкістю експоненційного зростання навантаження вхідної ланки до максимального значення (заданого для даного випадку як 40 кН та 30 кН) відбувається шляхом зміни сталої часу у відповідній комірці вікна програми.

Представленим теоретичним дослідженням передувало створення дослідного зразка ЕМПрЗ [5] та проведення попередніх практичних випробувань з використанням адаптованих

універсальних вимірювальних приладів, наприклад, динамометричний ключ, навантажувальні пристрої та ін.

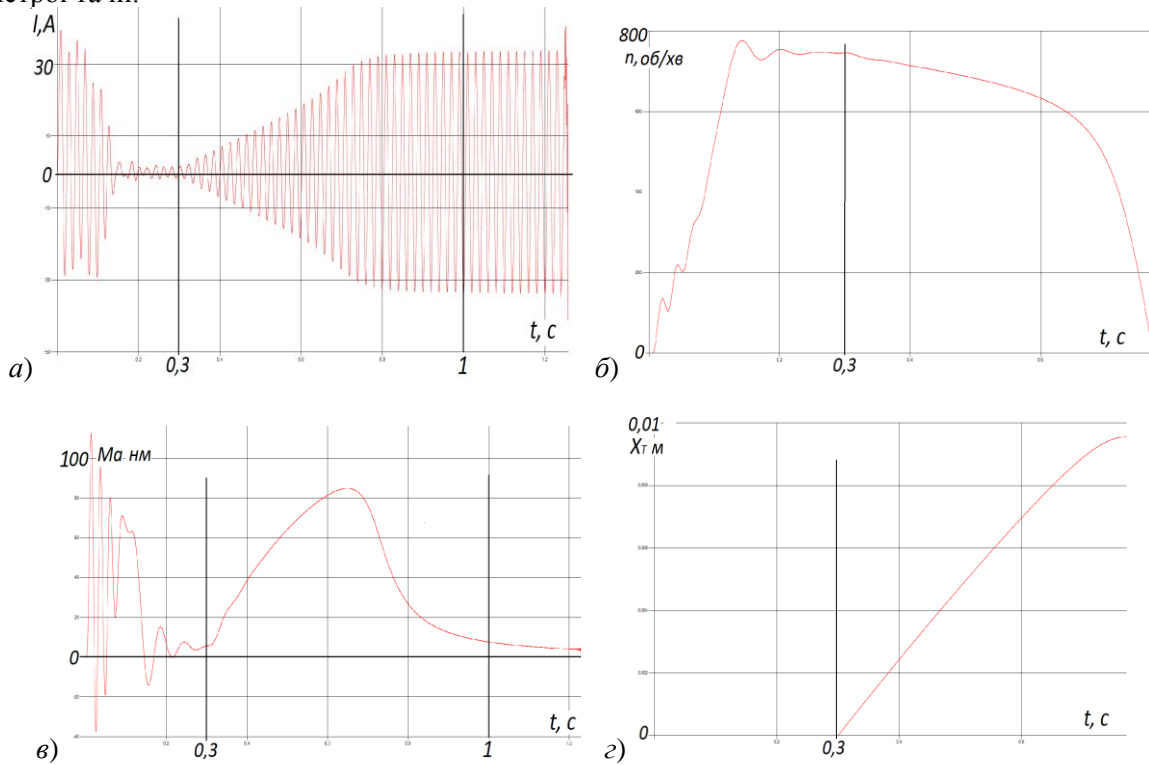


Рис. 2. Залежності від часу: а) частоти обертання ротора n ; б) величини струму I живлення обмотки статора; в) електромагнітного обертового моменту M_a ротора; з) переміщення X_r вихідної ланки ЕМПрЗ при навантаженні на вихідну ланку 40кН

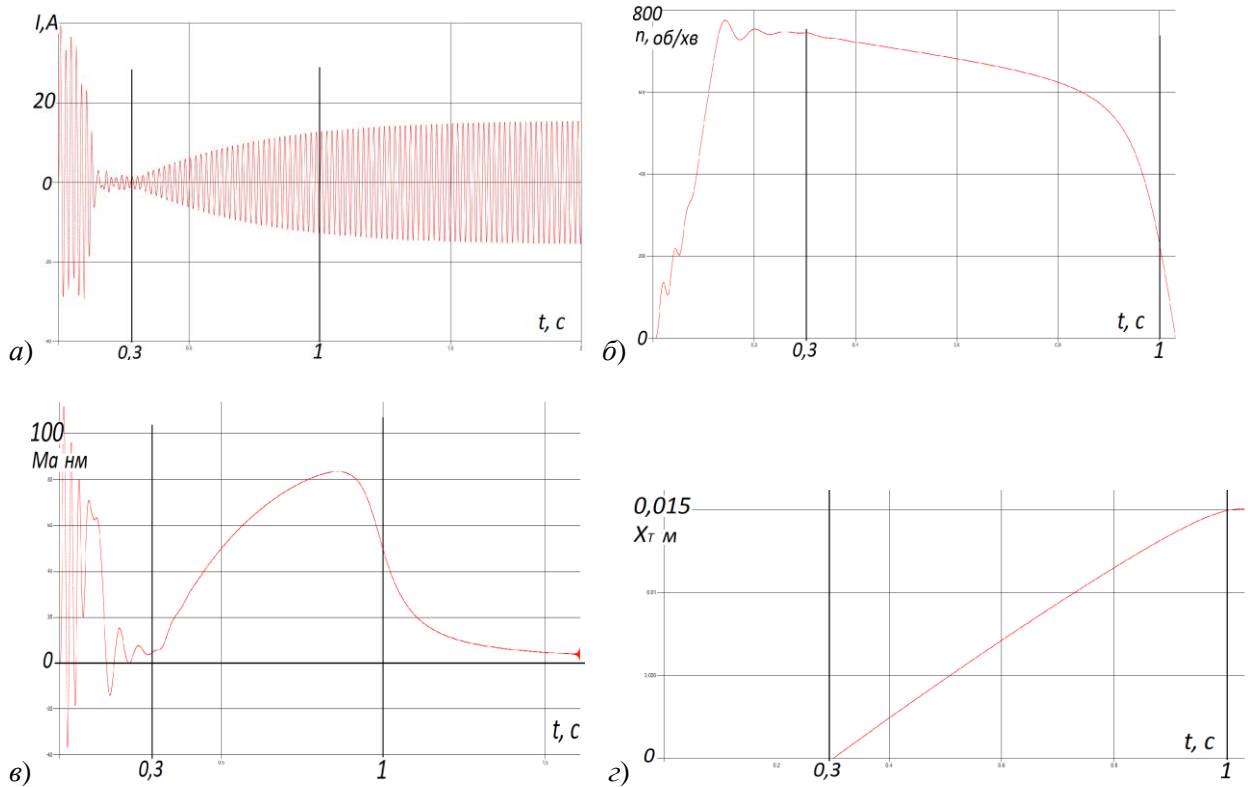


Рис. 3. Залежності від часу: а) частоти обертання ротора n ; б) величини струму I живлення обмотки статора; в) електромагнітного обертового моменту M_a ротора; з) переміщення X_r вихідної ланки ЕМПрЗ при навантаженні на вихідну ланку 30кН

Як видно з графіка (рис. 2,а) величина струму, що протікає у обмотках статора, при навантаженні вихідної ланки осьовим зусиллям величиною $40кН$ є близькою до максимальних значень і приблизно рівна величині пусковому струму даного електродвигуна. Двигун ЕМПрЗ працює у стопорному режимі, що спричиняє зупинку ротора під дією зовнішнього навантаження. Як видно з графіків на рис. 2,б та рис. 3,б, час обертання ротора є більшим при дії меншого навантаження на вихідну ланку. Також при малих значеннях частоти обертання ротора стрімко зменшується величина електромагнітного моменту M_a рис. 2,в та рис. 3,в, що розвивається двигуном для подолання моменту опору від зовнішнього навантаження і визначається механічною характеристикою електродвигуна. Використання роботи двигуна у складі ЕМПрЗ із значними перевантаженнями (особливість роботи у стопорному режимі) пояснюється їх незначною тривалістю у порівнянні з періодами простою у вимкненому стані. Це дає можливість достатнього охолодження активних частин електродвигуна. Також, ефективність охолодження підвищується внаслідок обертання ротора разом із шпинделем під час обробки при відсутності струму на його обмотках.

Очевидно, що переміщення вихідної ланки ЕМПрЗ рис. 2,г та рис. 3,г є меншим при більшому значенні прикладеного до неї зовнішнього навантаження, що відповідно призводить до швидшої зупинки двигуна. Навантаження вихідної ланки ЕМПрЗ в реальному ЗМ виникає внаслідок протидії переміщенню вхідної ланки затискного патрона. Дане переміщення відбувається після вибірки зазорів у ЕМПрЗ протягом другого етапу його роботи і в значній мірі залежить від характеристик регулювання механізму. Регулювання даного механізму мають значний вплив на характеристики його роботи оскільки також визначають міру використання сил інерції для досягнення максимальних значень його силових характеристик.

Висновок. Результати проведених у статті теоретичних досліджень відображають тенденції зміни відповідних характеристик отриманих у ході попередніх практичних випробувань дослідного зразка ЕМПрЗ [5]. Представлені розрахункові значення характеристик роботи досліджуваного ЕМПрЗ знаходяться в межах, що характерні для різних варіантів експлуатації існуючих аналогів ПрЗ. Це дає підстави вважати можливим використання конструкції дослідного зразка ЕМПрЗ [6] для створення ЗМ токарних автоматів, а також підтверджує доцільність теоретичних досліджень.

Література

1. Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / О.Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко; под ред. О.Д. Гольдберга. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 2001. – 430 с.
2. Кравчик А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
3. Кузнецов Ю.М. Аналіз процесу затиску-розтиску тіл обертання в затискному механізмі з електромеханічним приводом /Ю.М. Кузнецов, Б.І. Придальний //Інженерні науки: вісник ХНТУ. – №4 (55). – Херсон, 2015. – С. 48–56.
4. Кузнецов Ю.М. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів: монографія / Ю.М. Кузнецов, Б.І. Придальний; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.М. Кузнецова. – Луцьк: Вежа-Друк, 2016. – 352 с.
5. Придальний Б.І. «Електромеханічний привод затиску для токарних автоматів». Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №40, 2017. – С. 225-230.
6. Пат. України на винахід №95323. Пристрій для затиску пруткового матеріалу /Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І., Редько Р.Г.; МПК (2011.01) В23В15/00, В23В13/10 (2006.01)- заявл.19.06.2009, №u200906409; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.
7. Чабан В. Математична модель вузла живлення асинхронних машин: монографія / В. Чабан, В. Лишук. - Луцьк. РВВ ЛНТУ, 2011. – 116 с.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК: 621.67

О.В. Ратушний

Сумський державний університет

**МУЛЬТИФАЗНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ ТА НАСОСНЕ ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ НЕЇ**

«Директива ЄС щодо визначення вимог, що пред'являються до проектування виробів, які споживають електроенергію», висуває вимогу скорочення споживання енергії в Європі до 2020 р на 40%, її реалізація в області нафтовидобутку ґрунтується на новій світовій тенденції - переході на більш ефективну так звану «мультифазну» технологію видобутку нафти. Вона включає в себе не тільки принципово іншу схему видобутку і перекачування нафти, але і створення нових типів насосів, раціональний вибір привода, ефективне використання побічних продуктів видобутку нафти. Для України, що має розвинені насособудівну та нафтовидобувну галузі актуальною постає задача впровадження такої мультифазної технології та розробка відповідного насосного обладнання.

Ключові слова: геліко-осьовий насос, мультифазна суміш, однотрубна технологія видобутку нафти

А.В. Ратушний**МУЛЬТИФАЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ И НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ НЕЁ**

«Директива ЕС по определению требований, предъявляемых к проектированию изделий, потребляющих электроэнергию», выдвигает требование сокращения потребления энергии в Европе к 2020 г. на 40%. Ее реализация в области нефтедобычи основывается на новой мировой тенденции - переходе на более эффективную так называемую «мультифазную» технологию добычи нефти. Она включает в себя не только принципиально другую схему добычи и перекачки нефти, но и создание новых типов насосов, рациональный выбор привода, эффективное использование побочных продуктов добычи нефти. Для Украины, которая имеет развитые насосостроительную и нефтедобывающую отрасли стоит актуальная задача внедрения такой мультифазной технологии и разработка соответствующего насосного оборудования.

Ключевые слова: гелико-осевой насос, мультифазная смесь, однотрубная технология добычи нефти

A. Ratushnyi**MULTIPHASE TECHNOLOGY OF OIL PRODUCTION AND PUMPING EQUIPMENT**

The EU Directive on determining the requirements for the design of products consuming electricity", calls for a reduction of energy consumption in Europe by 2020 by 40%. Its implementation in the field of oil production is based on a new world trend - the transition to a more efficient so-called "multiphase" oil production technology. It includes not only a fundamentally different scheme of oil production and pumping, but also the creation of new types of pumps, the rational choice of the drive, the efficient use of by-products of oil production. For Ukraine, which has a developed pumping and oil producing industry, there is an urgent task of introducing such a multiphase technology and developing appropriate pumping equipment.

Keywords: helical-axial pump, multiphase mixture, single-tube oil production technology

Вступ. Нафтова суміш із свердловини являється мультифазним середовищем, що складається із нафти, пластової води, попутного газу та твердих включень (рис. 1). Тому процес видобутку такої суміші є проблемним, так як дійсні робочі умови на родовищі міняються з плином його життя і можуть не відповідати розрахунковим, прогнози про тиск і потік відрізняються великою мірою невизначеності [1].

В процесі експлуатації родовища дані про його продуктивність (витрата нафти, конденсату, води, газу, тиск, температура та ін.) будуть змінюватися. Ці зміни зв'язані в першу чергу з природнім виснаженням пласта. До того ж, на кожному конкретному родовищі в процесі видобутку часто виникають так звані середні по часу зміни, пов'язані з відхиленням від робочих умов експлуатації (пуск, зупинка, перевірка свердловин та ін.).

Тому галузі промисловості, які зв'язані з видобутком, переміщенням та переробкою газонасичених суспензій (нафтовидобувна та нафтопереробна), потребують створення спеціального насосного устаткування, здатного ефективно перекачувати продукти з високим рівнем газу в перекачуваній суміші. При цьому основними експлуатаційними вимогами до даного насосного устаткування є:

- а) граничний вміст газу в перекачуваній суміші;
- б) економічність;
- в) масогабаритні показники.

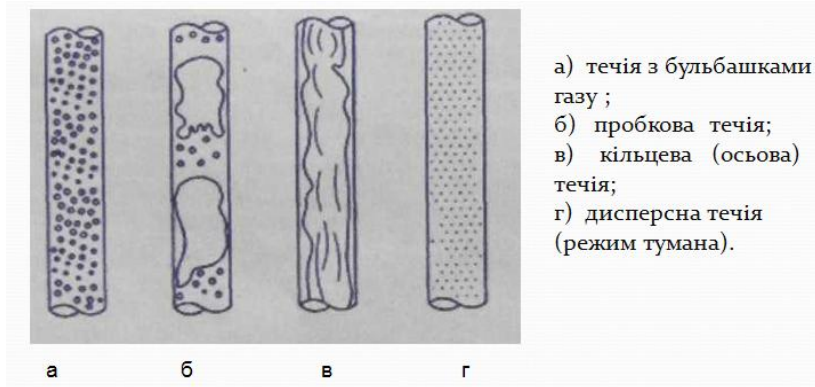


Рис. 1. Структура мультифазної суміші

Постановка проблеми. Технології видобутку нафти. Традиційною є схема облаштування нафтогазових родовищ, яка включає сепаратори першої ступені, на які від кушів свердловин поступає мультифазна суміш (нафта, пластова вода, тверді включення та попутний газ) [2]. Нафта із сепараторів перекачується відцентровими насосами на центральний пункт збору і підготовки нафти до транспортування, пластова вода виливається у природу, а попутний газ спалюється у факелах, що є небезпечно для атмосфери і не економічно для держави (рис. 2). Ця схема не є вигідною, тому що:

- а) газ, який би міг бути направлений на переробку до газопереробних заводів, спалюється;
- б) використовуються відцентрові насоси, які мають доволі велику масу та габарити; високу вартість обладнання, обслуговування і ремонту; низький наробіток на відмову; недостатній інтервал робочих характеристик;
- в) пластова вода, яка могла б бути закачана у свердловину для підтримки тиску або відфільтрована і використана у промисловості, виливається;
- г) необхідність наявності спеціального обладнання для поділу компонентів мультифазною середовища і перекачування їх до центрального пункту обробки по окремих трубопроводах.

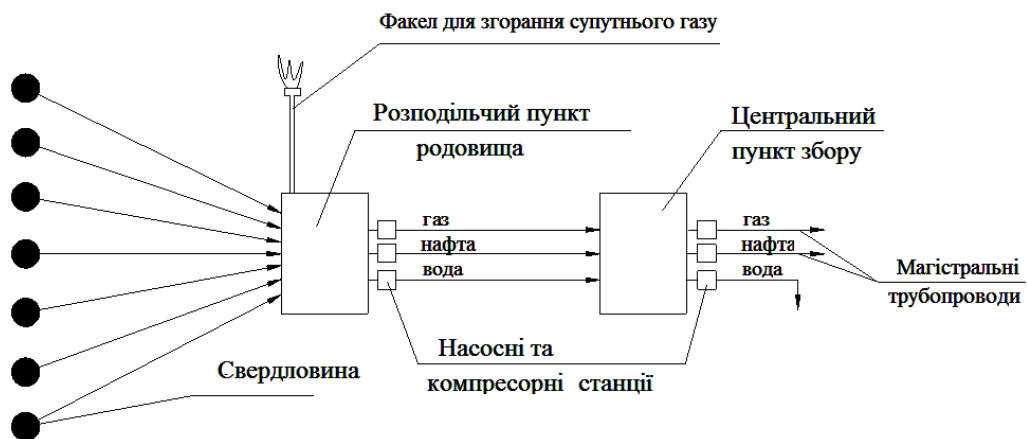


Рис. 2. Багатотрубна технологія видобутку нафти

В ЄС вже широко застосовуються мультифазні технології перекачування нафтогазової суміші (рис. 3), які дозволяють транспортувати її по одному трубопроводу від кушових майданчиків родовищ до центрального пункту збору, в якому вже відбуватиметься розділ суміші на складові (нафту, газ, воду). Серед переваг такої технології виділяють:

- а) значне скорочення кількості технологічного обладнання на родовищі (прокладка одного трубопроводу, відсутність компресорів, однофазних насосів, сепараторів, водовідділювачів, охолоджувачів);
- б) транспортування газорідної суміші по одному трубопроводу;
- в) основний економічний ефект застосування мультифазних насосів зв'язаний з перш за все з пониженням тиску на виході зі свердловини, що призводить до підвищення продуктивності;

- г) пониження впливу на довколишнє середовище, ефективне використання попутного газу, відсутність факела;
- д) ефективна розробка віддалених нафтових родовищ, на яких немає можливості обладнання родовища традиційним способом;
- е) установка мультифазних насосів на свердловинах, в яких застосовані занурювані насоси, підвищує термін експлуатації занурюваних насосів
- ж) підвищення безпеки;
- з) можливість перекачувати газові пробки;
- і) раціональне використання попутного газу та пластової води;
- к) рентабельна експлуатація віддалених та застарілих, виснажених родовищ, експлуатація яких не вигідна при використанні традиційної технології видобутку.

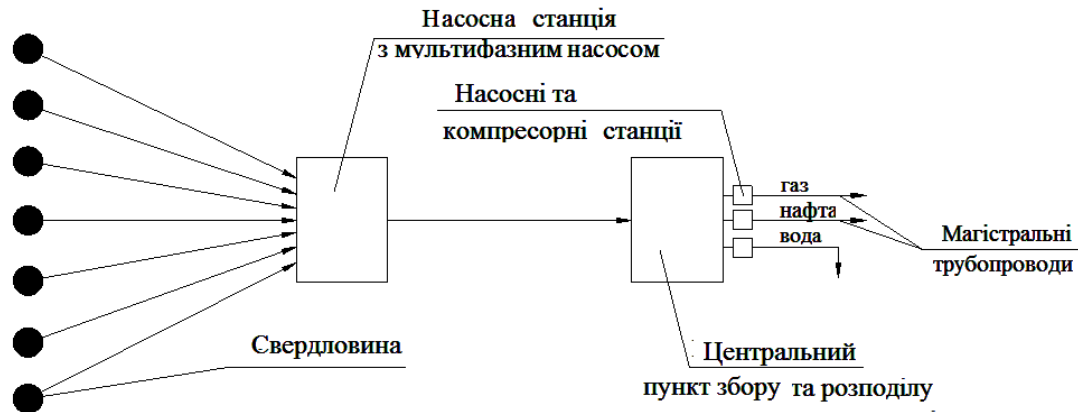


Рис. 3. Однотрубна (мультифазна) технологія видобутку нафти

Як свідчить світова практика, однотрубна (мультифазну) технологія видобутку нафти є найбільш економічно доцільною у порівнянні з поширеною багатотрубний технологією [3].

Мета та задачі дослідження. Таким чином можна сформулювати актуальну проблему сьогодення – дослідження перспектив впровадження мультифазної технології видобутку нафти та розробку ефективного насосного обладнання для неї. Для її вирішення необхідно:

- оцінити перспективи використання існуючого насосного обладнання для даної технології;
- на основі європейського досвіду запропонувати конструкцію насоса для мультифазної технології видобутку нафти, який може бути вироблений вітчизняною промисловістю.

Методологія дослідження. Застосовуються загальнонаукові методи – статистичний аналіз, гіпотетико-дедуктивний, індукції, аналогії, наукова інтерпретація [4].

Викладення основного матеріалу. Насоси для мультифазної технології видобутку нафти. Широкому впровадженню однотрубної технології поки що заважає відсутність добре відпрацьованих і високоефективних насосів, які могли б при помірній ціні і достатній ресурсі роботи перекачувати багатофазну суміш при постійній зміні концентрації фаз (особливо газу - в окремих випадках від 0% до 100%), щільності суміші рсм, тиску на вході в насос і режимів роботи з масового або в об'ємній витраті Q .

На теперішній час для мультифазної технології використовуються три типи насосів (рис. 4):

- гвинтові;
- роторно-вихрові;
- геліко-осьові.

У галузі нафтовидобування широко використовуються гвинтові насоси (як правило, двогвинтові, без твердого контакту між поверхнями гвинтів) [5]. Головною особливістю цих насосів є об'ємний принцип робочого процесу із притаманними йому перевагами і недоліками, жорсткою напірною характеристикою, методами регулювання і підвищеною чутливістю до наявності твердих абразивних включень, а також підвищеною вартістю виготовлення і ремонту.

Параметри гвинтових насосів, що використовуються у галузі нафтовидобутку наведені у таблиці 1.



Рис. 4. Насоси для (мультифазної) технології видобутку нафти

Таблиця 1

Подача	16 -320 м ³ /год.	Тиск на вході	2,5 МПа
Напір	до 100 м	ККД	50 – 60 %
Частота обертання	500 – 1500 об./хв.	Вміст газу	до 90 %
Потужність	37 – 400 кВт	Середній ресурс	10 000 год.

Роторно-вихрові насоси, згідно з окремими свідченнями [6], також здатні перекачувати мультифазну суміш. Але досвід їх експлуатації в умовах однотрубною технології видобування нафти поки що недостатній і публікації досить обмежені. Принципово їх можна розглядати як проміжні насоси, що стоять між насосами об'ємного і лопатевого типу. Вони мають досить привабливі робочі характеристики, що створюють можливості для вирішення кардинальних проблем у галузі нафтовидобутку.

Конструкція РВН представляє собою тороїдальну робочу камеру, яка створена суцільнолитими ротором і статором, що виконані із зносостійкого матеріалу з плоско паралельними поверхнями контакту. Однією із головних властивостей роторно-вихрового насосу є його висока напірність. Головним недоліком роторно-вихрових насосів є їх не досить високий ККД (40-44%), хоча він і вищий, ніж у лопатевих насосів з такою ж низькою швидкохідністю.

Параметри гвинтових насосів, що використовуються у галузі нафтовидобутку наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Подача	5-100 м ³ /год.	Тиск на вході	2,5 МПа
Напір	до 4500 м	ККД	40 – 44 %
Частота обертання	2910 об./хв.	Вміст газу	до 60 %
Потужність	55 – 950 кВт	Середній ресурс	20 000 год.

Геліко-осьові насоси випускаються німецькою фірмою Sulzer Pumps [7]. В цих насосах кожна ступень складається з гвинтово-осьового робочого колеса і нерухомого направляючого апарату (рис. 5). Профіль відкритого робочого колеса спроектований так, щоб запобігти розділенню мультифазної суміші під час процесу стиснення. Проточна частина також спроектована так, щоб запобігти накопичення твердих включень в корпусі насоса.

Насос представляє собою горизонтальний (інколи вертикальний) багато секційний насос, в якому кожна ступінь (або компресійна камера – за термінологією авторів) складається із гвинтового осевого колеса, що обертається, і нерухомого направляючого апарату. При цьому невідомо, гвинтове осеве колесо є шнекового типу ($\beta_1 = \beta_2$) чи профільованого лопатевого типу ($\beta_1 < \beta_2$). Невідомі також і всі інші важливі геометричні співвідношення для таких робочих органів

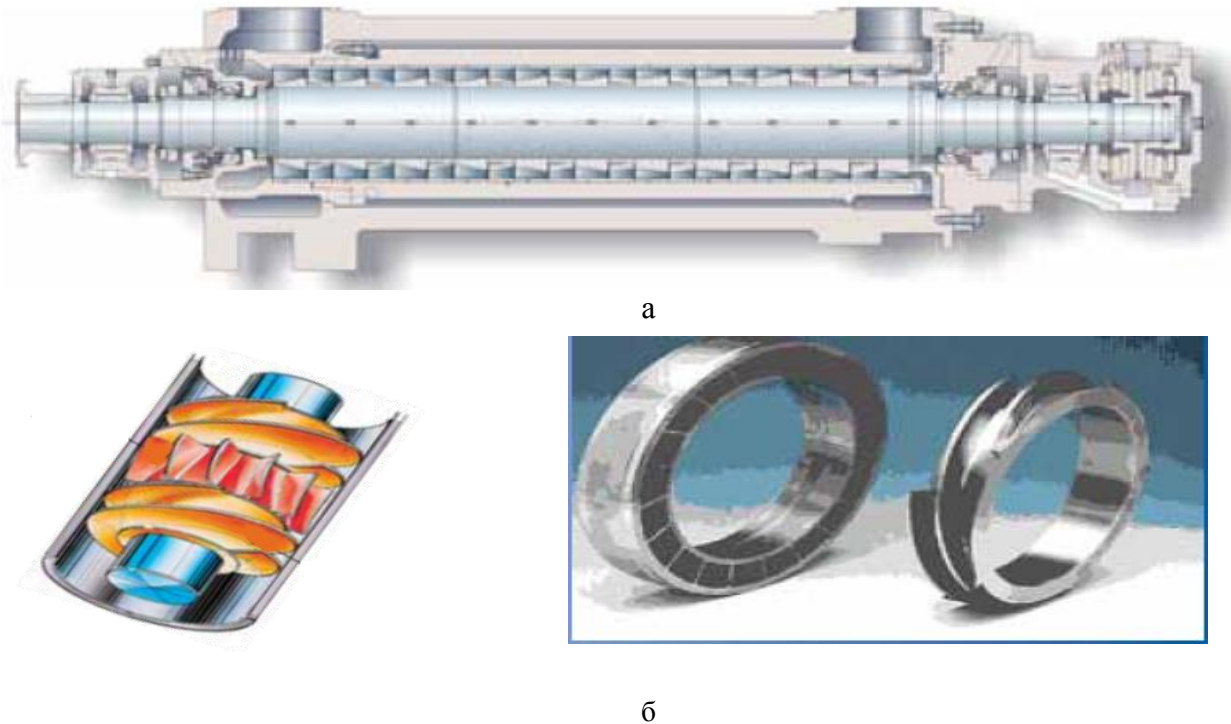


Рис. 5. Геліко-осьовий насос типу MPP фірми Sulzer Pumps (а) та його ступінь (б)

Практика зарубіжної експлуатації таких насосів переконливо показала їх наступні переваги:

- здатність працювати при будь-якій величині газової фракції від 0 до 100 %;
- гідравлічна гнучкість, тобто самоадаптація до змін течії;
- механічна простота і надійність (один вал, ротодинамічний принцип);
- компактність;
- значно менша чутливість до твердих часточок (осеве колесо відкритого типу, відсутність невеликих зазорів).

У таблиці 3 наведено параметри гвинтових насосів, що використовуються у галузі нафтовидобутку. Порівнюючи їх та дані таблиць параметрів попередніх насосів, можна зробити висновок, що по всім параметрам геліко-осьовий насос виграє у двогвинтового та роторно-вихрового насосів. Тому розробка та використання насосів такого типу для організації мультифазної технології видобутку нафти в Україні і для виходу на закордонний ринок, є задачею актуальною і економічно доцільною.

Таблиця 3

Подача	146-6600 м3/год.	Тиск на вході	12,6 МПа
Напір	до 2000 м	ККД	70 – 90 %
Частота обертання	До 9000 об./хв.	Вміст газу	до 100 %
Потужність	400 – 6000 кВт	Середній ресурс	28 000 год.

Виходячи з актуальності використання мультифазної технології видобутку нафти на кафедрі Прикладної гідроаеромеханіки СумДУ почалися розробки насосу геліко-осьового типу.

Виходячи з обмеженої інформації відносно особливостей конструкції в першу чергу проточної частини геліко-осьових насосів, що вже випускаються у світі, при розробці насосу у СумДУ були використані загальні підходи до розрахунків робочого процесу лопатевої гідромашини [8,9], а також деякі рекомендації по проектуванню осерадіальних насосів [10], осевихрового [11] та шнеко-відцентрового ступенів [12,13].

Крім того, було прийнято рішення максимально використати як готові і відпрацьовані вузли кінцевих ущільнень, підшипникових вузлів і розвантаження осьових сил вітчизняного насосу ЦНС 630-1700. З метою підвищення ККД ступені і її напірності робоче колесо проектувалось не як шнекове, а з профільованими лопатями з $(\beta_1 \langle \beta_2)$, що передбачає виготовлення робочого колеса із ливарної заготовки, що при зазначених розмірах колеса можна вважати прийнятним.

В цілому ж насос, спроектований при таких підходах, слід розглядати як один із можливих варіантів, найбільш наближених до вітчизняних промислових можливостей. Були прийняті наступні розрахункові параметри насоса: $Q=600$ м³/год., $H=300$ м, $n=3000$ об./хв. Оцінка ККД насоса дозволила прийняти $\eta = 0,92$. Зазначемо, що ця величина знаходиться на рівні ККД насосів фірми Sulzer Pumps (за доступною інформацією, їх ККД дорівнює 85-93%).

На думку автора, необхідно зосередити увагу на принципах вибору приводного двигуна, а саме перспективах застосування газопоршневих двигунів. Згідно досвіду виробництва і експлуатації насосних агрегатів відомо, що для більшості насосів найпростішим, доцільним та економічно актуальним варіантом приводу є електродвигуни. Але для віддалених промислів необхідна особиста електростанція, так як потрібна для насосного агрегату потужність не може бути реалізована шляхом складання потужностей окремих джерел, а повинна бути забезпечена одним джерелом з необхідним енергетичним запасом. А це ускладнює і удорожчує вартість облаштування і експлуатації промислу.

Тому для вирішення даної проблеми доцільніше замінити електричний двигун на газопоршневий, для якого в якості пального використовується попутний газ, що в даному випадку є більш економічним, ефективним, сприятливим для навколишнього середовища і універсальним в використанні палива, ніж використання електроприводу.

В останній час все більш очевидні переваги і перспективи застосування газопоршневих двигунів. Актуальність цього напрямку обумовлена лібералізацією енергетичного ринку, високими витратами на підключення електродвигунів і кризою в експлуатації систем централізованого енергопостачання. В цих умовах реальним шляхом підвищення ефективності виробництва являється розвиток локальних автономних децентралізованих джерел виробництва на базі газопоршневих двигунів, незаперечними перевагами якого являються:

- використання попутного газу, який не потрібно ні сжижувати, ні висушувати, в якості палива

- високий ККД в діапазоні потужності до 3 МВт;
- пристосованість до роботи на частковому навантаженні;
- менш піддані впливу високої температури навколишнього середовища;
- повна незалежність від регіональних енергоносіїв, а отже, і від росту тарифів;
- надійність;
- відсутність затрат на побудову підвідних і розподільних систем.

- Порівняємо газопоршневий двигун з електричним. Як уже було зазначено вище, на сьогоднішній день електродвигуни являються найпоширенішими видами приводів насосів. До переваг електродвигунів відносяться:

- простота конструкції;
- малі габаритні розміри.
- До недоліків відносяться:
- необхідність побудови підвідних кабельних ліній електропостачання або побудови місцевої електростанції, якщо побудова підвідних кабельних ліній є недоцільною;

- висока вартість електроенергії;
- висока напруга;
- дорога система регулювання через частотний перетворювач;
- при великих потужностях (більше 300-400 кВт) проблемі з частотним перетворювачем;
- складності при експлуатації станції від декількох автономних джерел електропостачання, що не дозволяє використовувати приводи великих потужностей.

Таким чином:

вартість капітальних вкладень в газопоршневий двигун менша (з урахуванням побудови підвідних кабельних ліній електропостачання або місцевої електростанції);
вартість експлуатації на попутному газі на порядок дешевше, ніж на електриці;
експлуатація електродвигуна великої потужності робиться майже неможливою.
На рисунку 6 зображено схему проточної частини ступеню геліко-осьового насоса.

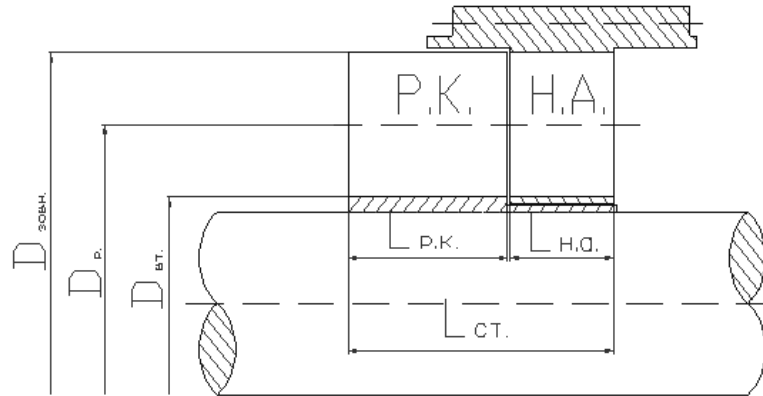


Рис. 6. Схема проточної частини

На рисунку 7 наведено конструкцію п'ятиступеневого геліко-осьового насоса, розробленого на кафедрі Прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету.

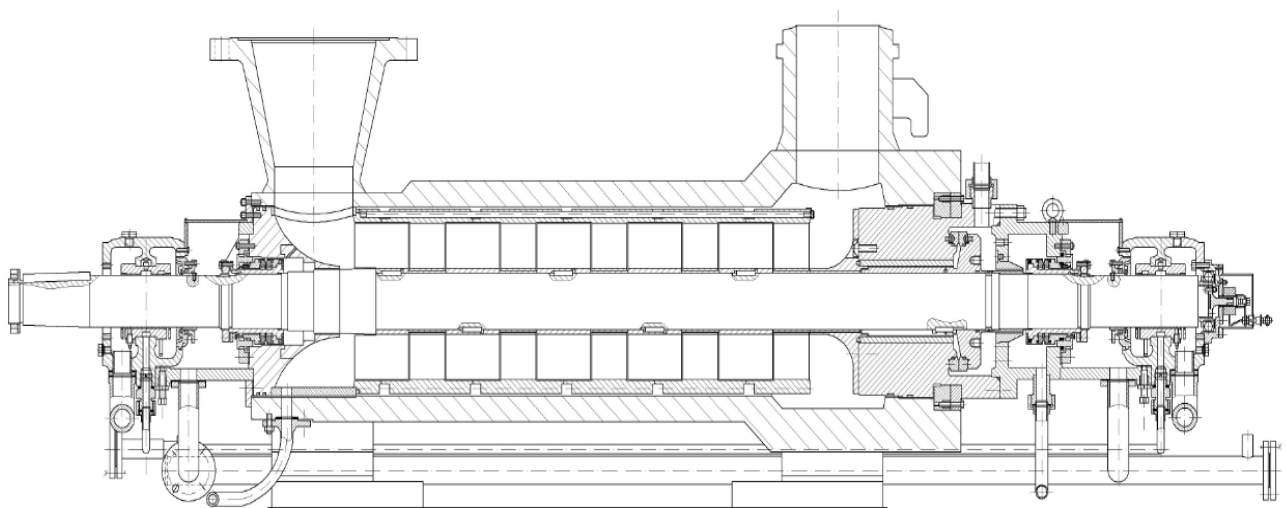


Рис. 7. Геліко-осьовий насос, розроблений на кафедрі ПГМ СумДУ

Виконане економічне обґрунтування щодо можливості випуску геліко-осьового насоса представленої конструкції дозволило визначати його орієнтовну ціну – 2 млн. 153 тис. гривень.

Висновки. На основі виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Мультифазна технологія видобутку нафти, без сумніву, на сьогоднішній день являється найефективнішою і прогресивною, що підтверджується обширним закордонним досвідом.

2. В державах ЄС розроблений цілий ряд насосів для даної технології (двогвинтових та роторно-вихрових). Однак ці насоси мають ряд недоліків, що не дозволяє ефективно експлуатувати їх.

3. Нові геліко-осьові насоси позбавлені недоліків двогвинтових та роторно-вихрових насосів та мають ряд переваг, що дозволяє ефективно використовувати їх для організації однотрубною технології. Тому розробка даного насоса може дозволити вивести Україну на світовий ринок мультифазного обладнання для організації однотрубною технології видобутку нафти. Використання газопоршневого приводу дозволить зробити насосний агрегат більш ефективним у експлуатації, ніж використання електродвигуна.

Список використаних джерел:

1. Химия нефти и газа: учеб. пос. / Под ред.: В.А. Проскурякова, А.Е. Драбкина. – Л. : Химия, 1981. – 360 с.
2. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа учеб. пос. / Под ред. Б.И. Бондаренко. – М. : Химия, 1983. – 128 с.
3. Esorintp.ru'2009: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – М: Изво РАПН, 2009 – 458 с.
4. Лебедев, С.А. Методология научного познания: монография / С.А. Лебедев. – М.: Проспект. – 2017. – 256 с.
5. Башта, Т. М. Объёмные насосы и гидравлические двигатели гидросистем : учебник / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 1974. – 606 с.
6. СИНТ'09: материалы V международной конференции. – Воронеж: Научная книга, 2009. – 356 с.
7. <https://www.sulzer.com/>
8. Ломакин, А. А. Центробежные и осевые насосы / А. А. Ломакин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.-Л. : Машиностроение, 1966. – 364 с.
9. Старицкий В.Г. Выбор основных параметров осевого насоса. – Гидромашины. – М. – Л.: Машиностроение, 1964. – 434 с.
10. Валухов С.Г., Демьяненко Ю.В., Петров В.И. Высокооборотные лопастные оседиагональные насосы: Теория, расчёт характеристик, проектирование и изготовление. – Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 1996. – 264 с.
11. Анкудинов А.А. Учебное пособие. Расчёт и проектирование предвключённой осевихревой ступени центробежного насоса. – М.: Изд-во МГТУ им. М.Э. Баумана, 2003. – 64 с.
12. Руднев С.С., Байбаков О.В. и др. Методическое пособие по расчёту шнеко-центробежной ступени насоса. – М.: Изд-во МВТУ им. М.Э. Баумана, 1974. – 64 с.
13. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Шнеко-центробежная ступень насоса» для студентов специальности 12.11 дневной и заочной форм обучения / Сост. Ржебаева Н.К., Жуков В.М., Куценко В.А. – Кафедра гидравлических машин Сумского филиала, Харьков, ХПИ, 1990.

Рецензенти:

Ковальов І.О., к.т.н, професор, завідувач кафедри Прикладної гідроаеромеханіки СумДУ
Лугова С.О., к.т.н., завідувач віддуду проточних частин ПАТ «ВНДІАЕН», Суми.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 669.01:621.762:621.89:621.9.048

Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»***ЕФЕКТИВНІ КОМПОЗИЦІЙНІ АНТИФРИКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ШЛІФУВАЛЬНИХ ВІДХОДІВ СТАЛІ ШХ15СГ ДЛЯ СЕРЕДНЬОВАЖКИХ УМОВ РОБОТИ**

У статті наведено результати досліджень впливу розробленої технології виготовлення на властивості нових антифрикційних композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів сталі ШХ15СГ з твердим мастилом CaF_2 для середньоважких умов роботи. Показано вплив структури на властивості досліджених матеріалів. Порівняльний аналіз показав переваги розробленого матеріалу на основі шліфувальних відходів порівняно з відомим порошковим матеріалом. Обґрунтовано ефективність розробленої технології одержання композиційних антифрикційних матеріалів з використанням утилізованих шліфувальних відходів.

Ключові слова: шліфувальні відходи, сталь ШХ15СГ, технологія виготовлення, антифрикційний композиційний матеріал, структура, властивості.

Т.А. Роик, Ю.Ю. Вицюк**ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОТХОДОВ СТАЛИ ШХ15СГ ДЛЯ СРЕДНЕТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ**

В статье приведены результаты исследований влияния разработанной технологии изготовления на свойства новых антифрикционных композиционных материалов на основе шлифовальных отходов стали ШХ15СГ с твердой смазкой CaF_2 для среднетяжелых условий работы. Показано влияние структуры на свойства исследованных материалов. Сравнительный анализ показал преимущества разработанного материала на основе шлифовальных отходов по сравнению с известным порошковым материалом. Обоснована эффективность разработанной технологии получения композиционных антифрикционных материалов с использованием утилизированных шлифовальных отходов.

Ключевые слова: шлифовальные отходы, сталь ШХ15СГ, технология изготовления, антифрикционный композиционный материал, структура, свойства.

T.A. Roik, Yu.Yu. Vitsiuk**EFFECTIVE COMPOSITE ANTIFRICTION MATERIALS BASED ON STEEL ShKh15SG GRINDING WASTE FOR MEDIUM-HEAVY OPERATING CONDITIONS**

The article presents the research results of influence the developed manufacturing technology on the properties of new antifriction composite materials based on steel ShKh15SG grinding waste with solid lubricant CaF_2 for medium-heavy operating conditions. The technological modes for the recycled grinding waste have been developed. The operations of making composites included the preparation of charge, pressing and sintering. As a result of sintering, a heterogeneous material structure was formed. The composite's structure is a metal matrix with solid lubricant inclusions. Effect of the structure on the studied materials properties was shown. Comparative analysis showed the advantages of the developed material based on grinding waste compared with the known powder material. The efficiency of the developed technology was substantiated for obtaining composite antifriction materials using recycled grinding waste.

Keywords: grinding waste, ShKh15SG steel, manufacturing technology, antifriction composite material, structure, properties.

Постановка проблеми

Розвиток різних галузей машинобудування вимагає від дослідників, конструкторів, технологів при розробленні та впровадженні у виробництво об'єктів нової техніки твердо дотримуватись поєднання технологічних та технічних аспектів розробок з економічними.

Такий підхід у повному обсязі відноситься і до питань матеріалознавства в машинобудуванні, насамперед, до спечених матеріалів для вузлів тертя, насамперед, антифрикційного призначення.

Висока вартість сировини при створенні композиційних антифрикційних матеріалів, дороге обладнання для виготовлення вихідних порошків створюють складний бар'єр для широкого впровадження у виробництво порошкових матеріалів і деталей з них, навіть якщо нові розроблені матеріали мають високі фізичні та експлуатаційні властивості. Потрібен пошук дешевих, доступних, економічно вигідних видів сировини.

В останні роки дослідники [1–4] звернули увагу та поглибили дослідження у напрямку використання дешевої сировини для створення композиційних підшипникових матеріалів для різних умов роботи.

Такою дешевою, доступною та у необмежених кількостях сировиною є шліфувальні відходи кольорових та чорних металів і сплавів машинобудівного та приладобудівного виробництва. Ці відходи з'являються на операціях шліфування штампів, ріжучого інструменту, кулькопідшипників, поршнів двигунів тощо, які безповоротно вивозяться у відвали і не використовуються у подальшому циклі виробництва в наслідок їх забрудненості абразивною крихтою, компонентами змащувально-охолоджуючої рідини тощо. Масштаби таких шліфувальних відходів у рамках заводів України важко піддаються оцінці.

Шліфувальні відходи чорних металів, зокрема, сталей містять в собі цілий ряд цінних легуючих елементів, таких як Cr, Ni, Si, Co, Mo, W, Ti та ін., що робить їх перспективною вихідною сировиною як основи для подальшого виготовлення якісних високолегованих композиційних антифрикційних деталей.

Окрім цього, за умови утилізації цінної сировини у великих кількостях та застосування її у повторному циклі виробництва, одночасно частково вирішуються завдання захисту довкілля від забруднень.

На жаль, слід зазначити, що в даний час відсутні відомості про широкі дослідження щодо створення композиційних антифрикційних матеріалів на основі шліфувальних відходів сталей різних класів.

Ряд започаткованих досліджень, спрямованих на розробку технологічних підходів до використання шліфувальних відходів деяких марок сталей для отримання ефективних конструкційних деталей, показали позитивні результати [1–4]. Це надало змогу започаткувати розробку технологічних заходів з регенерації та подальшого використання окремих типів шламових металевих відходів для виготовлення нових типів підшипників підвищеної зносостійкості [3, 4].

Проте ще й досі відсутні обґрунтовані технологічні заходи, які спрямовані на використання широкої номенклатури шламових відходів легованих сталей для виготовлення нового класу антифрикційних деталей, що не дозволяє одержувати такі деталі зі стабільно високими експлуатаційними властивостями.

Тому розробка технологічних заходів одержання нових ефективних антифрикційних матеріалів на основі шліфувальних відходів легованих сталей, розширення номенклатури використання вторинної металевої сировини, зокрема, сталі ШХ15СГ для середньоважких умов роботи, є актуальною науково-практичною задачею, розв'язання якої дозволить не тільки одержувати нові деталі з якісно іншим, високим рівнем властивостей, але і стане підґрунтям для реалізації нових ресурсо- та енергозберігаючих технологій та вирішення завдань пошуку дешевих видів сировини.

Аналіз попередніх досліджень

В останні роки науковцями було започатковано науково-практичні роботи зі створення композиційних антифрикційних матеріалів з порошків вторинної сировини, а саме, з регенованих шліфувальних відходів. Такою сировиною для виготовлення матеріалів стали порошки-відходи сталей ШХ15, Р6М5 і деяких інших. Матеріали на основі порошків-відходів цих сталей з домішками твердого мастила CaF_2 виявились здатними працювати при підвищених температурах, а також витримувати підвищені навантаження в окислювальному середовищі - повітрі [3, 4].

Іншими дослідниками було розроблено технології перероблення вторинної сировини, а саме, методів переплаву відходів деяких інструментальних сталей у вигляді стружки, для повторного виготовлення ріжучих інструментів і отримано позитивні результати [5]. Також напрацювання вчених [1, 2] за останні роки засвідчили доцільність використання шліфувальних відходів деяких марок сталей і сплавів для виготовлення з них якісних конструкційних деталей.

Втім досліджень із застосування шліфувальних відходів широкої номенклатури сталей і сплавів як основи композиційних антифрикційних матеріалів для різних умов експлуатації, було проведено у обмеженій кількості, про що свідчать лише окремі публікації з означеної проблематики [1–4, 6].

Використання промислових шліфувальних відходів для виготовлення конструкційних деталей різного призначення є привабливим з багатьох причин. По-перше, це найдешевша сировина; по-друге, сировина надзвичайно цінна з точки зору наявності легуючих елементів, що містяться у порошках-відходах, і, нарешті, по-третє, доступність сировини у великих кількостях.

З іншого боку велика різноманітність протирічних теорій у області тертя і зносу, відсутність кореляцій між тими чи іншими властивостями, фазовим складом, структурою, характером кристалічної ґратки тощо і триботехнічними властивостями матеріалів, обмеженість відомостей про фазову побудову та відсутність даних про кількісне співвідношення утворених складових у робочій плівці тертя [6], особливо у присутності антизадирних присадок, все це значно ускладнює питання створення антифрикційних матеріалів для різних режимів експлуатації і водночас робить напрямок досліджень затребуваним і актуальним.

Наведені аргументи стали підґрунтям для проведення комплексу досліджень, що спрямовані на створення нових антифрикційних матеріалів на основі шліфувальних відходів сталі ШХ15СГ для роботи в умовах самозмащення при середньоважких режимах експлуатації, а саме, при температурах до 250–350°C (або швидкостях обертання до 600 об./хв.) на повітрі при підвищених навантаженнях (5–8 МПа). Вирішення поставленої задачі відкриє шляхи розширення технологічних можливостей використання широкої гами вторинної сировини на основі науково-обґрунтованого матеріалознавчого підходу для одержання можливості прогнозування та керування службовими характеристиками нового класу матеріалів при одночасній реалізації завдань пошуку нових видів сировини, створення ресурсощадних технологій і проблеми захисту довкілля від забруднень.

Мета роботи. Метою роботи є встановлення закономірностей впливу технологічних режимів синтезу на структуру і властивості антифрикційних композиційних матеріалів на основі шліфувальних відходів кулькопідшипникової сталі ШХ15СГ з додаванням твердого мастила CaF_2 для середньоважких режимів експлуатації.

Експериментальна частина з повним обґрунтуванням отриманих результатів

Більшість конструкційних та інструментальних сталей призначено для роботи в умовах тертя та зносу. Тому їх зносостійкі властивості є одним з важливих параметрів, що враховувались при виборі основи матеріалів для середньоважких умов роботи.

Сталь ШХ15СГ - спеціальна сталь, що призначена для роботи в умовах, потребуючих високу зносостійкість матеріалу, яка забезпечується, перш за все, присутністю наступних легуючих елементів, мас. %: С – 0,95-1,05; Mn – 0,9-1,2; Cr – 1,3-1,65; Si – 0,4-0,65; Ni - \leq 0,3.

Заевтектоїдна кількість вуглецю та хром забезпечують утворення значної кількості карбідів високої твердості та зносостійкості. Кремній також сприяє підвищенню зносостійкості сталі, а марганець, хоча і не впливає на зносостійкість у кількостях 1–2%, але разом з Si збільшує твердість та міцність фериту [7].

У умовах роботи пари тертя, коли між інших навантажуючих факторів присутній вплив підвищених температур і жодне рідке мастило стає непрацездатним, особливо важливо захистити поверхні тертя від посиленого зносу та схоплення. Для цього використовують речовини твердого мастила.

Досвід робіт і аналіз літературних джерел з даної проблематики [1, 6–8] впевнено показали перспективність використання у ролі твердого мастила для вказаних умов роботи, особливо для підвищених температур або швидкостей обертання, фториду кальцію (CaF_2), який було застосовано при проведенні експериментів.

Порошки-відходи конструкційної сталі ШХ15СГ утворюються на різних операціях обробки литих заготовок підшипників, шліфуванні сепараторів тощо. Ці відходи забруднені абразивною крихтою та компонентами змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР), що перешкоджає їх подальшому використанню і є причиною вивозу великої кількості потенціальної сировини у відвали.

Для очищення порошоків сталей від абразиву застосовували метод [1] магнітної сепарації з використанням магнітного сепаратора, що дозволяє здійснювати очищення відходів з продуктивністю 10 кг за годину. Залишок абразивної крихти після очищення складає 1–2%.

Щодо компонентів ЗОР, куди входять мінеральні оливи, солі натрію тощо, то їх видаляють промиванням у тетрахлоретилені. Ця операція не є обов'язковою, оскільки майбутні матеріали - антифрикційні, а солі натрію, хлору, фтору, як показали досліди [6] сприяють антизадирності та зносостійкості.

Для зниження кількості кисню здійснювали операцію відновлювального відпалу порошоків-відходів сталей у середовищі водню при температурах 850–1000°C протягом 1,5–2 год.

Після цих підготовчих операцій проводили просіювання сталевих порошоків через сито №0160. Порошки CaF_2 висушували від вологи при температурі 120°C протягом 1 год. та просіювали через сито №0125.

Головними вимогами, що пред'являються до технології виготовлення матеріалів для вузлів тертя, є можлива простота технологічного процесу, його доступність, використання недефіцитної вихідної сировини, допоміжних матеріалів та обладнання, тому ці вимоги було враховано при розробці технологічних процесів виготовлення нових антифрикційних порошкових матеріалів.

Змішування компонентів шихти, а саме композицій з порошоків-відходів сталей з домішками CaF_2 , здійснювали у банковому змішувачі з йоржами з нікелю. Кількість CaF_2 було обрано у межах 4–8 мас. %, оскільки відомо [1, 6], що оптимальний вміст CaF_2 у композиційних металевих антифрикційних матеріалах становить 10–20 об. %, що відповідає 4–8 мас. %.

Пресування здійснювали на гідравлічному пресі ПСУ–125 при навантаженнях 700–900 МПа без змазування внутрішньої поверхні матриці та пуансонів.

Процес спікання зразків здійснювали у муфельній печі у середовищі висушеного водню (точка роси = -40°C) при температурах 1100 – 1150°C , 2 год.

Після спікання матеріалів системи шліф-відходи сталі ШХ15СГ – CaF_2 структура матеріалу складається з металевої матриці, у котрій залягають частинки твердого мастила CaF_2 .

У свою чергу металева матриця матеріалу має структуру зернистого перліту, а карбідна фаза представлена у вигляді цементитних включень. Причому, на відміну від звичайного цементиту Fe_3C , що утворюється у вуглецевих сталях, карбідна фаза у матриці матеріалу на основі ШХ15СГ представляє собою легований цементит типу $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$.

Мікродифракційний аналіз виявив структуру $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$ як викривлений цементит з орторомбічною ґраткою, що має періоди $a=0,451$ нм; $b=0,508$ нм; $c=0,6072$ нм.

Вивчення тонкої структури матеріалу на основі відходів сталі ШХ15СГ за допомогою реплік показало, що після спікання матеріалу при температурах 1100 – 1150°C карбід сфероїдувався, що видно з рис. 1.

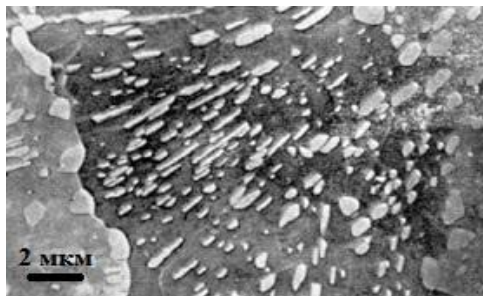


Рис. 1. Сфероїзовані частинки карбідів типу $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$



Рис. 2. Карбіди типу Fe_3C у приповерхневому шарі матеріалу ШХ15СГ + 5% CaF_2 після трибовипробувань, тонка фольга

Електронномікроскопічне зображення (рис. 1) показує присутність скупчень дрібних та щільних карбідів, причому, деякі з них подовжені у певному напрямку.

Відомо [7], що кулькопідшипникова конструкційна заевтектійна сталь ШХ15СГ, що містить легуючі елементи Cr, Mn, Si, входить до особливої групи конструкційних сталей, які відрізняються високою міцністю та зносостійкістю. Для цього сталі (литі) піддають зміцнюючій термічній обробці, що включає в себе загартування з температур 800 – 880°C та низький відпуск при 150 – 160°C . При цьому досягається висока твердість HRC_e 62–65, а структура являє собою приховано кристалічний мартенсит з рівномірно розподіленими дрібними надлишковими карбідами [7].

Тобто аналізуючи рис. 1, по формі сфероїзованих карбідів та їх розташуванню у матриці можна прослідкувати попередню, а для нашого випадку вихідну структуру порошків-відходів сталі ШХ15СГ.

Розташування карбідів та їх подовженість у деяких місцях свідчать, що виділення та сфероїдизація карбідів відбувається за рисунком біографічної структури мартенситу відпуску, який початково складав структуру порошоків-відходів сталі ШХ15СГ.

Цікавою виявилась поведінка зміцнюючих фаз матеріалу після прикладання навантаження у процесі триботехнічних випробувань, що видно з рис. 2. Після випробувань на тертя та знос при

підвищених навантажень поверхневий шар було видалено електрополіруванням, а з цієї поверхні претаровано тонку фольгу.

На рис. 2 зображено виділення дрібних частинок карбідів типу Fe_3C . Від цих частинок під час деформації відбувалось зародження дислокацій. Мікрофотографія показує декілька петель дислокацій, що виходять з карбідів. На тих карбідах, що виділились на існуючих дислокаціях, під час деформації, у свою чергу, відбувалось утворення нових дислокацій.

Поява дислокацій, що чинять опір пластичній плинності і тим самим зміцнюють матеріал, сприяє підвищенню зносостійкості підшипникового матеріалу, забезпечуючи тривалий термін його роботи, особливо при підвищених температурах (або підвищених швидкостях обертання).

Крім цього, позитивним також є наступний структурний фактор - відсутність у порошковому матеріалі ШХ15СГ + 5% CaF_2 карбідної ліквациї (смугастості), яка характерна для литої сталі ШХ15СГ, внаслідок вже початкової, вихідної роздрібненості порошків відходів сталі ШХ15СГ, які по суті є мікрорівностями.

Легуючі елементи Si, Mn та Cr, що входять до складу матеріалу, здійснюють позитивний вплив на властивості металевої матриці і всього порошкового композиту з CaF_2 у цілому, що видно з табл. 1. Триботехнічні властивості визначали на повітрі при швидкості ковзання 1 м/с при різних навантаженнях (2–8 МПа) та температурах до 400°C у парі з контргілом із сталі Р18 з твердістю 50–52 HRC_e. Випробування проводились на високотемпературній машині тертя ВМТ–1 за схемою торцевого тертя ковзання.

Таблиця 1.

Властивості матеріалів на основі відходів сталі ШХ15СГ+ CaF_2

Склад, мас. %	Твердість, НВ, МПа	Ударна в'язкість, Дж/м ²	Міцність при згині, МПа	Гранич. наванта- ження, МПа	Інтенсивність зношування, мкм/км, при t, °С			Коефіцієнт тертя, при t, °С		
					200	300	400	200	300	400
ШХ15СГ+(4–7)CaF ₂	660– 720	540–600	420–460	8,0	28– 31	27– 29	43– 46	0,14– 0,16	0,12– 0,14	0,14– 0,17
ЖГр3М15 [2, 6]	700	80–94	290–410	3,0	84	212	470	0,22	0,26	0,29

Дані табл. 1 показують, що використання шліфувальних відходів сталі ШХ15СГ як основи досліджуваного матеріалу в порівнянні з відомим [2, 6], що застосовується за аналогічних умов, забезпечує надання матеріалу більш високих фізико-механічних властивостей. Це відбувається внаслідок позитивної дії додатково присутніх у твердому розчині легуючих елементів кремнію та марганцю. Кремній збільшує міцність фериту, сприяючи зростанню твердості, та значно підвищує жаростійкість матеріалу внаслідок зростання опору інтенсивному окисленню у атмосфері повітря при підвищених температурах, що позитивно впливає на значення коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування при зовнішньому нагріві пари тертя [7].

Після охолодження від температур спікання, що відповідають температурам гомогенізуючого відпалу, при яких забезпечується більш повне розчинення карбідів і зменшення карбідної смугастості на мікрорівні, кремній, утруднюючи самодифузію, сприяє збереженню дрібного зерна, тим самим підвищуючи фізико-механічні характеристики.

Марганець зміцнює ферит та підвищує стабільність карбідів типу Me_3C внаслідок його розчинення (як і хрому) в цементиті. Марганець заміщає залізо необмежено – від $(Fe, Mn)_3C$ до Mn_3C , а також полегшує розчинення та коагуляцію карбіду [7]. Це призводить до зростання міцності та в'язкості матеріалу (табл. 1).

Крім зростання фізико-механічних властивостей, присутність легуючих елементів кремнію та марганцю, як видно з табл. 1, спричинює значне зниження коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування при температурі 400°C на повітрі та підвищує гранично-допустимі навантаження у порівнянні з відомим антифрикційним матеріалом [2, 6].

Вплив легуючих елементів на характеристики матеріалів пов'язаний зі способом їх введення у матеріал. Так, хром проявляє себе по-різному залежно від способу введення: при додаванні у вигляді чистого порошку при виготовленні спечених композитів Cr призводить до формування надто гетерогенної грубої структури, що обумовлено уповільнюванням процесів розчинення хрому у залізній основі внаслідок його високої здатності до окислення та карбідоутворення. Подібна поведінка марганцю. Проте, одержання матеріалу з легуваних порошків забезпечує

формування більш однорідної структури. За даними [6, 7] механічні властивості хромистих сталей з легованих порошків вище, ніж у сталей, одержаних механічним змішуванням компонентів: пластичність сталей з легованих порошків у 3–4 рази вище, ніж у сталей із суміші порошків, що мають підвищену гетерогенність.

Крім цього чистий порошок Cr (особливо його підвищена кількість) призводить до „росту” зразків у процесі спікання внаслідок окислення через його високу спорідненість до кисню [6, 7].

Ці обставини значно ускладнюють технологію виготовлення матеріалів з порошками хрому - потрібні додаткові заходи для спеціального захисту матеріалів від окислення та карбідизації (йдеться про неможливість використання еногазу при спіканні), застосування додаткових операцій механічної обробки деталей, що піддались збільшенню розмірів тощо.

Висновки

Виходячи з аналізу процесів структуроутворення матеріалу на основі порошків-відходів сталі ШХ15СГ, можна зробити висновок про доцільність обраних технологічних режимів виготовлення, що забезпечують формування металографічної структури, здатної надати матеріалу високих експлуатаційних властивостей.

Одержані результати відкривають можливості керування структурою матеріалів і їх властивостями у потрібному напрямку шляхом вибору вихідних легованих порошків-відходів для створення необхідної матричної основи матеріалів та кількісними варіаціями CaF_2 для конкретних умов експлуатації.

Дослідження показали доцільність та розширення подальших робіт у даному напрямку, що обіцяє значні економічні ефекти. Особливу значимість тематика отримує у зв'язку з недостатчею високолегованих сталей і сплавів, необхідністю підвищення ресурсу роботи вузлів тертя в широкому діапазоні навантажуючих факторів, а також вирішенням завдань захисту довкілля від забруднень.

Література

1. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації: Монографія/ Роїк Т. А., Киричок П. О., Гавриш А. П. - К.: НТУУ „КПІ”, 2007.- 404 с.
2. Киричок П. О. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин: Монографія/ Киричок П. О., Роїк Т. А., Гавриш А. П., Шевчук А. В., Віцюк Ю. Ю.- К.: НТУУ КПІ, 2015.- 428 с.
3. Патент України № 122870, МПК С22С 21/02 (2006.01) Композиційний зносостійкий матеріал / Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк.- Заявка № u 201708942 від 08.09.2017.- опубл. 25.01.2018, Бюл.№ 2. - 4 с.
4. Гавриш А. П. Новые высокотемпературные подшипниковые материалы на основе отходов инструментальных сталей / Гавриш А. П., Роик Т. А. // Механіка та машинобудування. – 2003. - №1. – Т. 2. – С. 193-198.
5. Шпак П.А. Влияние электронно-лучевого переплава на структуру и свойства быстрорежущей стали Р6М5 / Шпак П.А., Гречанюк В.Г., Осокин В.А. // Проблемы специальной металлургии. – 2002. – №3. - С. 14–17.
6. Косторнов А. Г. Триботехническое материаловедение: Монография. — Луганск: «Ноулидж», 2012. — 701 с.
7. Анциферов В. Н. Порошковые легированные стали/ Анциферов В. Н., Акименко Б. Н., Гревнов Л. М. - М.: Металлургия, 1991. – 318 с.
8. Зозуля В. Д. Смазки для спеченных самосмазывающихся подшипников. – К.: Наукова думка, 1976. – 191 с.

Стаття надійшла до редакції 05.03.2018

621.317.333.621.316.13

М.В. Романюк, В.І. Волинець, Д.С. Собчук, І.О. Бандура*Луцький національний технічний університет***ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ
КОНТРОЛІ ОМІЧНОГО ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ ПОЛЮСІВ РМПС ВІДНОСНО ЗЕМЛІ ТА
ОКРЕМИХ ПРИЄДНАНЬ***Проведено дослідження похибки визначення загального омичного опору ізоляції РМПС відносно землі.**Ключові слова: контроль ізоляції, розподільні мережі постійного струму.***М.В. Романюк, В.И. Волинець, Д.С. Собчук, И.О. Бандура****ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНЫЙ
КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ПОЛЮС РСПТ
ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ И ОТДЕЛЬНЫХ ПРИСОЕДИНЕНИЙ***Проведено исследование погрешности определения общего омического сопротивления изоляции РСПТ относительно земли.**Ключевые слова: контроль изоляции, распределительные сети постоянного тока.***M. Romanyuk, V. Volynets, D. Sobchuk, I. Bandura****INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MEASUREMENT METHOD FOR THE
CONTINUOUS CONTROL OF OILS INCORPORATION OF POLYUS ISOLATION IN
DETECTED DISTRIBUTION NETWORKS RELATED TO EARTH AND SPECIFIC
CONNECTIONS***The study of the error of determination of the total ohmic impedance of isolation of DC distributive circuits with respect to the ground is carried out.**Keywords: insulation control, distributive DC networks.*

Постановка проблеми. Двопровідні мережі постійного струму широко використовуються для живлення різних споживачів електричної енергії на електричних станціях і підстанціях, підприємствах гірничорудної, вугільної, хімічної, машинобудівельної, легкої та інших галузей промисловості.

Система електропостачання оперативним струмом на електричних станціях і підстанціях складається із джерел живлення і розподільної мережі (РМПС), від якої живляться споживачі. Оперативний струм може бути постійним, випрямленим і змінним, напругою 24, 36, 110, 220, 380 В. Оперативний постійний струм використовують на всіх електростанціях і на підстанціях 110–750 кВ з кількістю вимикачів більше трьох і на всіх підстанціях з елегазовими і повітряними вимикачами, синхронними компенсаторами і примусовою системою охолодження трансформаторів. Для живлення оперативних мереж постійного струму на електричних станціях і потужних підстанціях у переважній більшості використовують свинцево-кислотні акумулятори з поверхнево додатними і коробчастими від'ємними пластинами типу СК.

Основними споживачами оперативного постійного струму є кола керування, сигналізації, автоматики, аварійного освітлення, а також відповідальні механізми власних потреб, які забезпечують збереження обладнання в працездатному стані (маслонасоси змащення, ущільнення вала, систем регулювання турбогенераторів).

На електричних станціях і підстанціях передбачають контроль ізоляції полюсів відносно землі, який повинен діяти на сигнал при зниженні опору ізоляції одного полюса до 20 кОм при напрузі мережі 220 В. При цьому виконання робіт під напругою не допускається, за виключенням пошуку місця замикання, час існування якого обмежують вісьмома годинами. Якщо за цей час замикання на землю не буде усунуте в мережах оперативного постійного струму електричних станцій і підстанцій 110 кВ і вище, то це вважається відмовою в роботі II-го ступеня. Тому на електричних станціях і підстанціях необхідно здійснювати безперервний контроль технічного стану ізоляції полюсів відносно землі, який дозволяв би виявити пошкодження на ранній стадії його розвитку.

Пристрої, які реагують на струм перехідного процесу при виникненні витікання струму (дотику людини до струмоведучої частини), дозволяють визначити лише максимальне значення струму через місце витікання і не реагують на симетричну зміну опору ізоляції полюсів мережі відносно землі. Отже, для підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності використання

двопровідних мереж постійного струму необхідно вдосконалити методи та засоби контролю ізоляції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За принципом дії всі існуючі пристрої контролю ізоляції можна поділити на чотири групи: 1) методи, що ґрунтуються на контролі несиметрії провідностей ізоляції полюсів відносно землі; 2) методи накладання стороннього джерела живлення на контрольовану мережу; 3) методи, що використовують перехідні процеси; 4) комбіновані методи.

Для контролю ізоляції оперативних мереж постійного струму часто застосовують методи, що ґрунтуються на використанні врівноваженого мосту, важелями якого є опори ізоляції відносно землі [1,2]. Наприклад, на рис. 1. зображена схема [2], яка здійснює сигналізацію зниження рівня ізоляції полюса мережі відносно землі за допомогою двох реле KV1 та KV2. А за допомогою перемикачів SA1, SA2 здійснюють вимірювання струмів, за якими визначають опори ізоляції полюсів за рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{U_0 - (I_1 + I_2)R}{I_2} ; \\ R_2 &= \frac{U_0 - (I_1 + I_2)R}{I_1} ; \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

де $R = R_g + R_p$;

U_0 – напруга на шинах;

I_1, I_2 – струм в міліамперметрі при розриві кола відповідно перемикачем SA1 та SA2;

R_p – опір обмотки реле KV.

Основним недоліком цих схем є низька точність вимірювання. Наприклад, при почерговому вимкненні кіл перемикачами SA1, SA2 через вимірювальний орган ПА будуть протікати струми перехідного процесу:

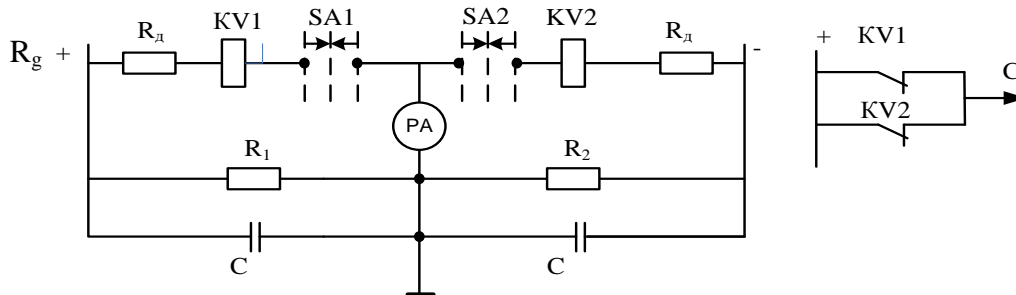


Рис. 1. Схема заміщення контролю ізоляції мережі постійного струму (схема ОРГРЕС)

$$\left. \begin{aligned} i_1(t) &= \frac{U_0}{R_2 + R(1 + 2R_2 / R_1)} \left(1 + \frac{R_2}{R(1 + 2R_2 / R_1)} e^{-t/\tau} \right) ; \\ i_2(t) &= \frac{U_0}{R_1 + R(1 + 2R_1 / R_2)} \left(1 + \frac{R_1}{R(1 + 2R_1 / R_2)} e^{-t/\tau} \right) ; \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

де $\tau = \frac{2CRR_1R_2}{RR_2 + R(R_1 + R_2)}$ – стала часу;

C – ємність полюса мережі відносно землі.

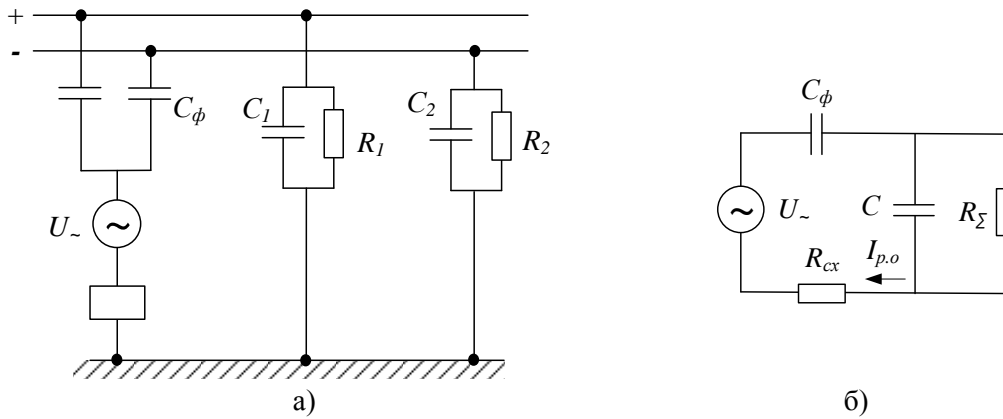


Рис. 2. Схема заміщення мережі а); розрахункова схема визначення струму б)

В цьому випадку для визначення опору ізоляції \$R_1, R_2\$ необхідно знати тільки сталу складову системи рівнянь (1.2), тому відлік струму виконують після закінчення перехідного процесу, час якого невизначений, закінчення його складно фіксувати за відхиленням стрілки приладу в зв'язку з коливанням напруги мережі та навантаження. В сталому режимі граничну відносну похибку, наприклад, визначення \$R_1\$ із рівнянь (1.3) можна записати як:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{R_1} = & \left| \varepsilon_{U_0} (1 + \alpha_1 (1 + \alpha_2)) \right| + \left| -\varepsilon_{I_1} \frac{\alpha_1 \alpha_2 (1 + \alpha_1 + \alpha_1 \alpha_2)}{1 + \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1^2 \alpha_2} \right| + \\ & + \left| -\varepsilon_{I_2} \frac{1 + \alpha_1 + \alpha_1 \alpha_2 (1 + \alpha_1 \alpha_2^2 + \alpha_2)}{1 + \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2 \alpha_1^2} \right| + \left| -\varepsilon_{R_s} \frac{\alpha_1 (1 + 2\alpha_1 \alpha_2 (1 + \alpha_2))}{1 + \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1^2 \alpha_2} \right|, \end{aligned} \quad (1.3)$$

де $\alpha_1 = R / R_1$;

$\alpha_2 = R_1 / R_2$;

ε_{U_0} – гранична відносна похибка, зумовлена коливанням напруги мережі постійного струму;

$\varepsilon_{I_1} = \varepsilon_{I_2} = \varepsilon_I$ – гранична відносна похибка вимірювання струму;

ε_{R_s} – заводська гранична відносна похибка опору \$R_d\$.

Гранична відносна похибка ε_{R_1} при визначенні \$R_1\$ за ustalеним значенням струму $i_2(t)$ із системи (1.3):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{R_1} = & \left| \varepsilon_{U_0} \frac{1 + \alpha_1 (1 + \alpha_2)}{1 + \alpha_1 \alpha_2} \right| + \left| -\varepsilon_{I_2} (1 + \alpha_1 \alpha_2) (1 + \alpha_1 (1 + \alpha_2)) \right| + \\ & + \left| \varepsilon_R \frac{1 + \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_2 (1 + \alpha_2)}{(1 + \alpha_1 \alpha_2)^2} \right|. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Для реальних умов є прийнятним: $\varepsilon_{U_0} = \pm 5\%$, $\varepsilon_I = \pm 2.5\%$, $\varepsilon_R = \pm 5\%$, $\alpha_2 = 0,1 \div 10$. Для схеми пристрою УКИ-1 [8], $R = 16$ кОм. Аналіз виразу (1.4) показав, що похибка визначення ε_{R_1} може перевищувати 40%.

Постановка завдань. Метою є зменшення похибки контролю опору ізоляції полюсів відносно землі в двопровідних мережах постійного струму шляхом зменшення впливу ємності мережі відносно землі та визначення струму через місце витікання, що забезпечує вищий рівень надійності, безпеки і ефективності використання двопровідних мереж постійного струму.

Викладення основного матеріалу. Проведемо дослідження похибки визначення загального омичного опору ізоляції РМПС відносно землі [3].

Використовуючи рівняння (2.2), знаходимо відносну похибку визначення опору ізоляції як:

$$\varepsilon_{R_{i3}} = \frac{I}{R_{i3}} \left(\left| \frac{\partial R_{i3}}{\partial U} dU \right| + \left| \frac{\partial R_{i3}}{\partial I_a} dI_a \right| \right) = |\varepsilon_U| + |\varepsilon_{I_a}|$$

де $\varepsilon_U = \frac{dU}{U}$ – гранична відносна похибка вимірювання напруги джерела живлення, що накладається на контрольовану мережу, яка визначається класом точності вимірювальної системи;

$\varepsilon_{I_a} = \frac{dI_a}{I_a}$ – відносна похибка визначення струму, яка складається із відносної похибки вимірювальної системи і методичної похибки. Методичну похибку можна визначити із (1.5) як:

$$\varepsilon_m = \frac{I_{a0} - I_{ae}}{I_{a0}} = 1 - \frac{4\omega^2 C_\phi^2 R_{i3}^2}{1 + 4\omega^2 R_{i3}^2 (C_\phi + \Delta C)^2} \quad (1.5)$$

де I_{a0} , I_{ae} – відповідно дійсне значення активної складової струму і визначене;
 ΔC – недокомпенсована ємність.

На рис. 3 побудована залежність методичної похибки визначення активної складової опору ізоляції мережі відносно землі R_{i3} від залишкового (недокомпенсованого) значення ємності мережі ΔC при $C_\phi = \text{const} = 50$ і 100 мкФ.

Із приведеного аналізу (рис. 4) встановлено, що за найнесприятливіших умов компенсації $\varepsilon_k \leq 10\%$, $C_{\text{мах}} = 20$ мкФ, $C_\phi = 40$ мкФ методична похибка, незалежно від активного опору ізоляції, не перевищує $\varepsilon_m \leq 9\%$ і знижується при збільшенні C_ϕ , так при $C_\phi = 100$ мкФ, $\varepsilon_m = 3,8\%$.

При визначенні струму на окремому приєднанні (селективний контроль) маємо

$$\begin{aligned} \varepsilon'_m &= 1 - \frac{4\omega^2 C_\phi (C_\Pi + C_{ek} + C_\phi) R_{i3.\Pi}^2 R_{i3.ek}^2}{4\omega^2 (C_\Pi + C_{ek} + C_\phi)^2 R_{i3.\Pi}^2 R_{i3.ek}^2} - \frac{4\omega^2 C_\phi C_\Pi R_{i3.\Pi}^2 R_{i3.ek} (R_{i3.\Pi} + R_{i3.ek})}{4\omega^2 (C_\Pi + C_{ek} + C_\phi)^2 R_{i3.\Pi}^2 R_{i3.ek}^2 + (R_{i3.\Pi} + R_{i3.ek})^2} = \\ &= 1 - \frac{4\omega^2 C_\phi (C_\phi + C) - 4\omega^2 C_\phi C_\Pi (K + 1)}{4\omega^2 (C_\phi + C)^2 + \frac{K^2 + 2K + 1}{R_{i3.\Pi}^2}} \end{aligned} \quad (1.6)$$

де $K = R_{i3.\Pi} / R_{i3.ek}$; $C = C_\Pi + C_{ek}$.

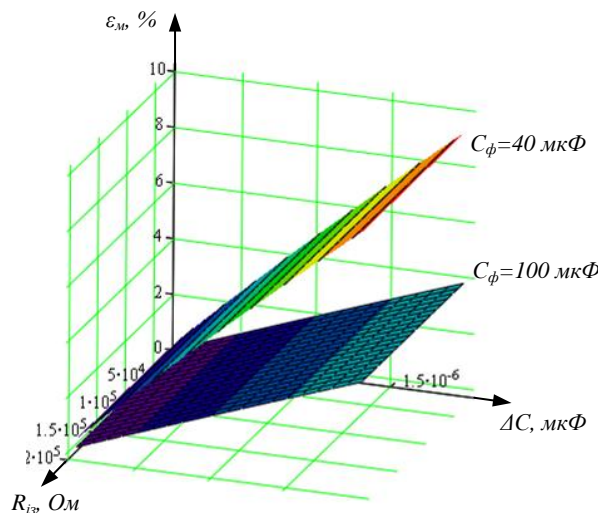


Рис. 3. Залежність відносної методичної похибки визначення активної складової струму від рівня активного опору ізоляції і компенсації ємності мережі при постійному значенні ємності фільтра $C_\phi = 40$ мкФ, $C_\phi = 100$ мкФ

Для визначення методичної похибки були прийняті такі обмеження. Опір ізоляції приєднання має граничне значення, тобто $R_{i3.\Pi} = 20$ кОм, похибка пристрою компенсації

знаходиться на рівні $\varepsilon_k = 10\%$, тобто $S_{ек} \leq 2$ мкФ, $C_{ф} = \text{const} = 40; 100$ мкФ. На рис. 4 побудована залежність відносної методичної похибки визначення активної складової струму від рівня активного опору ізоляції і компенсації ємності мережі при постійному значенні ємності фільтра $C_{ф} = 40$ мкФ; $C_{ф} = 100$ мкФ.

Аналіз даних рис. 4 показує, що при прийнятих обмеженнях відносна методична похибка визначення активної складової струму окремого приєднання не перевищує 4%, а ємність фільтра приєднання практично не впливає на величину методичної похибки.

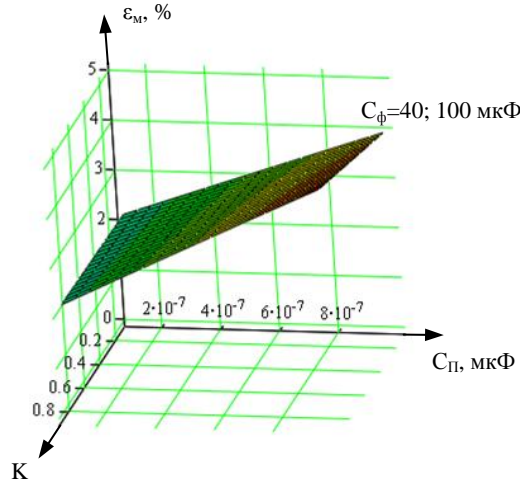


Рис. 4. Залежність відносної методичної похибки визначення активної складової струму на окремому приєднанні РМПС від співвідношення опорів приєднання і ємність $S_{п}$ приєднання при $S_{ек} = 2$ мкФ, $R_{із.п} = 20$ кОм, $C_{ф} = \text{const} = 40, 100$ мкФ

Середньоквадратична відносна похибка визначення опору ізоляції всієї мережі може бути визначена як:

$$\varepsilon_{R_n} = \sqrt{\varepsilon_U^2 + (\varepsilon_{I_a} + \varepsilon_m)^2} \cdot 100\% \quad (1.7)$$

Якщо $|\varepsilon_U| \leq 1\%$; $|\varepsilon_{I_a}| \leq 1\%$ і точність компенсації ємності не перевищує 10%, то $\varepsilon_{R_n} \leq 10\%$, а похибка визначення опору ізоляції окремого приєднання при селективному контролі і прийнятих обмеженнях за рівняннями (1.7) не перевищує $\varepsilon_{R_n,п} \leq 4\%$.

Висновки. Безперервний контроль ізоляції необхідно доповнити періодичним контролем омичного опору ізоляції окремих полюсів відносно землі. Для розв'язання цієї задачі запропоновано метод накладання постійного струму різної полярності. Цей метод дозволяє виключити вплив ємності мережі відносно землі на результати вимірювання, і в найбільш несприятливих умовах вимірювання для середнього класу вимірювальних пристроїв ($\varepsilon = 1\%$) похибка контролю не перевищує $\varepsilon \leq 10\%$. Для підвищення точності вимірювання омичного опору ізоляції полюсів в двопровідній мережі постійного струму доцільно застосовувати комбінацію статичної і динамічної характеристики вимірювального експерименту і дублювання. Це дозволяє зменшити вплив ємності мережі на результати вимірювань і похибку від неспівпадаючих з часом вимірювань при коливанні напруги і зміні навантаження двопровідної мережі постійного струму.

Список використаних джерел:

1. Гумин И.Я. Вторичные схемы электрических станций и подстанций / И. Я. Гумин, М. И. Гумин, В. Ф. Устинов. – М.-Л. : Энергия, 1964. — 176 с. — Бібліогр.: С. 174—176.
2. Цапенко Е.Ф. Контроль изоляции в сетях до 1000 В / Цапенко Е.Ф. — М. : Энергия, 1972. — 130 с.
3. Добровольська Л.Н. Селективный контроль омичного опору ізоляції в лвопроводних мережах постійного струму / Л.Н. Добровольська, М.В. Романюк // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Випуск 3/2010 (62). Частина 2. – Кременчук, 2010. – С. 90–94.

Стаття надійшла до редакції 07.03.2018

УДК 621.68.542

В.Д. Рудь, Ю.С. Повстяна, М.І. Колядинський, Л.М. Самчук, І.В. Савюк
Луцький національний технічний університет
РЕГЕНЕРАЦІЯ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ФІЛЬТРІВ

Суттєвий вплив на ефективність і надійність фільтрів робить робота системи регенерації. В процесі експлуатації фільтру його гідравлічний опір безперервно зростає, а водопроникність фільтрувального матеріалу зменшується у міру осадження накопиченої дисперсної фази на фільтрувальному елементі, і для підтримки пропускну здатності фільтру в заданих межах фільтрувальний елемент необхідно періодично міняти або регенерувати. Проведений порівняльний аналіз роботи фільтра без регенерації і з регенерацією за рахунок ультразвуку свідчить про 25% зниження проникності фільтрувального елемента на початковому періоді фільтрації в порівнянні з аналогічним процесом.

Ключові слова: регенерація, фільтрувальний елемент, металокераміка, СВС-процес, водоочистка.

В.Д. Рудь, Ю.С. Повстяная, М.І. Колядинський, Л.М. Самчук, І.В. Савюк
Луцкий национальный технический университет
РЕГЕНЕРАЦИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Существенное влияние на эффективность и надежность фильтров оказывает работа системы регенерации. В процессе эксплуатации фильтра его гидравлическое сопротивление непрерывно возрастает, а водопроницаемость фильтровального материала уменьшается по мере осадения накапливаемой дисперсной фазы на фильтровальном элементе, и для поддержания пропускной способности фильтра в заданных пределах фильтровальный элемент необходимо периодически менять или регенерировать. Проведенный сравнительный анализ работы фильтра без регенерации и с регенерацией за счет ультразвука свидетельствует о 25% снижении проницаемости фильтрующего элемента на начальном периоде фильтрации по сравнению с аналогичным процессом.

Ключевые слова: регенерация, фильтровальный элемент, металлокерамика, СВС-процесс, водоочистка.

V. Rud , Yu. Povstiana, M. Kolyadinsky, L. Samchuk, I. Saviuk
Lutsk National Technical University
REGENERATION OF METAL-CERAMIC FILTERS

The work of the regeneration system has a significant effect on the efficiency and reliability of the filters. During the operation of the filter, its hydraulic resistance continuously increases, and the permeability of the filter material decreases as the dispersed phase is deposited on the filter element, and to maintain the filter capacity within the specified limits, the filter element must be periodically changed or regenerated. The comparative analysis of the filter operation without regeneration and with regeneration due to ultrasound indicates a 25% decrease in the permeability of the filter element at the initial filtration period in comparison with the similar process.

Key words: regeneration, filter element, cermet, SHS-process, water purification.

Вступ. У зв'язку з розвитком сучасної техніки до традиційних керамічних виробів в останні роки висуваються більш жорсткі вимоги, що вимагає необхідність створення нових матеріалів із заданим комплексом фізико-хімічних властивостей. До таких матеріалів відносять пористі керамічні матеріали, що повинні мати великий термін служби, високий тепловий опір, екологічну безпеку, пожежобезпечність, стійкість до побутових впливів, механічну міцність, простоту застосування та характеризуються низькою вартістю. Пористі керамічні фільтрувальні матеріали мають ряд переваг перед фільтрувальними елементами з інших матеріалів (міцність, стійкість до дії високих температур і агресивних середовищ) та широко використовуються в сучасному виробництві. Одним з передових методів отримання пористих проникливих керамічних і металокерамічних матеріалів є енергозберігаючий процес високотемпературного синтезу (СВС). На машинобудівних заводах, у результаті різних технологічних операцій, утворюється велика кількість невикористаних відходів у вигляді стружки, відходів ливарного і ковальського виробництва, що містять оксиди заліза і легуючі елементи. Ці відходи на більшості підприємств не використовуються, а іноді є джерелами забруднення навколишнього середовища. Використання таких відходів для синтезу нових керамічних матеріалів із застосуванням СВС-процесу дозволить покращити економічні показники та вирішити проблему утилізації відходів. Робота присвячена розробці та виготовленню пористих керамічних матеріалів із відходів металообробного виробництва та природнього сорбенту – сапоніту із застосуванням СВС-спікання, та визначити заходи по збільшенню терміну служби даних виробів. Виходячи із вищезазначеного цей напрям досліджень є актуальним. [1].

Аналіз публікацій. Одним із заходів збільшення ресурсу експлуатації фільтрів є процес їх регенерації. Регенерація - це процес видалення частинок з фільтрувальної перегородки для повного або часткового відновлення початкових властивостей фільтра. В роботі [2] розглядається процес регенерації керамічних мембран на прикладі робочої станції водопідготовки. Наведено принцип дії станції та послідовність очищення мембран. Представлені експериментальні дані по реагентній та безреагентній регенерації. В роботі [3] відмічено, що в процесі експлуатації фільтра його гідравлічний опір безперервно зростає, а газопроникність фільтрувального матеріалу зменшується в міру осадження дисперсної фази на фільтрувальному елементі і для підтримки пропускної здатності фільтра в заданих межах фільтрувальної елемент необхідно періодично міняти або регенерувати. На основі теоретичного узагальнення фізико-хімічних ефектів, аналізу і синтезу енергетичних впливів розроблені методи інтенсифікації процесу регенерації фільтрів. Вивчена пневмоімпульсна регенерація рукавного фільтра, на основі чого було отримано регресійні рівняння в безрозмірних змінних для визначення ефективності регенерації. Отримана модель була використана для оцінки і прогнозування ефективності пневмоімпульсних систем регенерації рукавних фільтрів. В [4] проаналізовано роботу фільтрів з протитечійною регенерацією фільтрувального елементу. Сформовано основні напрямки розвитку і подальшого вдосконалення таких фільтрів. В роботі [5] запропонований спосіб очищення завдяки електрогідравлічному імпульсу, що підвищує якість регенерації фільтрувального елемента. Кожна крапля води без гальмування вдаряється об поверхню, що очищається, сприяючи видаленню забруднень. Для створення струменя використовується жорстка камера малого об'єму, всередині якої закріплена електродна система і генератор імпульсної напруги. Збільшення енергії розряду підвищує швидкість струменя і динамічний тиск, що створюється нею на перешкоді. Режим, при якому відбувається регенерація фільтра, може бути наступним: амплітуда імпульсів напруги 10-30 кВ; ємність конденсаторної батареї генератора 0,15 мкФ; між електродний проміжок 2-5 мм; відстань від сопла насадки 10-20 см. Електрогідравлічне очищення струменем дозволяє досягти на оброблюваній поверхні найбільш високих тисків при відносно високому ККД процесу. Винахід дозволяє зменшити витрати електроенергії для проведення процесу очищення фільтрів, виключає наявність промивного стенду і дозволяє автоматизувати процес очищення.

В роботі [6] вивчено можливості регенерації циліндричної фільтрувальної перегородки з декількох шарів металевого дроту шляхом її інтенсивної струменевої продувки. Вивчено вплив розміру частинок пилу та його фізичних властивостей на регенерацію щільної фільтрувальної перегородки. Запропоновано залежність для розрахунку гідравлічного опору щільного фільтра безперервної дії при очищенні запиленних газів, що враховує ефективність регенерації. Авторами [7] досліджено регенерацію зернистих фільтруючих шарів з метою пошуку найбільш ефективних способів. Запропоновано нові безперервні способи регенерації в барабанному зернистому фільтрі і фільтрі з рухомою насадкою при очищенні газів. Визначено умови їх регенерації та зроблена оцінка ефективності цих способів по зміні гідравлічного опору. В роботі [8] наведено результати дослідження впливу технологічних параметрів на гідравлічний опір і продуктивність фільтра. Встановлено основні фактори, що сприяють поліпшенню регенерації.

Мета. Оцінити ефективність ультразвукової регенерації металокерамічних фільтрів, що отримані із відходів кувально-пресового виробництва та природних мінералів в режимі СВС-синтезу.

Викладення основного матеріалу. У нашій країні і за кордоном йде пошук нових фільтрувальних матеріалів, здатних забезпечити максимально можливу ступінь очищення рідини від твердих частинок. Прогресивним напрямом в цій області є використання пористих проникних матеріалів, виготовлених методом високотемпературного синтезу. При виборі фільтрувального матеріалу і способу його регенерації, як правило, керуються умовами експлуатації та призначенням фільтрів – водо підготовка, очищення стічних вод, регенерація технічних рідин та тощо. При цьому, чинними нормативними документами, які відображають тільки загальні умови експлуатації фільтра, передбачається, що коливання концентрацій забруднюючої речовини в неочищених стоках невелика, умови регенерації фільтра не враховують фізико-хімічних особливостей взаємодії фільтрувального матеріалу і забруднень. Більшість наукових робіт присвячені фільтруванню та регенерації матеріалу в процесі очищення стічних вод, що містять тверді частинки. Наявність плівки нафтопродуктів на зерні фільтрувального матеріалу суттєво змінює як механізм очищення так і процес регенерації. Цей факт має бути врахованим при експлуатації фільтра і на стадії його виготовлення.

У нашому дослідженні в якості вихідних матеріалів були використані: окалина сталі 18Х2Н4МА, порошок оксиду алюмінію ТУ (48-5-22-87), природний мінерал – сапоніт Ташківського родовища та 5 видів пороутворювачів. Дисперсність часток становила: окалина сталі 18Х2Н4МА – 250-400 мкм, сапоніт – 250-400 мкм, порошок Al_2O_3 – 100 мкм, пороутворювач – 100 мкм. Шихтовий склад компонентів визначався експериментально. Щодо технології спікання – особливу увагу заслуговує метод СВС-синтезу. Використання СВС-спікання обумовлена, перш за все, можливістю отримання матеріалів у складних композиціях, що не дозволяє отримувати цільові продукти іншими технологічними процесами, оперативністю проведення експериментів щодо створення матеріалів, забезпеченні модифікування структури і фазового складу продукту, а, отже, і комплексу структурних і структурно залежних властивостей [9]. З метою практичної реалізації отриманих результатів була виготовлена дослідна партія фільтрувальних елементів для очистки відпрацьованих вод автомийки на ТзОВ «ВГБ». Дослідний фільтрувальний елемент був включений у схему очистки відпрацьованих вод автомийки (Рис.1).

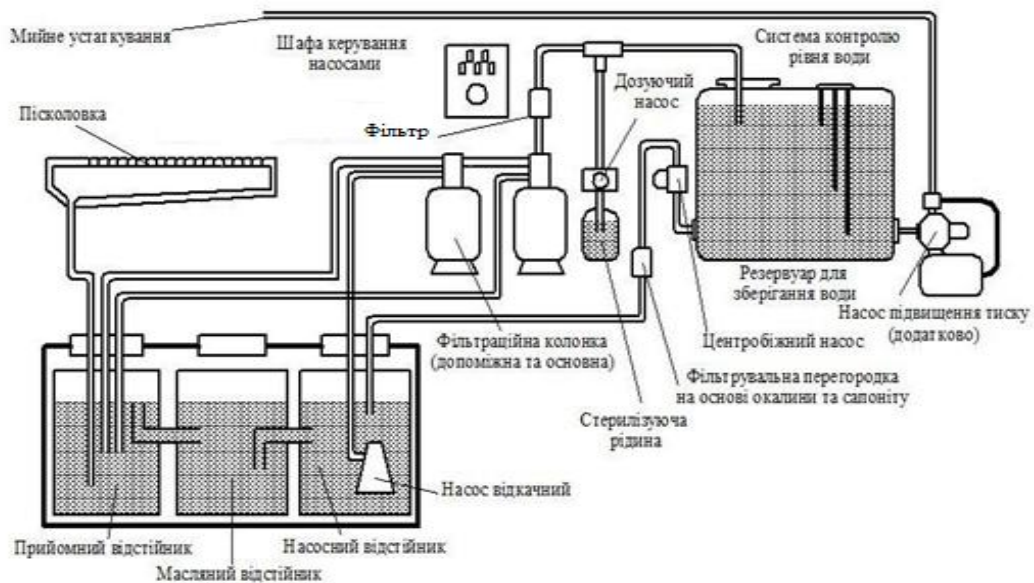


Рис. 1. Системи очищення води автомобільної мийки

Водоочистка на автомийках здійснюється багаторівневим методом і вода багаторазово циркулює по контуру. При очищенні води на автомийках використовують зворотне водопостачання для мийки машин, що зменшує витрати води і знижує собівартість автомийки. Системи очищення води мають декілька рівнів очищення: перший рівень – очищення від механічних домішок за допомогою піщаної колони, другий рівень – тонке очищення через катриджний фільтр.

Мийка автомобіля здійснюється за технологією: поверхня автомобіля вручну змочується водою, де розчинені миючі засоби; потім бруд змивається струменем чистої води. Стічні води надходять самопливом по лотку в відстійник I ступеня, очищена вода потім надходить у відстійник II ступеня очищення. Завершується очищення в відстійнику III ступеня. Освітлена вода повторно використовується для миття машин. Розміри дослідного фільтрувального елемента: висота – 220 мм, діаметр – 40 мм, товщина стінки – 3 мм. Робочий тиск $P=0,4-0,6$ МПа, тонкість очищення 10 мкм, пропускна здатність 200–250 л/год. У табл. 1 наведено порівняльну характеристику показників очистки води на автомийці [10].

Таблиця 1.

Порівняльні показники очистки води на автономії

Показники	Одиниці вимірювання	Стічна вода	Вода після очистки, Дослідний фільтр	Вода після очистки, фільтр на основі Al ₂ O ₃
ХПК (хімічний показник кисню)	мг/л	190	23	23
БПК (біологічний показник кисню)	мгО ₂ /л	130	16	13
СПАР (синтетично поверхнево-активні речовини)	мг/л	100	11	23
Нафтопродукти	мг/л	50	2,5	4,5
Температура	°С	20	-	
pH	-	7,8	7,3	7,4
Завислі речовини	мг/л	200	15	17,1
Токсичні речовини	-	Не допускається	-	

Концентрація зважених речовин у стоковій воді на вході в адсорбційний фільтр визначається ваговим методом. Концентрація нафтопродуктів в стоковій воді визначається фотоколориметричним методом [11]. Результати дослідження з використанням запропонованого фільтрувального елементу дозволили зробити наступні висновки:

- концентрація суспензій у воді після очистки знаходилася в межах 1,5-2,5 мг / л;
- концентрація нафтопродуктів у воді після очистки досягла 2,5 -4,5 мг / л.

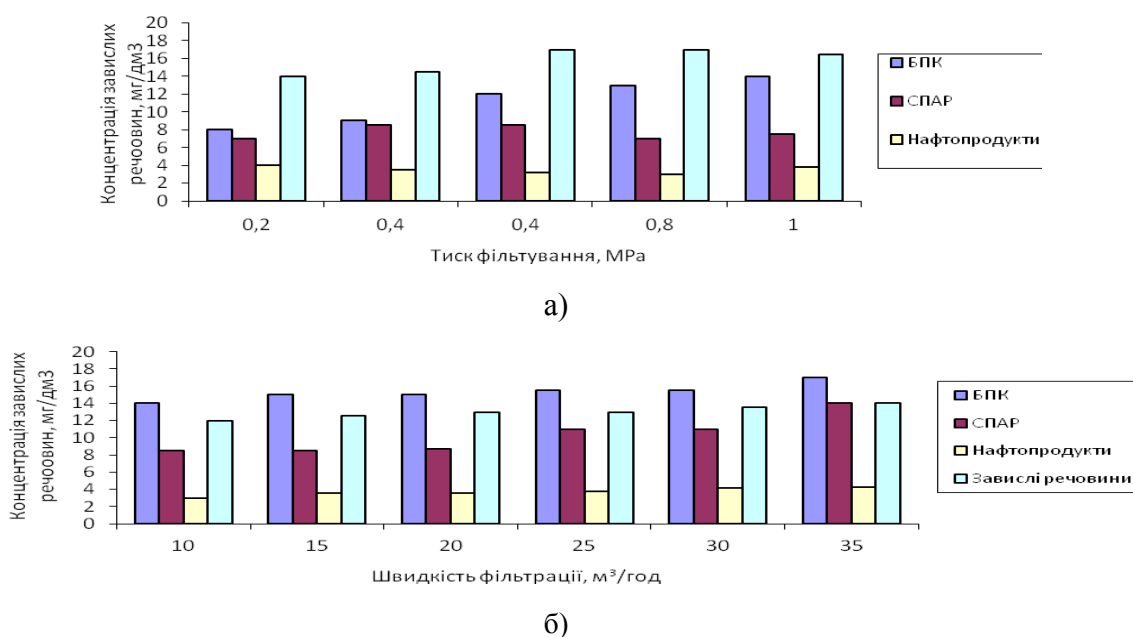


Рис.2. Залежність завислих речовин від а) тиску фільтрування, б) швидкості фільтрації

Регенерацію фільтрувального елементу проводили в ультразвуковій ванні моделі DECON FS-100 В (Рис.3) в діапазоні частот 20-40 кГц. Інтенсивність ультразвукових коливань 0,5 - 5 Вт/см². Вибір оптимальної інтенсивності має суттєве значення для ультразвукового очищення. Важливим фактором, що сприяє ультразвуковому очищенню, є значна інтенсифікація фізико-хімічних процесів в рідині під дією ультразвукових коливань, зокрема, процесу розчинення, що безпосередньо пов'язано з вибором складу миючої рідини. Миюча рідина повинна мати більшу хімічну активність по відношенню до забруднень, але в той же час бути нейтральною по

відношенню до матеріалу. Для очищення застосовують водні розчини лугів, кислот, солей з додаванням поверхнево-активних речовин. Фільтрувальні елементи поміщались в корзину з дротяної сітки, та опускались в наповнену ванну з розчином (вода, 4% сірчана кислота, ПАВ). Після закриття кришки і при відкритті установки ультразвукові хвилі відокремлюють частинки забруднення від сітки. При цьому бруд випадає з фільтрувального елемента вниз. Існує можливість вибору частоти ультразвуку: 25 кГц - для грубої очистки і 45 кГц - для делікатного тонкого очищення [12].



Рис.3. Зовнішній вигляд ультразвукової ванни моделі DECON FS-100 B та фільтрувального елемента

Визначення параметрів і тривалості стадії регенерації фільтра є ключовим з точки зору підтримання високої продуктивності і ефективності зневоднення. Головною метою регенерації ультразвуком є видалення твердих частинок з поверхні фільтра для запобігання закупорювання поверхневих пор фільтрувального елемента. Відповідно до цього, для ефективного очищення було мінімальне проникнення фільтрату з внутрішньої структури фільтра. Проведений порівняльний аналіз роботи фільтра без регенерації і з регенерацією (Рис.4) за рахунок ультразвуку свідчить про 25% зниження проникності фільтрувального елемента на початковому періоді фільтрації в порівнянні з аналогічним процесом [13,14]. На підставі проведених лабораторних досліджень отримані наступні технічні характеристики: продуктивність фільтра – 1 м³ / год; • зважені речовини - з 500 до 10 мг / л; • нафтопродукти - з 300 до 10 мг / л, час-8 год, частота -18-40 кГц, робочий тиск 0,4 -0,6 МПа.

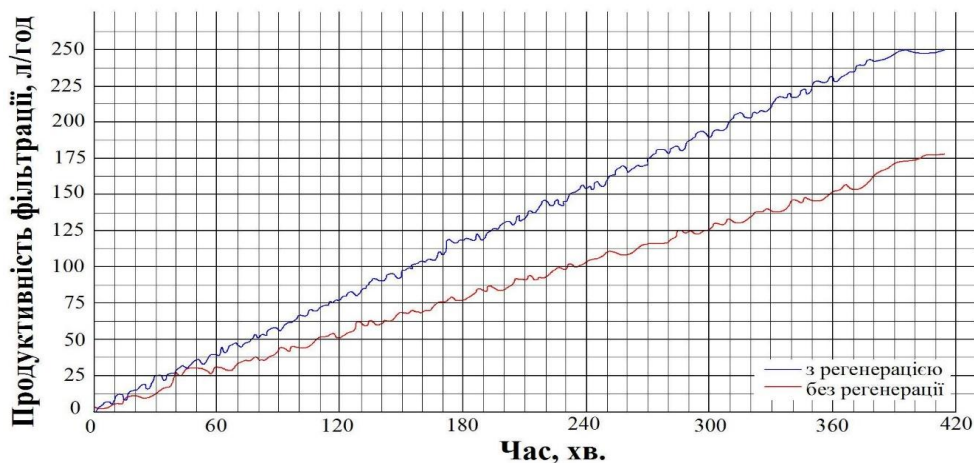


Рис.4. Вплив регенерації на фільтрувальний елемент

Висновки. Луцьким НТУ проведено комплекс прикладних наукових досліджень по використанню пористих керамічних матеріалів для очищення відпрацьованих вод на автомобільних мийках від механічних домішок, нафтопродуктів та миючих засобів. Проведено порівняльний аналіз роботи фільтра без регенерації і з регенерацією за рахунок ультразвуку

свідчить про 25% зниження проникності фільтрувального елемента на початковому періоді фільтрації в порівнянні з аналогічним процесом. Термічна і хімічна стійкість забезпечать багатофункціональність і можливість регенерації металокерамічних фільтрів, що надає можливість їх багаторазового використання, а також ресурсо- та енергоощадній технології їх виробництва. Такі фільтрувальні елементи є конкурентоспроможними у порівнянні з існуючими аналогами.

Список використаних джерел:

1. Шибряев Б. Ф. Металлокерамические фильтры / Б. Ф. Шибряев, Е. И. Павловская. – М. : Машиностроение, 1972. – 120 с.
2. Аверина Ю.М., Аверина О.М., Зверева О.В., Шумова В.С. Методика регенерации керамических мембран // Евразийское Научное Объединение: Том: 1, № 1 (23). – Москва 2017г. – с.18-20.
3. Шаповалов Ю.Н., Красовицкий Ю.В., Русанов А. А. Исследование эффективности пневмоимпульсной регенерации рукавного фильтра // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2006. №12. С. 27-28.
4. Интенсификация процессов регенерации керамических фильтров типа СС-45 на Норильской обогатительной фабрике ГМК «Норильский Никель» / Материалы IV Конгресса обогатителей стран СНГ, II том, с. 117, 19—21 марта 2003 г.
5. Патент України на корисну модель SU 1194457 ζ , 30.11.1985. SU 1768229 A1, 15.10.1992. SU 597396 A, 27.02.1978. RU 2006252 C1, 30.01.1994. JP 60031812 A1, 18.02.1985. Способ регенерации фильтрующего элемента /Стельмах Ирина Валентиновна (RU), Власов Андрей Вячеславович (RU), Власов Вячеслав Викторович (RU) подача заявки: 2005-05-14, публикация патента:10.09.2007.
6. Зыкова Ю.А., Самохвалов Н.М., Виноградов В.В. Сопrotивление пылевого осадка в щелевом фильтре // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, N 4. С. 88–96.
7. Самохвалов Н.М. Регенерация фильтровальных насыпных слоев // Ползуновский вестник. 2006. N 2–1. С. 389–391.
8. Битус, Е.И. Исследование влияния технологических факторов влияющих на процесс фильтрования промышленных фильтров / Е.И. Битус, А.В. Цыганов // Технологии 21 века в пищевой перерабатывающей и легкой промышленности. - № 7. – 2013 г.
9. Кирдяшкин, А.И. Функциональная пористая металлокерамика СВС: Разработка и применения / А.И. Кирдяшкин, Ю.М. Максимов // Фундаментальные и прикладные проблемы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: Материалы научного семинара. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2009. - С. 55 - 61.
10. Rud V. Perspective metaloceramec is for exhaust technical water treatment on autowashings / Rud V., Povstiana Yu., Saviuk I., Samchuk L. //Slovak international scientific journal Materials science and mechanics of machines, # 5 (5), – 2017.– С.23–27.
11. Гетманец Н.И. Исследования процесса обработки поверхностных сточных вод с применением синтетических материалов // Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні / Зб. тез доповідей міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів, 26-28 квітня 2011 року, м. Київ: в 2-ох частинах – К.: КНУБА, 2011. – ч. 2 – С. 78-81.
12. Келлер О.К., Кратыш Г.С., Лубяницкий Г.Д. Ультразвуковая очистка. Л.:Машиностроение. Ленинградское отд. 1977. 184 с.
13. Воловиков А.Ю. Экспериментальная установка для исследования процесса обезвоживания железорудного концентрата с использованием вакуумных дисковых фильтров// Горный информа- ционно-аналитический бюллетень (ГИАБ), выпуск №8, г. Москва, 2013г., стр. 300-303.
14. Воловиков А.Ю. Влияние отдельных флотационных реагентов на засорение материала керамических вакуумных дисковых фильтров /А.Ю. Воловиков, Ю.В. Шариков// Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), выпуск №5, г. Москва, 2014г., стр. 35-38.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 539.1.043

Т.В. Терлецький, А.А. Ткачук, О.Л. Кайдик*Луцький національний технічний університет***ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ ЧИННИКІВ ЕЛЕКТРОННИХ ФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНИХ АПАРАТІВ
НА ВІДНОВЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ МЕТАБОЛІЗМУ В ОРГАНІЗМІ ЛЮДИНИ**

В статті подано результати аналізу впливу фізичних чинників електронних фізіотерапевтичних апаратів на організм людини, які застосовують з метою відновлення процесів метаболізму. Встановлено найбільш оптимальні терапевтичні методи за допомогою яких проходить найефективніше та максимально наближене до природнього збагачення ресурсів організму людини.

Ключові слова: ресурси організму, метаболізм, катаболізм, методи фізіотерапії, організм людини

Т.В. Терлецкий, А.А. Ткачук, О.Л. Кайдик**ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ
ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ
МЕТАБОЛИЗМА В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА**

В статье представлены результаты анализа влияния физических факторов электронных физиотерапевтических аппаратов на организм человека, которые применяют с целью восстановления процессов метаболизма. Установлены наиболее оптимальные терапевтические методы с помощью которых проходит эффективно и максимально приближено к естественному обогащения ресурсов организма человека.

Ключевые слова: ресурсы организма, метаболізм, катаболізм, методы физиотерапии, организм человека

T. Terletsyky, A. Tkachuk, O. Kaidyk**THE INFLUENCE PHYSICAL PARAMETERS OF ELECTRONIC
PHYSIOTHERAPEUTIC APPARATUSES ON THE RESTORATION OF METABOLIC
PROCESSES IN THE HUMAN BODY**

The article presents the results of the analysis of the influence of physical factors of electronic physiotherapeutic devices on the human body, which are used to restore the metabolic processes. It is established that biophysical resources form the technological process of transformation of biochemical raw materials, and the cellular resource is a kind of battery of energy. Microvibrational resource is formed due to contractile activity of muscle cells. At full peace and relaxation, the microvibrational background reflects the state of the organism's resources. The deficit of biological microvibrations is local in nature. After analyzing the therapeutic methods based on physical properties and phenomena allocated two fundamentally different methods of compensating for the deficit of biological microvibration are identified.

Key words: body resources, cell, metabolism, biochemical reserves, catabolism, methods of physiotherapy, human body

Організм людини утворений різноманітними тканинними та клітинними структурами являє собою складну систему, яка може функціонувати лише у відповідному внутрішньому середовищі. Для забезпечення такого середовища в організмі на відносно постійному рівні підтримуються кров'яний тиск, температура, вміст білків, вуглеводів, іонів натрію, калію, хлору тощо. Внутрішнім середовищем є кров, що рухається судинами і пронизує весь людський організм, де безперервно проходить обмін речовин (метаболізм). В процесі метаболізму відбувається розчеплення складних органічних сполук, яке супроводжується виділенням необхідної енергії для життєвих процесів.

Процеси метаболізму в організмі відбуваються тільки при контактній взаємодії біологічних субстанцій. Тому наявність механічних функцій клітин і біологічних молекул є необхідною умовою для більшості біологічних і особливо імунологічних реакцій. Для того, щоб реакція відбулась, потрібно безпосереднє зближення взаємодіючих компонентів і їх просторова орієнтація відносно один одного. Механічні коливання присутні в організмі не тільки завдяки пульсації серця (це інфразвукові частоти) і судинно-м'язової активності (звукові частоти), але і завдяки механічному впливу зовнішнього середовища. Внаслідок гемодинамічного бар'єра пульсові коливання у м'язовому просторі значно знижені. У цих випадках виникає потреба у покращенні кровопостачання.

Виходячи з вище зазначеного, виникла необхідність в аналізі існуючих фізичних чинників електронних фізіотерапевтичних апаратів, які застосовують для відновлення процесів метаболізму в організмі людини, та визначенні тих, які у більшій мірі відповідають природному процесу.

Обмін речовин і енергії – основа процесів життєдіяльності організму. У всіх організмів, від найпримітивніших до найскладнішого – людського організму, обмін речовин і енергії – основа життя. В організмі людини відбувається безперервний процес творення, утворення з простіших

речовин складних. Одночасно з цим відбувається розпад, окислення складних органічних речовин, які входять до складу клітин організму. Робота органів супроводжується безперервним оновленням їх клітин: одні гинуть, інші їх заміняють. Зростання та оновлення клітин організму можливі тільки в тому разі, якщо до нього безперервно надходять кисень і поживні речовини за допомогою відповідних ресурсів організму.

Загалом розрізняють [1, 3, 6] три види ресурсів організму: біохімічні, біофізичні та кліткові, що забезпечують нормальну діяльність організму на клітинному рівні.

Біохімічні ресурси (білки, вуглеводи, жири, амінокислоти тощо) призначені для формування кліткових ресурсів. Ці компоненти за функціональним призначенням можна поділити на енергетичні, будівельні та утилізаційні.

Біофізичні ресурси (температура, тиск, мікрівібрація) покликані забезпечувати безпосереднє зближення взаємодіючих компонентів та їх просторову орієнтацію один стосовно одного.

Клітинні ресурси характеризують кількість здорових функціональних клітин та енергоресурси, які містяться в них [6]. Виконуючи функцію, клітини витрачають енергоресурси і при певних умовах їх поповнюють. Функціональна активність клітин супроводжується виділенням продуктів метаболізму в міжклітинний простір, звідки вони повинні бути виведені через венозну і лімфатичну мережу судин. На процес заповнення клітинами енергоресурсів поширюється фундаментальний закон близькодії [3, 7]: будь-яка взаємодія матерії (наприклад, речовин і клітин) відбувається лише при безпосередньому контакті один з одним.

Всі види ресурсів тісно взаємопов'язані між собою. В процесі відновлення клітинами ресурсів беруть участь і витрачаються як клітинні, так і біохімічні та біофізичні ресурси.

Недостатність будь-якого з них веде до уповільнення відновлення клітинних ресурсів організму, погіршення стану його тканин, розвитку патології і старіння. Свочасне виявлення і компенсація недостатності того чи іншого ресурсу – основний принцип терапії.

Відновлення енергетичних витрат клітин здійснюється за рахунок кровопостачання. Кров складається з плазми і формених елементів. Основним постачальником біохімічних ресурсів клітинам є еритроцити. Вони не тільки здійснюють транспортування кисню, але і адсорбують з плазми крові амінокислоти, ліпіди і переносять їх до тканин.

Покращення кровотоку можна здійснити двома основними шляхами: медикаментозним – шляхом введення спеціальних препаратів, що розріджують кров, і терапевтичним – шляхом впливу визначального фізичного параметра на конкретну область організму.

Особлива роль у діагностиці, лікуванні, реабілітації та профілактики різних видів захворювань та їх ускладнень належить фізичним методам. В сучасній фізіотерапії застосовуються природні і переформовані фізичні чинники, які отримують за допомогою спеціальних електронних апаратів. Клінічні й експериментальні дослідження [3], проведені в останні роки показали, що фізичні чинники можуть доповнювати або замінити багато методів медикаментозної терапії на всіх етапах лікування і реабілітації хворих.

Кожний фізичний чинник має специфічну дію. Специфічність впливу на організм визначається видом фізичної енергії, локалізацією впливу, глибиною проникнення в тканини, місцем поглинання енергії та видом тканини (її біофізичною і біохімічною структурою, функціональною активністю).

Сучасні терапевтичні методи ґрунтуються на використанні наступних фізичних явищ: електричний струм, магнітне поле, світловий потік, вібраційні та звукові коливання.

Вибір методу фізіотерапії залежить від загального стану організму, специфіку патологічного процесу, його клінічні прояви, стадії і фази розвитку захворювання, статі, віку та нервово-психічного стану.

Лікування струмом є одним з розповсюджених типів сучасної апаратної фізіотерапії, який розвивається і вдосконалюється разом з розвитком радіоелектроніки, експериментальної та клінічної медицини. Він передбачає використання постійного електричного струму (гальванізація, електрофорез), та імпульсного постійного і змінного струму.

Протікання струму через тіло людини супроводжується термічним, електролітичним та біологічним ефектами. Термічна дія струму полягає в нагріванні тканини, випаровуванні вологи, що може викликати опіки і навіть обуглювання тканин та їх розриви парою. Термічна дія струму залежить від величини струму, опору проходженню струму та часу проходження. Електролітична дія струму проявляється в розкладі органічної речовини (її електролізі), в тому числі і крові, що призводить до зміни їх фізико-хімічних і біохімічних властивостей. Останнє, в свою чергу, призводить до порушення біохімічних процесів у тканинах і органах, які є основою забезпечення

життєдіяльності організму. Біологічна дія струму проявляється у подразненні і збуренні живих тканин організму, в тому числі і на клітинному рівні. Під час проходження постійного струму в організмі відбуваються фізико-хімічні процеси (електроліз, поляризація), які прискорюють метаболізм та покращують тканини. Активуються ферментні системи, процеси синтезу і обміну речовин. Крім того, коливання глобулярних білків, гліколіпідів і фосфоліпідів, які складають мембрани клітин призводить до підвищення дисперсності білків і фосфоліпідів, проникності клітинних мембран і підвищення активності іонтранспортних систем мембрани.

Тканини людини являють собою складний біоелектричний ланцюг із своєрідних провідників. Тканинна рідина, клітинні включення, які багаті солями, білкові молекули, колоїдні частки, що несуть на собі електричні заряди, забезпечують електропровідність тканин. Всі змінні електричні коливання, особливо вище 500 кГц, мають велику проникну здатність, оскільки емкісний опір тканин втрачає своє значення. Змінні електричні коливання не викликають електролізу під електродами. Вони не викликають зміни іонної концентрації всередині клітинних структур, на відміну від постійного струму. В той же час змінні коливання поглинаються тканинами і це супроводжується утворенням ендogenousого тепла. При коливальних рухах заряджені частки зіштовхуються між собою, в результаті виникаючого тертя утворюється тепло.

Узагальнюючи вище сказане зроблено наступні висновки:

– фізіологічний механізм дії електротерапії пов'язаний зі збудженням та скороченням м'язових клітин під дією імпульсів електричного струму, що викликає мікрівібрації тканин в цільовій області;

– мікрівібрації виникають за рахунок активного витрачання накопичених м'язовими клітинами ресурсів, тому електротерапія не є ресурсною допомогою.

Магнітотерапія здійснює вплив на лінійний рух крові. Однойменні частки починають рухатись паралельними напрямками дозволяючи крові проникати у дрібні кровоносні судини. Дія магніту збільшує швидкість руху крові, але зменшує тиск на кровоносні судини. Це призводить до поліпшення периферійного кровопостачання, відновлення функцій системи кровообігу та дає ефективний вплив на стінки вени і її клапани.

Магнітне поле при захворювань вен допомагає поліпшити здатність стінок венозних клапанів, сприяє нормалізації потоку крові, кисневий баланс крові стає активнішим, пришвидшує процеси обміну та зменшує ризик застою крові.

Під впливом індуктотермії в тканинах виникають вихрові струми, сила яких обернено пропорційна електричному опору тканин. Тому вихрові струми й обумовлене ними тепло найбільш інтенсивно утворюються в рідких середовищах (кров, лімфа) і в тканинах з найбільшим вмістом води (м'язи, органи). Глибина теплового впливу при індуктотермії 6-8 см. Утворення тепла залежить від сили струму і часу впливу. Теплова реакція носить поширений характер. Під впливом індуктотермії посилюється кровообіг, проявляється судинорозширювальна, поліпшується трофіка, посилюється фагоцитарна активність лейкоцитів, розсмоктує дія, знижується артеріальний тиск.

Мікрохвильова терапія передбачає використання з лікувальною метою мікрохвиль різноманітного діапазону частот. Використовується частота 2375 МГц (довжина хвилі 12,6 см) - сантиметрові хвилі і частота 460 МГц (довжина хвилі 65 см) - дециметрові хвилі.

Під впливом поля НВЧ підвищується температура тканин, посилюється кровообіг, розширюється просвіт капілярів, збільшуються окислювально-відновлювальні процеси, збільшується споживання кисню. Дана терапія впливає переважно на патологічно змінені органи і системи, не впливаючи на нормально функціонуючі.

Світлолікувальний метод фізіотерапії передбачає застосування з лікувальною і профілактичною метою електромагнітні коливання оптичного діапазону як видимого, так і в невидимого спектра. В основі біологічної дії світла лежить процес поглинання енергії світлового потоку тканинами організму і перетворення її в інші види енергії, насамперед у теплову і хімічну, які справляють на організм як загальну, так і місцеву дію.

Під час дії ультрафіолетового випромінювання на організм людини за рахунок фотоелектричного ефекту в шкірі відбуваються складні фотохімічні і фотобіологічні процеси. Вони проявляються розпадом білка (фотоліз), утворенням більш складних речовин (фотосинтез) або речовин із новими фізико-хімічними властивостями (фотоізомеризація). У місці поглинання утворюються вільні радикали, посилюється ферментативна активність, звільняються або знову утворюються біологічно активні речовини (гістамін, серотонін, ацетилхолін тощо).

Під впливом ультрафіолетових променів поліпшується скорочувальна здатність міокарда, знижується гіпоксія, відновлюється функція зовнішнього дихання за рахунок зменшення частоти і збільшення глибини дихання, нормалізуються процеси згортання, збільшується вміст еритроцитів, підвищується гемоглобін крові, сповільнюється ШОЕ, поліпшуються показники ліпідного обміну.

Лазеротерапія - вплив на хворого електромагнітними хвилями оптичного діапазону. Випромінювання лазерів являє собою електромагнітні хвилі з такими властивостями, як монохроматичність (наявність у спектрі тільки однієї довжини хвилі), когерентність (випромінювання електромагнітних хвиль, які збігаються за частотою і фазами і посилюють один одного), незначне розсіювання потоку випромінювання або паралельність його, що дає можливість при фокусуванні одержати дуже високу щільність потужності на поверхні, яка опромінюється.

В даний час у фізіотерапії застосовують випромінювання лазерів у червоній і інфрачервоній частині спектра з довжиною хвилі від 620 до 1300 нм. При таких довжинах хвиль діапазон терапевтичної дії найбільш широкий, а глибина проникнення випромінювання в тканинах - максимальна. У дії лазерного променя має значення його теплова енергія, тиск світла, вплив електромагнітного поля, фотохімічний, фотоелектричний ефекти тощо.

Механізм біологічної дії ультразвуку обумовлений трьома чинниками: механічним, термічним і фізико-хімічним.

Низькочастотний ультразвук викликає глибокий мікромасаж тканин, посилення мікроциркуляції і місцевого кровообігу, підвищення судинної і епітеліальної проникності, зміну активності ферментів і швидкості біосинтетичних процесів, стимуляцію компенсаторно-приспосувальних і захисних реакцій організму.

На початку 21 століття в медичній практиці з'явився новий вид терапії, який застосовують для глибокого мікромасажу на клітковому рівні методом фонування організму акустичними і мікровібраційними коливаннями. Мета фонування – відновлення дефіциту біологічної мікровібрації тканин в проблемній чи пов'язаній з нею області організму.

Фізична властивість віброакустичної дії полягає у її здатності покращити наскрізний кровоток і лімфоток. В основі цього явища лежить два фізичних ефекти: перший – зниження судинного опору руху крові при впливі мікровібрації визначеної звукової частоти (кожному діаметру судини відповідає своя оптимальна частота), другий – ефект гідродинамічного насоса у венах. Він виникає завдяки наявності клапанів, які під впливом мікровібрації забезпечують не хаотичний, а спрямований рух крові. В результаті дослідження механізму периферичного кровообігу, було встановлено [1], що м'язові волокна тремтять зі звуковою частотою. Від такого тремтіння у венах утворюється з однієї сторони розрідження, а з іншої тиск – своєрідний гідродинамічний насос, який і забезпечує прискорений відтік крові.

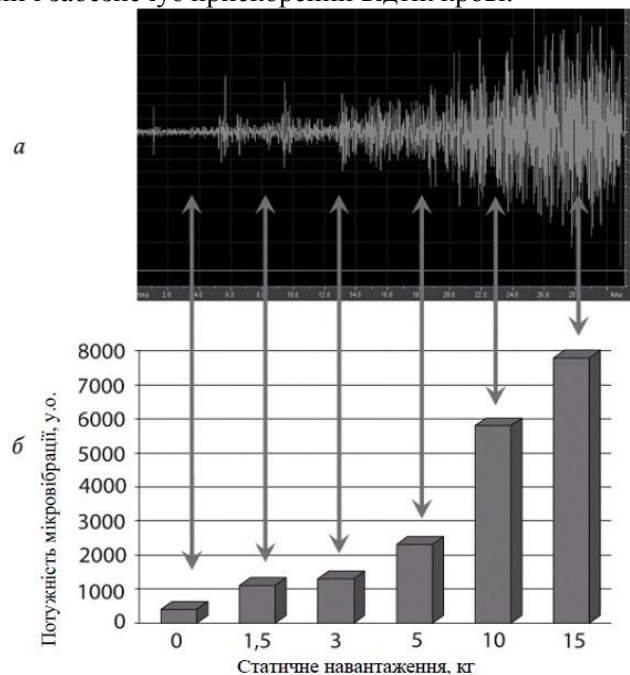


Рис. 1. Амплітудна характеристики (а) і покази міотремографа (б) залежно від статичного навантаження організму людини

Таким чином, якщо мікрівібрація – це фізичний фактор, який лежить в основі роботи кровообігу організму і служить для зниження периферичного опору капілярної сітки та підсилення венозного відтоку, то, якщо внаслідок якихось причин м'язові волокна перестають тремтіти, то доцільно застосувати зовнішню мікрівібрацію до відновлення нормального кровообігу.

Враховуючи великий розкид механічних властивостей молекул, клітин, судин і тканин, бажаним є вплив мікрівібраціями з неперервною змінювальною частотою і амплітудою, причому акустичний діапазон з інфразвуковою модуляцією краще корелює з механічними властивостями елементів тканини, ніж інші частоти.

На основі проведеного вище аналізу енергоресурсів організму, існуючих фізичних чинників електронних терапевтичних апаратів, які застосовують для відновлення процесів метаболізму в організмі людини, беручи до уваги їх переваги і недоліки, зроблено наступні висновки.

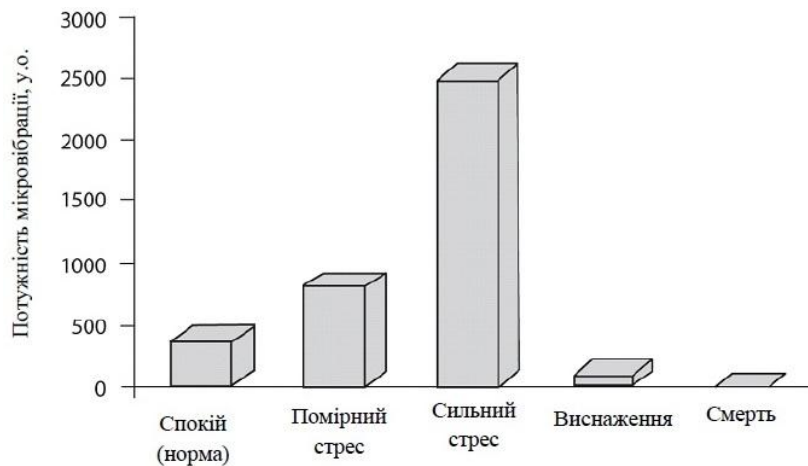


Рис. 2. Залежність мікрівібраційного фону від стану організму людини

Провівши аналогію з виробничою сферою людської діяльності, було встановлено, що біохімічні ресурси є сировиною, яку потрібно переробити організму у енергію, біофізичні ресурси утворюють технологічний процес перетворення цієї сировини, а клітковий ресурс утворює своєрідний акумулятор енергії, де накопичується, зберігається і з звідки видається необхідна для функціонування організму енергія. Біофізичний ресурс формується за допомогою температури, тиску і мікрівібрації організму. Мікрівібрація утворюється за рахунок скорочувальної активності м'язових клітин. Цей чинник є незамінним ресурсом всіх живих організмів.

При фізичному навантаженні мікрівібрація тканин значно посилюється (рис. 1), адекватно збільшуючи приплив крові і відтік продуктів метаболізму.

Під час стресу в організмі збільшується м'язовий тонус і пропорційно збільшується мікрівібраційний фон. Мікрівібраційний фон підтримується в тканинах всі 24 год на добу і зникає тільки у випадку смерті мозку (рис. 2).

При повному спокої і розслабленні мікрівібраційний фон характеризується нормою і патологією та відображає стан ресурсів організму. Дефіцит біологічних мікрівібрацій, як правило, носить локальний характер. Тотальним він стає з віком, а також трапляється при хронічній втомі, переохолодженні, перевтомі від інтенсивних і тривалих навантажень, після тривалого стресу.

Вибір фізичного методу залежить від глибини ураження судин. Глибина проникнення фізичних параметрів в тканини людського організму наведена на рис. 3.

Проаналізувавши терапевтичні методи, що ґрунтуються на фізичних властивостях та явищах, виділено два принципово різних принципи компенсації дефіциту біологічної мікрівібрації:

- за рахунок збудження м'язів електричним струмом (електротерапія);
- за рахунок зовнішнього джерела мікрівібрації (фонотерапія).

Перший метод не можна віднести до ресурсної підтримки організму, і його можливості обмежені, оскільки витрачається енергія м'язових клітин. Крім того, застосування електротерапії може викликати пошкодження м'язових та нервових клітин, і її не можна застосовувати до пацієнтів, які не переносять дію електричного струму.

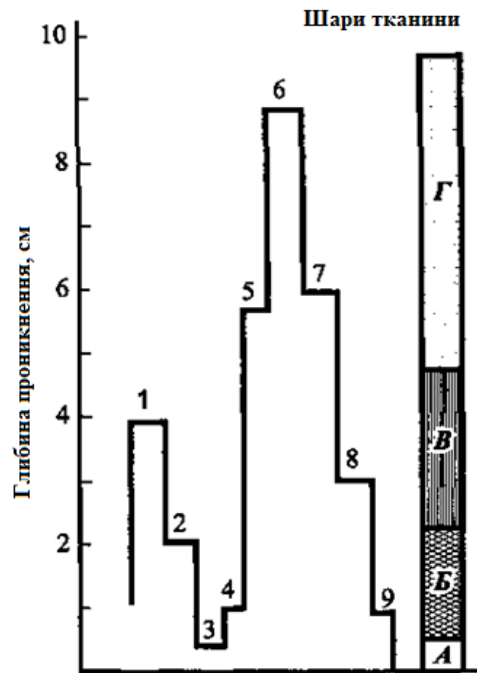


Рис. 3. Глибина проникнення у тканини різних фізичних чинників: 1 – інфрачервоні промені, 2 – видиме випромінювання, 3 – ультрафіолетові промені, 4 – ММХ, 5 – СМХ, 6 – ДМХ, 7 – ультразвук (22 кГц), 8 – ультразвук (0,88 МГц), 9 – ультразвук (2,64 МГц); А – шкіра; Б – підшкірна основа; В – м'язи; Г – внутрішні органи

До ресурсної підтримки відноситься лише та, яка надається за рахунок зовнішнього джерела енергії. Існує можливість компенсації дефіциту і навіть збагачення тканин біологічними мікрівібраціями шляхом прямої їх передачі від джерела через контакт з тілом пацієнта. Мікрівібрації віброакустичного діапазону проникають на глибину до 10 см, а з рис. 3 видно, що це задовольняє потреби навіть у лікування внутрішніх органів. Саме цей метод дає можливість в лікуванні цілої низки захворювань і носить природній характер ресурсної підтримки.

Список використаних джерел:

1. Аринчин Н. И. Периферические «сердца» человека. – Минск: Наука и техника, 1988.
2. Аринчин Н. И., Борисевич Г. Ф. Микронасосная деятельность скелетных мышц при их растяжении. – Минск: Наука и техника, 1986.
3. Иммунология и старение: сборник монографий / под ред. Т. Макинодана, Э. Юниса. – М.: Мир, 1980.
4. Морман Д., Хеллер Л. Физиология сердечнососудистой системы. – СПб.: Питер, 2000.
5. Стеценко Г.С., Пенішкевич Я.І., Гриценко В.І. Медична техніка. – Луцьк: Надстир'я, 2002.
6. Федоров В.А., Ковеленов А.Ю., Логинов Г.Н., Рябчук Ф.Н. Ресурсы организма. Новый подход к выявлению причин возникновения заболеваний и методам их лечения. – СПб.: СпецЛит, 2012.
7. Физические факторы и здоровье человека: труды V Всероссийского съезда физиотерапевтов и курортологов. – М.: МОРАГ-Экспо, 2002.

Рецензенти:

Андрій Борисович Семенюк – зам. директора ПАТ «Електротермометрія».

Віктор Юрійович Денисюк – к.т.н., доцент кафедри приладобудування Луцького НТУ

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018

УДК: 389-14

Р.С. Томашевський*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»***ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ НЕІНВАЗИВНОГО МОНІТОРИНГУ КРОВОВТРАТИ НА ОСНОВІ БІОІМПЕДАНСОМЕТРІЇ**

У роботі обґрунтовано методику неінвазивного контролю сигналу прихованих крововтрат у післяопераційних хворих. В якості робочої гіпотези в роботі висувається подібність процесів, що відбуваються при крововтраті, а процесів при процедурі ультрафільтрації при програмному гемодіалізі. У роботі був застосований неінвазивний метод біоімпедансометрії на трьох частотах для виявлення сигналу істотної зміни водного статусу пацієнта. В якості інформативних параметрів були використані коефіцієнти межспектральної кореляції 1-го і 2-го порядків, отримані за результатами вейвлет-перетворення вимірюваного біоімпедансного сигналу.

У статті проведено вибір параметрів сигналу моніторингу крововтрат, в який увійшли планування метрологічної та методичної складової, а так само вибір інформативних параметрів. Була проведена оцінка статистичної значущості запропонованого методу на основі T-статистики з критерієм максимуму чутливості і факторному впливі (відбору крові).

Проведені результати показали перспективність запропонованого в роботі методу контролю динамічних параметрів нестационарності біоімпедансних сигналів для задач тиску прихованих крововтрат.

Ключові слова: контроль крововтрат, біоімпедансометрія, спектральний аналіз, вейвлет перетворення, рівень значущості, T-статистика, планування експерименту, коефіцієнт кореляції.

Р.С. Томашевский**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИНГА КРОВОПОТЕРИ НА ОСНОВЕ БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ**

В работе обоснована методика неинвазивного контроля сигнала скрытых кровопотерь у послеоперационных больных. В качестве рабочей гипотезы в работе выдвигается подобие процессов, происходящих при кровопотере, а процессов при процедуре ультрафильтрации при программном гемодиализе. В работе был применен неинвазивный метод биоимпедансометрии на трех частотах для обнаружения сигнала существенного изменения водного статуса пациента. В качестве информативных параметров были использованы коэффициенты межспектральной корреляции 1-го и 2-го порядков, полученные по результатам вейвлет-преобразования измеряемого биоимпедансного сигнала.

В статье проведен выбор параметров сигнала мониторинга кровопотерь, в который вошли планирования метрологической и методической составляющей, а также выбор информативных параметров. Была проведена оценка статистической значимости предложенного метода на основе T-статистики с критерием максимума чувствительности и факторном воздействии (отбора крови).

Проведенные результаты показали перспективность предложенного в работе метода контроля динамических параметров нестационарности биоимпедансных сигналов для задач давления скрытых кровопотерь.

Ключевые слова: контроль кровопотерь, биоимпедансометрия, спектральный анализ, вейвлет преобразование, уровень значимости, T-статистика, планирование эксперимента, коэффициент корреляции.

R.S. Tomashevskiy**SELECTION OF PARAMETERS OF THE PLANNING AND IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF THE METHOD FOR NONINVASIVE MONITORING OF BLOOD LOSS ON THE BASIS OF BIOIMPEDANCOMETRY**

In the work, the technique of non-invasive control of the latent blood loss signal in postoperative patients is justified. As a working hypothesis in the work, the similarity of processes occurring in blood loss, and processes during the procedure of ultrafiltration during program hemodialysis is proposed. In the work, the non-invasive method of bioimpedance measurement at three frequencies was used to detect a signal of a significant change in the patient's water status. As informative parameters, the coefficients of the inter-spectral correlation of the 1st and 2nd orders, obtained by the wavelet transform of the measurable bioimpedance signal, were used.

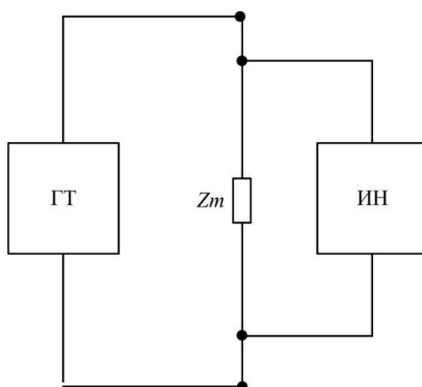
In the article, the choice of the parameters of the blood loss monitoring signal was carried out. This choice was based on and planning of the metrological and methodological component, as well as the choice of informative parameters. The statistical significance of the proposed method on the basis of T-statistics with the criterion of the maximum of sensitivity and factor influence (blood selection) was performed.

The performed results showed the promise of the proposed method of controlling the dynamic parameters of non-stationary bioimpedance signals for the tasks of the pressure of hidden blood loss.

Key words: blood loss control, bioimpedancecometry, spectral analysis, wavelet transformation, level of significance, T-statistics, experiment planning, coefficient of correlation.

Постановка проблеми. Апаратний контроль післяопераційного стану пацієнта на сьогоднішній день є однією з найбільш актуальних завдань реанімаційної і хірургічної медицини [4, 5]. Особливу увагу при такому контролі слід приділяти гострим змінам стану хворого, пов'язаних з порушенням режиму відновлення внаслідок об'єктивних чи суб'єктивних причин. Одним з таких порушень є приховані спонтанні кровотечі, які, при відсутності реакції на їх появу, можуть викликати серйозні зміни функціонального стану пацієнта аж до летального результату. Існуючі на сьогоднішній день апаратні методи контролю кровотеч можуть фіксувати їх наявність лише при значному впливі на основні функціональні показники, що в свою чергу часто виявляється занадто пізно [5]. В роботі запропоновано неінвазивний метод контролю прихованих спонтанних кровотеч за результатами моніторингу імпедансу людського організму - біоімпедансометрії, який позитивно зарекомендував себе при оцінці статусу гідратації людини [11, 12, 14]. При цьому однією з найважливіших задач при імплементації даного методу стає, як апаратне забезпечення так і методичні рекомендації щодо використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Літературний аналіз аналогічних методів, заснованих на вимірі електричних параметрів людського організму, показав, що найбільш перспективним є метод біоімпедансометрії (БІМ), що використовується для визначення водного статусу пацієнта [11, 12, 15]. Для визначення статусу гідратації пацієнта зазвичай використовується двочастотна інтегральна біоімпедансометрія, так як вона має істотні переваги в порівнянні з іншими методами визначення обсягів рідинних секторів. [44]. Як схеми накладення електродів на пацієнта найбільш доцільно використовувати чотирьохдротову (або тетраполярну) (рис. 1). Дана схема підключення майже повністю виключає вплив перехідного опору на точність вимірювань, забезпечує більш рівномірний, ніж в мостових схемах, розподіл струму в тканинах, має стійкість до перешкод, викликаних артефактами [41, 42].



Z_m - вимірюваний імпеданс, ГТ - генератор струму, ИН - вимірювач напруги.

Рис. 1. Тетраполярна схема підключення пацієнта до приладу БІМ

Прилад для апаратного забезпечення даного методу називається біоімпедансометр. Опіраючись на досвід використання подібних апаратів у нефрології, стає можливим визначити основні технічні характеристики біоімпедансометра [12, 18]. Основні технічні вимоги до біоімпедансометру, що забезпечує визначення статусу гідратації пацієнта наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні параметри біоімпедансометра

Параметр	Мінімальне значення	Максимальне значення
Низька частота зондуючого струму, кГц	20	40
Висока частота зондуючого струму, кГц	300	500
Можлива тривалість досліджень, годин	4	6
Імпеданс, Ом	5	1000
Струм через пацієнта, мА	–	1
Похибка вимірювання біоімпедансу, %	–	5
Синхронізація з ПК або іншими пристроями	USB, BlueTooth	

Частоти зонduючого струму 20 і 500 кГц обрані виходячи з сучасних уявлень про проходження струму через людський організм. А саме: при частоті 20 кГц і вище поверхневий шар шкіри майже повністю втрачає свій опір, загальний опір людини в даному випадку буде складатися лише з внутрішнього опору тіла. Однак до 40 кГц струм не буде проникати в клітинні мембрани і імпеданс тіла буде обумовлений лише опором ВКЖ. На частотах понад 300 кГц ємнісний опір клітинних мембран значно зменшується і шунтує активний опір мембрани, внаслідок чого щільність струму поза і всередині клітин стає порівняний [7, 43]. Літературний огляд також продемонстрував сучасні тенденції збільшення кількості частот зондування струму до частотного сканування в зазначеному діапазоні.

Постановка завдань. Головною метою є розробка та обґрунтування методологічних і технічних основ планування неінвазивного методу моніторингу прихованих і спонтанних крововтрат на основі біоімпедансного аналізу.

Метод оцінки міжспектральної кореляції нестационарного сигналу.

У нашому випадку, становить інтерес використання частотно-часових властивостей БІМ-сигналів, корельованих з динамікою кровопостачання організму [40]. Такі сигнали дозволяють отримувати контрольну інформацію в режимі реального часу, відстежуючи локалізовану в часі нестационарність кровотоку при випадковому факторному впливі (зміна обсягу судинного русла). Для прикладу візьмемо результати 9 ряду вимірів з різними пацієнтами. Відбір крові здійснювався медичним персоналом, об'єм фіксований - 450 мл. Вимірювання БІМ-сигналів здійснювались на 3 частотах - 20, 100 і 500 кГц. Для отримання первинного сигналу була використана чотирьох-електродна схема отримання БІМ-сигналу.

На рисунку 2, наведені типові реалізації БІМ-сигналів для частот 20, 100 і 500 кГц. На цьому рисунку відзначаються межі, що розділяють повний період спостереження пацієнта на три фази: фаза 1 - відсутність крововтрати (початкова фаза); фаза 2 - наявність крововтрати (активна фаза); фаза 3 - відсутність крововтрати (кінцева фаза).

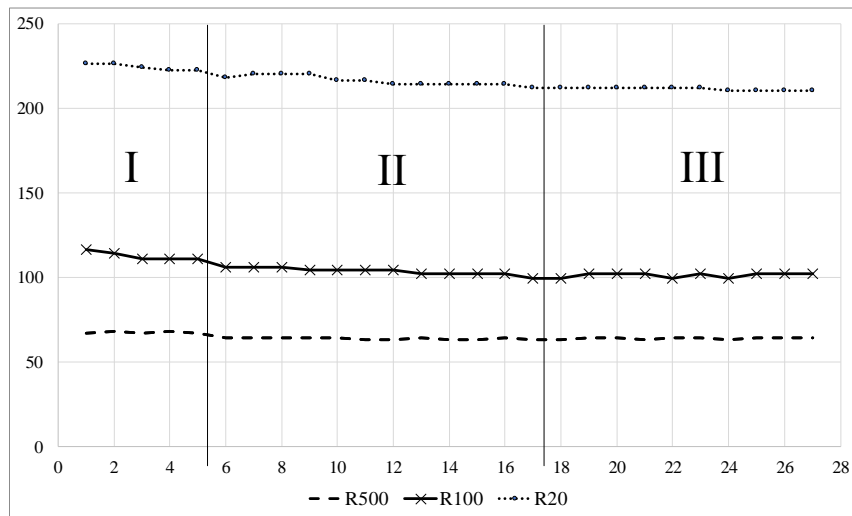


Рис. 2. Типові реалізації БІМ-сигналів для частот 20, 100 і 500 кГц

Вхідним сигналом при використанні розробленого методу [13] для активного моніторингу крововтрат буде являтися дискретизований БІМ-сигнал x_k на декількох частотах, наприклад, x_{20_k} , x_{100_k} і x_{500_k} , на частотах 20, 100 і 500 кГц відповідно. При цьому k – номер часового відліку, $i = 0..n$. Лінійно-перетворений сигнал, в нашому випадку першу похідну, позначимо dx_i .

Проведемо вейвлет-перетворення сигналу з вікном шириною b . Вибір материнського вейвлета і ширини вікна буде проведено в наступних роботах. У даній роботі використовувався вейвлет Морлей з шириною вікна 30. Результати вейвлет-перетворення сигналу і його лінійного перетворення будуть являти собою дві матриці коефіцієнтів $X_{i,j}$ та $dX_{i,j}$ [38].

Коефіцієнт міжспектральної кореляції (КМК) за здвигом матиме вигляд

$$RSM_j = \frac{\sum_{i=0}^{a-1} [(X_{i,j} - Mx_i) \cdot (dX_{i,j} - Mdx_i)]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (X_{i,j} - Mx_i)^2 \cdot \sum_{i=0}^{a-1} (dX_{i,j} - Mdx_i)^2}} \quad (1)$$

де $Mx_i = \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=0}^{b-1} X_i$, $Mdx_i = \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=0}^{b-1} dX_i$ - математичні очікування за масштабом вейвлет-коefficientів сигналу $X_{i,j}$ і його лінійного перетворення $dX_{i,j}$.

Розроблений метод дає можливість отримання додаткової інформації про нестационарності спектрів вищих порядків. Наприклад для спектра другого порядку (спектра потужності) коефіцієнт спектральної нестационарності по зрушенню матиме вигляд

$$RSD_j = \frac{\sum_{i=0}^{a-1} [(X_{i,j} - Dx_i) \cdot (dX_{i,j} - Ddx_i)]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (X_{i,j} - Dx_i)^2 \cdot \sum_{i=0}^{a-1} (dX_{i,j} - Ddx_i)^2}} \quad (2)$$

де $Dx_i = \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=0}^{b-1} (X_i - Mx_i)$,

$$Ddx_i = \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=0}^{b-1} (dX_i - Mdx_i).$$

На рисунку 3 приведені результати оцінки КМК (RSM , RSD) для частот 20, 100 і 500 кГц, розрахованих по рівнянням (1) і (2)

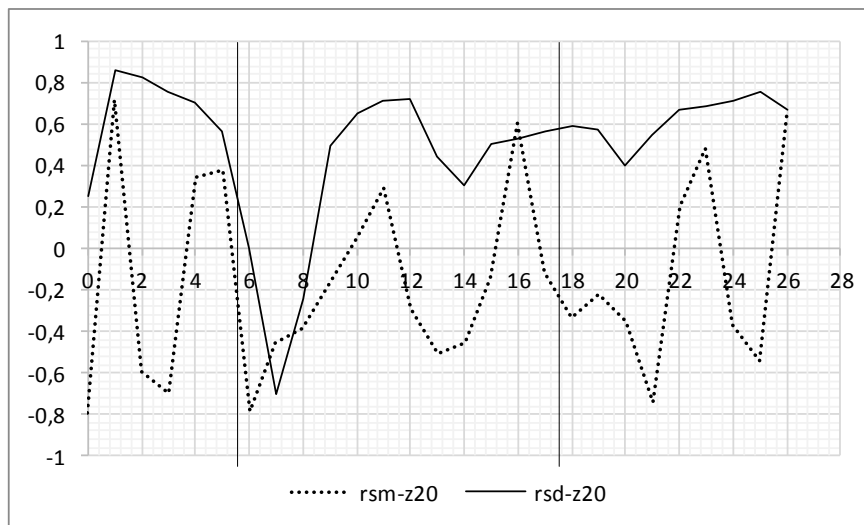


Рис. 3. Результати оцінювання КМК для частот 20, 100 і 500 кГц

На рисунку 3 показані залежності вихідного БІМ-сигналу (рис. 44, а) і інформативного параметра RSM (рис 44, б) від часу експерименту, зазначенням його фаз.

З рисунка наглядно видно, що фазі 2 (відбір крові) відповідає зменшення як КМК RSM так і КМК RSD . Те що, частоти БІМ-сигналу для цих КМК рознесені (20-500 кГц) говорить про те, що інформацію про появу фази 2 слід отримувати по БІМ-сигналам різних частот, з використанням КМК, що відповідають різним порядкам використовуваних вейвлет-спектрів. Об'єднання цих КМК можна виробляти, застосовуючи відомі процедури інформаційного резервування [45].

Вибір параметрів плану моніторингу крововтрат.

Планування експерименту по активному моніторингу наявності крововтрат є багатоетапним процесом, обов'язковими складовими якого є:

1. Планування метрологічної складової – вибір параметрів просторово-орієнтованої моделі системи первинних БІМ-перетворювачів.

2. Планування методичної складової, як процедури вейвлет-перетворення – вибір кількості масштабів при локально-невизначеній тривалості зсуву (вибір частоти дискретизації вимірювального сигналу).

3. Планування вибору інформативних параметрів з максимальною чутливістю до факторного впливу (КМК в просторі двох координат: частота БІМ-сигналу і порядок вейвлет-спектра). Для оцінки принципової можливості рішення перерахованих задач такого планування була проведена серія тестових активних (с детермінованими моментами початку та закінчення вибору об'єму крові) експериментів.

Для тестування відмінностей коефіцієнтів кореляції RSM , RSD для суміжних фаз експерименту (фази 1-2 і 2-3) був обраний стандартний тест на значимість [38], критеріальну T -статистику якого можна використовувати для кількісної оцінки ефективності варіантів вибору тих чи інших складових загального плану експерименту.

Критеріальна статистика для цього тесту обчислюється за рівнянням

$$T = \frac{z_1 - z_2}{s} \quad (3)$$

де $z_1 = 0.5 \ln((1+r_1)(1-r_1));$ (4)

$z_2 = 0.5 \ln((1+r_2)(1-r_2));$ (5)

$$s = \sqrt{\frac{2}{N-3}} \quad (6)$$

N - обсяг вибірки (для осі масштабу $N = 13376$, для осі зсуву $N = 13230$).

r_1 - значення КМК, відповідне станом θ_1 , а r_2 – станом θ_2 .

У таблиці 2 дані значення T -статистик для чотирьох пацієнтів з різними варіантами установки первинних перетворювачів БІМ-сигналів (пар електродів, встановлених на різних просторово-розділених ділянках тіла пацієнта).

Таблиця 2

Значення T -статистики для чотирьох варіантів просторового поділу електродів на тілі пацієнта (на частоті 20 кГц; КМК – RSM).

	Розташування	Умовна відстань	Значення	T -статистика. фаза 1-2
1	Третина лівого передпліччя – середина плеча лівої руки	d1	0,5711	-0,6101
2	Долоня – середина плеча лівої руки	d2	0,8139	не визначено
3	зап'ястя лівої руки – голеностоп лівої ноги	d3	3,3348	-0,5372
4	зап'ястя лівої руки – голеностоп правої ноги	d4	4,4575	-0,5974

Таблиця 2 складена з урахуванням ранжирування (щодо збільшення значення) геометричних відстаней між електродами, що відповідає умові

$$d_1 < d_2 \dots d_4. \quad (7)$$

З таблиці 2 видно, що найбільше значення T -статистики, несе інформацію про зміну КМК на межі двох фаз, максимально для відстані $d4$ ($T = 4,4575$). Ця відстань геометрично максимально і дозволяє обґрунтувати вибір варіанту розміщення датчиків на тілі пацієнта. Фактично, це задача планування метрологічної складової, пов'язана з умовною оптимізацією варіанту по максимуму цільової функції у вигляді T -статистики. Така оптимізація умовна, оскільки число початкових умов обмежено в даному варіанті кількістю пацієнтів, хоча загальне число варіантів прямує до нескінченності. Однак будь-яке обмеження варіантів дає можливість, наприклад, на основі таблиці 2 вибрати варіант, який близький до відомих біофізичних моделей, підкріпленим максимізацією T -статистики.

Для дослідження завдання планування методичної складової були проведені розрахунки середніх значень КМК по фазах експерименту (таблиця 3).

Таблиця 3.

Оцінки середніх значень КМК для частот БІМ-сигналів 20, 100 і 500 кГц.

Частота БІМ-сигналу	Фаза	<i>RSM</i>	<i>RSD</i>
20 кГц	1	0,4902	0,6089
	2	0,0315	0,4976
	3	0,1211	0,6704
100 кГц	1	0,3589	0,5648
	2	0,1653	0,5504
	3	0,0345	0,5715
500 кГц	1	0,3811	0,4979
	2	-0,0944	0,1582
	3	0,1817	0,51

Таблиця 3 наглядно показує занижене значення КМК для фази 2 по відношенню до фаз 1 і 3. Зменшення КМК для фази 2 вказує на зростання динаміки спектральної нестационарності БІМ-сигналу на інтервалі часу, відповідному цій фазі. Фактично початок крововтрати супроводжується зменшенням КМК по відношенню до попередньої фази (фази 1), а закінчення крововтрати призводить до збільшення КМК по відношенню до фази 2. У таблиці 3 тільки одне (затоноване) значення КМК (*RSM* для частоти 100 кГц і фази 3) можна вважати промахом.

З таблиці 3 можна отримати графічну інформацію про зміни КМК по фазах 1,2 і 3 експерименту. Таблиця 3 дозволяє досліджувати статистичну значущість обраного Т-критерію за фазами 1-2 і 2-3 експерименту для різних варіантів частоти БІМ-сигналу і різних значень масштабів вейвлет-перетворення. Таке дослідження еквівалентно дисперсійному аналізу випадкової моделі факторного впливу [39] а обсяг групованих багаторазових результатів вимірювань пропорційний числу зрушень дискретизованого безперервного вейвлет-перетворення.

Для обчислення Т-статистик по фазах 1-2 і 2-3 були використані два варіанти значень числа масштабів (ранжируваних по збільшенню), трьох варіантів частот БІМ-сигналу (Таблиця 4). Включення в цю таблицю параметрів *RSM* і *RSD* дозволяє оцінити (по максимуму Т-статистики) їх чутливість до факторному впливу (відбору крові), вирішуючи завдання планування вибору інформативних параметрів.

Таблиця 4

Значення Т-статистики по фазах експерименту, видам інформативних параметрів (коефіцієнтів *RSM* і *RSD*) і частот БІМ-сигналу

Частота	Перехід між фазами	<i>RSM</i>		<i>RSD</i>	
		a = 8	a = 20	a = 8	a = 20
20 кГц	1-2	3,334	5,2715	1,064	1,6823
	2-3	-0,537	-0,849	-1,5797	-2,4977
100 кГц	1-2	0,4362	0,6897	0,0521	0,0824
	2-3	0,7485	-0,1239	-0,1006	-0,159
500 кГц	1-2	3,276	5,1798	2,5559	4,0412
	2-3	-1,5749	2,4887	-2,2805	-3,6757

З таблиці 4 слідує що збільшення масштабу призводить до зростання Т-статистики, що збільшує чутливість будь-якого з досліджуваних КМК до зміни рівня впливаючого чинника (відбір крові з судинного русла). Ефект збільшення може бути доведений аналітично на базі рівняння (3), з урахуванням модифікації знаменника *S* у вигляді рівнянь по парам фаз (8)

$$\begin{cases} S_{1-2} = \sqrt{\frac{1}{n_1 \cdot a} + \frac{1}{n_2 \cdot a}} \\ S_{2-3} = \sqrt{\frac{1}{n_2 \cdot a} + \frac{1}{n_3 \cdot a}} \end{cases} \quad (8)$$

Особливістю рівнянь (8) є однаковий математичний вплив числа масштабів a на величину показника S , що дозволяє уявити критеріальну T -статистику в формі моделі

$$T = \frac{z_1 - z_2}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \cdot \sqrt{a} \quad (9)$$

Рівняння (9) наглядно демонструє, будь-яке збільшення числа масштабів підвищує чутливість обраного T -критерію до виявлення статистично значущих відмінностей в КМК по порівнюваним фазам експерименту, що дозволяє підвищувати ефективність планування методичної складової.

Таблиця 4 дає можливість якісного аналізу варіантів планування вибору інформативних параметрів з максимальною чутливістю до факторному впливу частоти БІМ-сигналу і порядок вейвлет-спектра. У таблиці контурно виділені пари T -статистик, відповідні рішенням

$$\gamma_1: \text{КМК сусідніх фаз статистично різні,} \quad (10)$$

а знак різниці між попереднім і наступним КМК позитивний (для фаз 1-2) і негативний (для фаз 2-3). Основна гіпотеза

$$\gamma_0: \text{різниці між КМК зрівнюваних фаз немає.} \quad (11)$$

Для рівня значимості $\alpha = 0,05$ значення критеріальної статистики рівне 1,645, що дозволяє приймати рішення γ_1 , якщо модуль T -статистики перевищує критичне значення. З таблиці видно, що максимальна кількість правильних рішень γ_1 відповідає частоті 500 кГц (3 пари правильних рішень) і коефіцієнту спектра другого порядку РСД (2 пари правильних рішень).

Висновки

Планування експерименту по активному моніторингу появи і припинення крововтрат має забезпечувати виконання таких рекомендацій:

1. Забезпечення максимального шляху проходження скануючого струму БІМ-сигналу, за рахунок вибору місць фіксації електродів за спрощеним варіантом «ліва рука- права нога»;
2. Частоту дискретизації БІМ-сигналу слід вибирати такий, щоб забезпечити число масштабів вейвлет-перетворень не менше 20;
3. При виборі несучої частоти БІМ-сигналу слід віддавати перевагу 500 кГц, а вибір КМК виробляти з використанням вейвлет-спектра другого порядку.

Проведені дослідження вказують на перспективність інформаційно-вимірювальної процедури контролю динамічних параметрів нестационарності БІМ-сигналів в задачах виявлення прихованих кровотеч. Особливо важливим є можливість автоматизації активного моніторингу в рамках вже існуючих комп'ютеризованих інформаційних систем медичного призначення. Така автоматизація базується на побудові плану біомедичного експерименту в якому використовується ковзне спостереження БІМ-сигналу за допомогою зведеного вікна спостереження. Таке вікно представляє два послідовних інтервали часу для кожного з яких обчислюється незалежне значення КМК (наприклад РСД), а порівняння цих КМК проводиться за допомогою T -статистики (3). Якщо в ході порівняння отримано рішення γ_1 згідно моделям (10, 11), то початок крововтрати відповідає позитивному знаку T -статистики, а закінчення крововтрати - негативного знаку. При цьому статистична значимість достовірного рішення буде не нижче 0,95, якщо кількість масштабів вейвлет-перетворення не менше 20.

Список використаних джерел:

1. Merry R.J.E., Steinbuch M. and van de Molengraft M.J.G. Wavelet Theory and Applications a literature study. Eindhoven Univer of Technol. Dep. of Mechanical Engin. Control Systems Technol. Group, 2005, 41 p.
2. Lee D.T.L. and Yamamoto A. Wavelet analysis theory and application. Hewlett-Packard Company. 1994, pp. 44-52.
3. Voskoboynikov Yu.E., Gochakov A.V., Kolker A.B. Filtratsii signalov i izobrazheniy: Fure i veyvlet algoritmyi (s primerami v Mathcad) [Filtering signals and images: Fourier and wavelet algorithms] Novosib. gos. arhitektur.-stroit. un-t (Sibstrin), 2010, 188 s. ISBN 978-5-7795-0519-2
4. Вказівки з воєнно-польової хірургії / С.А. Асланян [та ін.]; ред.:Я.Л. Заруцький, А.А. Шудрак; Військ.-мед. департамент МО України. –Київ: Чалчинська Н.В. – 2014. – 400 с.
5. Интенсивная терапия кровопотери, коагулопатии и гиповолемического шока при политравме [Текст] / И.А. Йовенко, Ю.Ю. Кобеляцкий, А.В. Царев [et al.] // Медицина неотложных состояний. – 2016. – № 4. – С. 64-71.

6. Хартиг В. Современная инфузионная терапия. Парентеральное питание / В. Хартиг. – М.: Издательство «Медицина», 1982. – 469 с.
7. Биоимпедансный анализ состава тела человека / [Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г.]. – М.: "Наука", 2009. – 392 с.
8. Mass Carrie Earthman Bioimpedance Spectroscopy for Clinical Assessment of Fluid Distribution and Body Cell / Mass Carrie Earthman, Diana Traughber, Jennifer Dobrat Wanda Howell // *Nutr Clin Pract.* August, 2007; 22 (4): 389-405.
9. Jaffrin M.Y. Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods // M.Y. Jaffrin H. Morel. –*Med Eng Phys.* – 2008 Dec. – № 30(10). – P. 1257 - 1269.
10. Kushner R.F. Estimate of total body water by bioelectrical impedance analysis / R.F. Kushner, D.A. Schoeller // *Am J Clin Nutr.* – 1986. – № 44. – P. 417- 424.
11. Gudivaka R. Single - and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments / R. Gudivaka, D. A. Schoeller, R. F. Kushner M. J. G. Bolt // *J Appl Physiol* 1999. – № 87. – P. 1087-1096.
12. Grimnes S. Bioimpedance and electricity basics / S. Grimnes, Ø.G. Martinssen. – Academic Press. – 2000. – P. 471.
13. Lukaski H.C. Validation of the bioelectrical impedance method to assess human body composition / H.C. Lukaski, W.W. Bolonechuk, C.B. Hall, W.A. Siders. // *J Appl Physiol.* – 1987. – № 60. – P.1327-1332.
14. Matthie J.R. Bioimpedance measurements of human body composition: critical analysis and outlook / J.R. Matthie // *Expert Review of Medical Devices.* – March 2008. – Vol. 5. – № 2. – P. 239-261.
15. Sun S.S Development of bioelectric impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. /S.S. Sun, W.C. Chumlea, S.B. Heymsfield, Henry C Lukaski, Dale Schoeller, Karl Friedl, Robert J. Kuczumski, Katherine M. Flegal, Clifford L. Johnson, and Van S. Hubbard. //*The American Journal of Clinical Nutrition.* – 2003. – № 77 – P. 331-340.
16. Николаев Д.В. Полисегментные методы в БИА. Обзор по материалам зарубежных публикаций. / Д.В.Николаев, С.В.Пушкин, Е.А. Гвоздикова, А.В. Смирнов // Шестая научно - практическая конференция. М.: Главный клинический госпиталь МВД России. – 2004. – С. 115 -127.
17. Heymsfield S.B. Multicomponent molecular level models of body composition analysis /S.B Heymsfield, Z.M. Wang, R.T. Withers // *Champaign, Human Kinetics.* –1996. – P. 129-48.
18. Matthie J.R. Second generation mixture theory equation for estimating intracellular water using bioimpedance spectroscopy /J.R. Matthie // *J. Appl. Physiol.* – 2005. – № 99. – P. 780-781.
19. Jaffrin M.Y. Total body water measurement by a modification of the bioimpedance spectroscopy method /M.Y. Jaffrin, M. Fenech, M.V. Moreno, R. Kieffer // *MedBioEng Comput.* – 2006. – № 44. – P. 873-882.
20. Moissl U.M. Body fluid volume determination via body composition spectroscopy in health and disease /U.M. Moissl, P. Wabel, P.W. Chamney, I. Bosaeus, N.W. Levin , et al. // *Physiol Meas.* – 2006. – № 27. – P. 921-933.
21. Sergi G. Accuracy of bioelectrical bioimpedance analysis for the assessment of extracellular space in healthy subjects and in fluid retention states /G. Sergi, M. Bussolotto, P. Perini, I. Calliari, et al. // *Ann Nutr Metab.* – 1994. – № 38 (3). – p. 158-65
22. Hannan W.J. Evaluation of multi-frequency bioimpedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients / S.J. Cowen, K.C. Fearon, C.E. Plester, J.S. Falconer, R.A. Richardson // *Clin Sci.* –1994. – №86. – P. 479-85.
23. Seoane Fernando Mean Expected Error in Prediction of Total Body Water. A True Accuracy Comparison between Bioimpedance Spectroscopy and Single Frequency Regression Equations / Fernando Seoane, Shirin Abtahi, Farhad Abtahi and et. // *BioMed Research International.* – 05.2015. – № 11. DOI: 10.1155.
24. Zink M. D. Feasibility of bioelectrical impedance spectroscopy measurement before and after thoracentesis / M.D. Zink , S. Weyer, K. Pauly, A. Napp and et. // *BioMed Research International* 2015. P. 9.
25. Ward L.C. Quantitative bioimpedance spectroscopy for the assessment of lymphedema / L.C. Ward, S. Czerniec, S.L. Kilbreath // *Breast Cancer Res treat.* – 2009. – № 117. – P. 541-7.
26. Ward L.C. Bioelectrical impedance analysis: proven utility in lymphedema risk assessment and therapeutic monitoring / L.C. Ward // *Lymphat Res Biol.* – 2006. – № 4. – P. 51-6.
27. Ward L. C. Operational equivalence of bioimpedance indices and perometry for the assessment of unilateral arm lymphedema. / L.C. Ward, S. Czerniec, S.L. Kilbreath // *Lymphat Res Biol.* – 2009. – №7. – P. 81-85.
28. King R.J. Bioelectrical impedance: a new method for measuring post-traumatic swelling /R.J. King, J.A. Clamp, J.W. Hutchinson, C.G. Moran // *J Orthop Trauma.* - 2007. – № 21. – P. 462-8.
29. Halter R.J. Electrical impedance spectroscopy of the human prostate / R.J. Halter, A. Hartov, J.A. Heaney, K.D. Paulsen, A.R. Schned // *IEEE Trans Biomed Eng.* – 2007 Jul. – № 54(7). – P.1321 - 1327.
30. Электроимпедансная томография / Пеккер Я. С., Бразилловский К. С., Усов В. Ю., и др.– Томск: Изд-во "НТЛ", 2004. –192 С.

31. Danilov A.A. Modelling of bioimpedance measurements: unstructured mesh application to real human anatomy / A.A. Danilov, D.V. Nikolaev, S.G. Rudnev, V.Yu. Salamatova, Yu.V. Vassilevski // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. – 2012. – V.27, №5. – P. 431-440.
32. Martinsen, O.G. Bioimpedance-Based Respiration Monitoring With a Defibrillator / O.G. Martinsen, B. Nordbotten, S. Grimnes, H. Fossan, J. Eilevstjønn // Biomedical Engineering, IEEE Transactions. – 2014. – P. 1858 - 1862.
33. Danilov A.A. Sensitivity field distributions for segmental bioelectrical impedance analysis based on real human anatomy / A.A. Danilov, V.K. Kramarenko, D.V. Nikolaev, S.G. Rudnev, V.Yu. Salamatova, A.V. Smirnov, Yu.V. Vassilevski // J. Phys.: Conf. Series. – 2013. – P.434 -437.
34. Deurenberg P. Multifrequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water / P. Deurenberg, A. Tagliabue, F.J.M. Schouten // Brit. J. Nutr. – 1995. – №3. – P. 349-358.
35. Nordbotten B.J. Methods for calculating phase angle from measured whole body bioimpedance modulus / B.J. Nordbotten, O.G. Martinsen, S. Grimnes. // International Conference on Electrical Bioimpedance. Journal of Physics /Conference Series. 2010. – № 224. – P. 1-4.
36. Hanai T. Theory of the dielectric dispersion due to the interfacial polarization and its application to emulsions / Kolloid-Zeitschrift 171. – 1960. – p. 23-31.
37. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента/ Джонсон Н., Лион Ф. - Пер. с англ. - М.: Мир, 1981. - 520 с.
38. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Пер. с англ. В.С. Занадворова; Под ред. и с предисл. Е.М. Четыркина. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с., ил.
39. Томашевский Р.С. Информационный анализ моделей планирования медико-биологического эксперимента при контроле. Ser.: New solutions in modern technologies. – Харків : НТУ "ХПИ", 2017. – № 53 (1274). – с. 45-52.
40. Щапов П.Ф. Інформаційна технологія статистичного управління процедурою ультрафільтрації при програмному гемодіалізі. / П.Ф. Щапов, Р.С. Томашевський, Б.В. Ткачук, В.М. Павлюк // ПНТУ Системи управління, навігації та зв'язку. ISSN 2073-7394. – № 1 (47). – Полтава, 2018. – ст. 153-159
41. Ткачук Б.В. Тезиси конференції молодих учених Южноукраїнського Національного університету ім. В.И. Даля. – Луганск. – 2012. – С. 293–294.
42. Yuxing Yang Design and preliminary evaluation of a portable devise for the measurement of bioimpedance spectroscopy / Yuxing Yang, J. Wang, Gang Yu, Feilong Niu and et. // Physiol. Meas. – 2006. – № 27. – P. 1293 -1310.
43. Ward L.C. Is 50 kHz the optimal frequency of measurement in single frequency bioelectrical impedance analysis? / Ward L.C., Stroud D.B. Proceedings of the XI International Conference on Electrical Bio-Impedance (Oslo), 2001. – 369 p.
44. Mosiychuk V.S. Bioimpedance Monitoring of Dialysis Patients During Ultrafiltration. / V.S. Mosiychuk, G.V. Timoshenko, O.B. Sharpan, B.V. Tkachuk // Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2016 IEEE XXXV International Scientific Conference, pp. 236-239
45. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы / П.П. Орнатский – Вища школа. – Киев, 1971. – 552 ст.

Рецензенти статті

Андрій Володимирович Кіпенський, Декан факультету соціально-гуманітарних технологій Національного технічного університету «ХПІ», професор кафедри промислової та біомедичної електроніки, науковий керівник лабораторії біомедичної електроніки, доктор технічних наук.

Олег Григорович Аврун, Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії (БМІ) Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ)

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018

УДК 004.738.1:004.91]:001.102

Б.П. Топорівський*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»***АНАЛІЗ РЕКОМЕНДАЦІЙ ВИКОРИСТАННЯ WEB MINING ДЛЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ДОБУВАННЯ ЗНАНЬ З ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ**

У даній роботі наводиться аналіз моделей, методів та алгоритмів пошуку інформації у неструктурованих джерелах, в інформаційному просторі організації, та рекомендацій, що до їх застосування. У якості методології пошуку було обрано web mining, адже, наприклад, метод повного перебору вимагає великих ресурсів обчислювальних систем і з кожним разом потребує все більше часу, через неймовірне зростання кількості інформації в Інтернеті, та зростання об'єму даних організації. Наводиться аналіз підходів та поглядів ряду вчених до методології web mining, рекомендацій, що до удосконалення існуючих алгоритмів, а також ставляться задачі подальших досліджень, у висновках.

Ключові слова: тематичний пошук, неструктурована інформація, машапи, web mining, релевантність, інформаційний простір організації.

Форм. 2. Рис.: 3. Літ.: 7.

Б.П. Топоровский*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»***АНАЛИЗ РЕКОМЕНДАЦИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ WEB MINING ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ**

В данной работе приводится анализ моделей, методов и алгоритмов поиска информации в неструктурированных источниках, в информационном пространстве организации, и рекомендаций, к их применению. В качестве методологии поиска было выбрано web mining, ведь, например, метод полного перебора требует больших ресурсов вычислительных систем и с каждым разом требует все больше времени, через невероятный рост количества информации в Интернете, и рост объема данных организации. Приводится анализ подходов и взглядов ряда ученых методологии web mining, рекомендаций, к совершенствованию существующих алгоритмов, а также ставятся задачи дальнейших исследований в выводах.

Ключевые слова: тематический поиск, неструктурированная информация, машапов, web mining, релевантность, информационное пространство организации.

В.Р. Toporivskyi*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"***ANALYSIS OF RECOMMENDATIONS OF APPLYING WEB MINING FOR DEVELOPING TECHNOLOGY TO MINE KNOWLEDGE FROM THE ORGANIZATIONAL INFORMATION SYSTEM**

The research paper deals with the analysis of models, methods and algorithms of the information search in unstructured sources, in the information space of the organization, and the recommendations for their application. Web mining was chosen as a search methodology, because, for example, the method of full search requires huge computing resources, each time requiring more time due to the incredible increase in the volume of information on the Internet, and the growth of the organization's data volume. An analysis of the approaches to and views of a number of scholars on the web mining methodology, recommendations for improving existing algorithms are provided, as well as the tasks of further research are set in the conclusions.

Keywords: thematic search, unstructured information, mash-ups, web mining, relevance, information space of the organization.

Вступ. У наш час пошук релевантної до запиту інформації має три основні проблеми: формування запиту пошуку (терміни та їх зв'язки у запиту); оцінювання результатів на релевантність (міра, одиниці вимірювання); прискорення виконання операцій пошуку (пошук у індексованих кластерах).

Існуючі рішення, що існують для вирішення цих проблем є наступними: пошукові системи з прихованою індексацією; оптимізація контенту веб-ресурсів організації для пошукових систем; структуризація шаблонів побудови веб-ресурсів.

Аналіз останніх досліджень.

В існуючих технологіях, наведені рішення реалізуються з використанням одного з існуючих методів: видобуток на базі покращення процедур аналізу веб-контенту, видобуток на базі

покращення процедур аналізу структур веб-ресурсу, що стосується інформаційного простору організації; видобуток на базі покращення процедур аналізу самої процедури пошуку.

У даній проблематиці актуальними є роботи Г.Г. Асєєва, де він аналізує стислу модель алгоритму web mining, а також описує математичну модель машинного навчання інформаційних систем для роботи з web mining [1-3]. С.В. Царькова [7], де він описує на які особливості роботи користувача з сайтом, в першу чергу, повинен звертати увагу засіб, на якому реалізований web mining. Ю.О. Серова [5] у яких він дає розгорнуту характеристику алгоритму web mining. Петренко А.І. [4] де, крім алгоритму web mining описаний метод машап, побудований на аналізі інформації з кількох джерел одночасно.

Постановка задачі досліджень. Пропонується організувати процедури пошуку, які персоналізовані за темою з використанням інтелектуального аналізу двох складових:

- структур веб-ресурсу (шаблони тематично згрупованої інформації)
- порядку роботи з гіперпосиланнями до веб-ресурсів (послідовальність головної - підпорядкований).

Всі розрахунки оцінок релевантності засновуються на "важливості" (логічні змінні).

Технологія процедур пошуку базується на технологіях web mining.

Мета статті. У даній роботі пропонується проведення аналізу методів та моделей пошуку тематичної інформації, що базуються на використанні методів web mining, адже метою подальших робіт роботи є розробка інформаційної технології добування знань інтегрованою інформаційної системи організації, на основі методів web mining.

Виклад основного матеріалу. Автор робіт [1-3] Г.Г. Асєєв пропонує, розглядаючи основні етапи отримання результату в web mining, враховувати специфіку інформаційного простору організації, за допомогою наступної моделі:

1. Накопичення спеціальних даних (логи, спеціально зібрана статистика користувача та ін.).
2. Попередня обробка даних. Оскільки зібрані дані характеризуються значним ступенем зашумленості, вони потребують очищення.

Дана процедура також необхідна, у зв'язку з тим, що у таких даних часто зустрічаються посилання, на фішингові сайти, при переході на які, ці дані можуть бути перехоплені або знищені, що особливо небезпечно для інформаційного простору організації.

На думку Г.Г. Асєєва, найважливішими критеріями при виборі місця очищення є стійкість і ефективність методу[1-3].

3. Обробка і аналіз даних. Застосування конкретних методів (з урахуванням поставленої задачі) для отримання практичних результатів, аналіз адекватності та застосовності отриманих результатів.

4. Інтерпретація отриманих результатів і їх перенесення на основу бізнес-завдання, в залежності від характеру поставленої задачі та термінів її виконання.

Всі вищеописані дії можуть, як вважає Г.Г. Асєєв, відбуватися протягом одного сеансу роботи співробітника організації з веб-додатком з «підлаштуванням» цього додатка під запити користувача, або аналіз може виконуватися періодично, на основі дій великої кількості співробітників організації (аналіз ефективності різних блоків сайту)[1-3].

На думку С.В. Царькова [7], при використанні web mining, особливу увагу потрібно приділяти безпеці інформаційного простору організації. Необхідні для аналізу дані знаходяться в логах серверів і cookie-файлах. При завантаженні веб-сторінки браузер також буде відвантажувати всі вставлені в неї об'єкти, наприклад графічні файли. У зв'язку з цим виникає проблема з тим, що сервер додає в журнал запису про кожен такий запит. Звідси впливає необхідність попередньої обробки даних. Після того як виділені окремі перегляди сторінок співробітниками організації, їх об'єднують в сесію.

Як тільки дані були очищені і підготовлені для аналізу, необхідно задатися наступними питаннями:

1. Яка сторінка є загальною точкою входу для співробітників? Заходять співробітники на сайт через спеціально передбачену розробниками сторінку або ж вони відразу потрапляють на інші сторінки?

2. У якому порядку проглядалися сторінки? Чи відповідає цей порядок тому, який очікують від користувачів розробники?

3. Які інші веб-портали направляють користувачів на досліджуваний сайт? Які сайти відвідує найбільше і найменше число користувачів?

4. Як багато сторінок зазвичай переглядає користувач? Якщо користувачі йдуть з сайту після перегляду невеликого числа сторінок, то, можливо, варто зробити дизайн більш дружнім.

5. Як довго відвідувачі перебувають на сайті? Якщо цей час менше того, який очікують розробники, то варто знайти причини.

6. Яка сторінка є найбільш частою точкою догляду користувачів з сайту? Чому саме з цієї країни відвідувачі залишають сайт? Чи є вона спеціально передбаченою для цього або є якісь причини, які відлякують користувача з сайту? [7]

З роботи Ю.О. Серова [5] випливає, що web mining – це застосування алгоритмів і моделей притаманних для data mining, щоб оптимізувати автоматичний пошук і отримання (extraction) інформації з інформаційного простору організації. Ця галузь має досить великий науковий і практичний інтерес, через стрімке зростання кількості інформації, яка з'являється в Інтернет і великою великим інтересом в електронній комерції (e-commerce).

На думку Ю.О. Серова [5], web mining складається з наступних складових:

1. Пошук ресурсів – це знаходження відповідних веб-документів у інформаційному просторі організації. Знаходження ресурсів – це процес знаходження і вибору даних з текстових джерел, які містяться у інформаційному просторі організації: таких як тематичні новини, сайти новин, текстове наповнення гіпертекстового контенту з встановленням тегів, а також вибірка веб-ресурсів самим співробітником організації. До ресурсів також належать текстові ресурси прямого ефіру, джерела для науковців, бази даних бібліотек тощо.

2. Фільтрацію (Selection) інформації і попередню її обробку – автор [5] розуміє, як автоматичну вибірку і попередню обробку інформації із знайдених веб-ресурсів організації.

3. Узагальнення (Generalization) він розуміє, як автоматичне знаходження загальних закономірностей (pattern), як на окремих Веб-сайтах, так і на множині сайтів.

4. Аналіз, на думку автора – це перевірка і / або інтерпретація знайдених закономірностей. Web mining тісно пов'язаний з машинним навчанням і аналізом даних. Також Web mining часто асоціюється з пошуком інформації (Information Retrieval) та видобуванням інформації (Information Extraction), хоча насправді це не те саме.

Порівнюючи погляди двох авторів на алгоритм web mining, можна зробити висновок, що Г.Г. Асеев дає більш стисло характеристику алгоритму Web mining, що орієнтована на спеціалістів, які займаються в області бізнес-проектів, що пов'язані з обробкою великих тестових даних та / або роботою з хмарними обчисленнями.

Пояснення ж Ю.О. Серова, відповідно до даного алгоритму, більш зрозумілі початківцям, що хочуть займатися дослідженнями в області пошуку неструктурованої текстової інформації в інформаційному просторі організації. Пояснюючи кроки даного алгоритму, автор вводить ряд додаткових термінів, що дають більший рівень розуміння процесу пошуку текстової інформації за допомогою web mining.

У роботі [4] Петренко А.І. описує web mining наступним чином – web mining можна перекласти як «здобич даних у Web». Web здатний визначати індивідуальні особливості кожного користувача сайту організації, спостерігаючи за динамікою його користування інформаційним простором, що додає досить потужні бонуси на ринку електронних послуг. Системи web mining здатні знаходити багато закономірностей, наприклад, який з відвідувач є потенційним клієнтом інтернет-магазину, клієнти якої направленості приносить найбільший прибуток, які інтереси покупця або групи покупців.

Виходячи з роботи [4] Петренко А.І., технологія web mining має достатній набір алгоритмів та моделей здатних, на основі оформлення сайту організації, знайти нові, раніше невикористані елементи, щоб далі застосовувати їх при створенні інтерфейсу. Іншими словами, технологія web mining заснована на технології data mining для аналізу неструктурованої, неоднорідної, розподіленої і значної за об'ємом інформації, що міститься на Web-вузлах.

При розгортанні web mining, для впорядкування інформаційного простору, перед співробітниками IT-відділу організації виникає дві проблематики: перша – накопичення інформації, другий – розробка моделей та методів ідентифікації користувача. У підсумку накопичення певної кількості персоніфікованих ретроспективних даних про відповідного відвідувача, система формує набір його вподобань і може надавати йому, наприклад, банери з рекламою продукції, що його цікавить. На основі інформації про всіх відвідувачів сайту web-система може виявити групи відвідувачів і також рекомендувати їм товари або ж пропонувати товари в розсилках [4].

Автор [4] також відмічає, що в останні роки з'явилися Web-додатки типу Машап (від англ. mash-up — «змішувати»), у яких збираються дані з декількох джерел, серед документів організації. Будуються вони на основі комбінування діяльності різних програмних інтерфейсів і джерел даних.

Машапи вже застосовуються як:

- сервіси агрегування (інформацію з різних джерел інформаційного простору організації розміщують в одному місці);
- збирачі даних (із даних з різних джерел створюють новий сервіс (тобто агрегування));
- контролери змісту (відслідковують, фільтрують, аналізують та дозволяють пошук сервісів);
- сервісні збирачі. [4]

Webmining і пошук інформації (Information Retrieval). Пошук інформації (Information Retrieval – IR), за Ю.О. Серовим [5] – це автоматичне знаходження усіх релевантних документів інформаційного простору організації і водночас мінімізація не релевантних документів серед знайдених, а також рангування знайдених документів за мірою релевантності. Первинна мета IR – індексування текстів і пошук важливих документів.

Сучасні дослідження також відносять до IR моделювання, класифікацію документів організації, інтерфейси співробітників та клієнтів організації, візуалізацію даних, фільтрування тощо. Якщо вважати, що web mining – класифікація веб-документів з подальшою індексацією, то тоді web mining є частиною процесу IR. У будь-якому випадку задачі індексування використовують методи data mining.

Така думка Ю.О. Серова є досить критично, адже web mining лише у даному випадку можна вважати частиною Information Retrieval. У web mining є й інші задачі, що пов'язані з відслідковуванням поведінки користувача, а не тільки пошуку та індексації документів. Тому твердження автора, яке він вважає абсолютним, діє лише тоді, коли web mining застосовується лише зі сторони веб-контенту, без прив'язки до дій користувача, а тим більше оцінки діяльності певних груп користувачів, за спільними інтересами та уподобаннями.

Категорії Web mining. На думку Ю.О. Серова [5], web mining складається з 3 категорій, відносно до частин Веб, з якими можна проводити дослідження: дослідження веб-контенту інформаційного простору організації (web content mining), дослідження структури веб (web structure mining), дослідження діяльності відвідувачів (користувачів інформаційного простору організації) (Web usage mining).

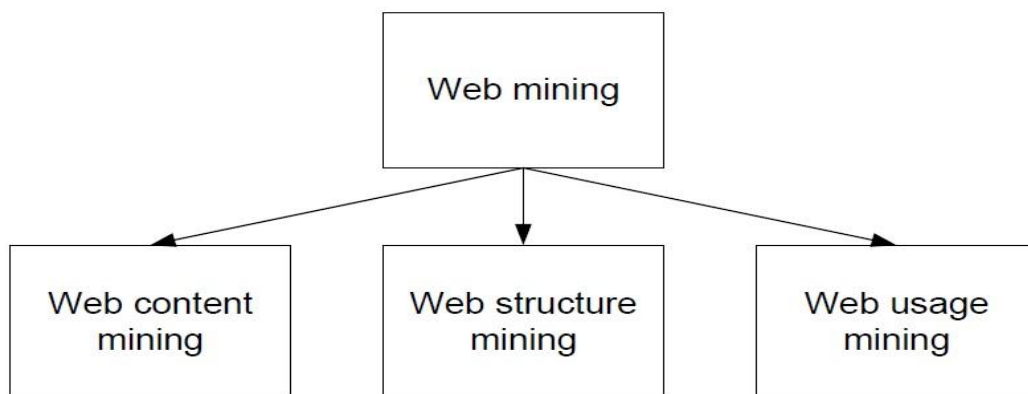


Рис. 1. Категорії web mining [8]

Дослідження вмісту Веб (Web content mining)

Загальний опис Web content mining. На думку автора [5], web content mining займається пошуком актуальної інформації у веб-документах і даних інформаційного простору організації, які містяться у веб, для того, щоб надалі видавати клієнту чи співробітнику той результат, який відповідає його уподобанням.

Web structure mining. Займається проблемою аналізу інтерфейсу сайту організації. Відслідковується, які елементи сайту подобаються клієнтам чи співробітникам організації краще, а які ні. І навіть, якщо після того web content mining підібрав, для клієнта те, що йому подобається,

він може не звернути на це увагу через «недружній інтерфейс» того чи іншого сайту, тому між ними потрібна синхронізація, ще перед відправку «на гору» (відносно схеми рис.1), результатів роботи, на відміну від аналогічної схеми у роботі [5], де такої синхронізації немає.

Точно так само, як робота web usage mining, взагалі, без синхронізації з результат атами двох попередніх, не можлива. Адже, якщо результати будуть аналізуватися лише у центральному вузлі «web mining», то кожен з 3 складових, видасть лише результати своєї діяльності, синхронізувати які між собою можна буде лише за мітками часу. А це може дати лише чіткі відповіді на запитання «коли?» і «де?», але далеко не завжди на питання «чому?».

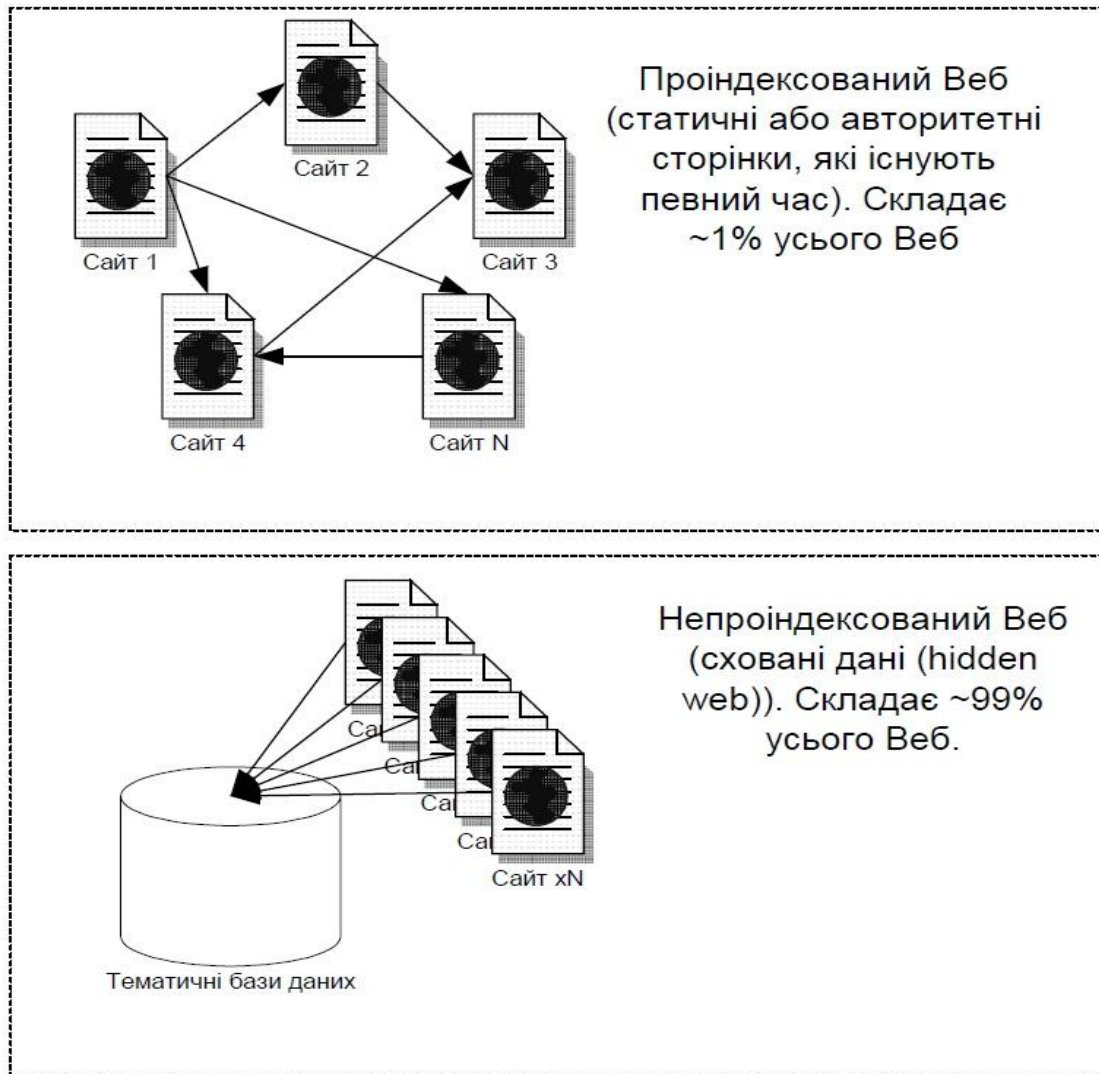


Рис. 2. Проблема схованих даних у WWW [5]

На рис. 2 показано, що значно збільшилася б ефективність пошуку, якщо б сайти не індексувалися б лише у базі даних інформаційного простору організації, а кожен сайт також містив би мітки на хоча б на декілька сайтів, що схожі за тематикою, то процес пошуку був би значно ефективнішим

Також Ю.О. Серов [5] виділяє, що у веб багато “прихованих” даних (hiddenweb), що не підлягають індексації. Це дані, котрі згруповані у базах даних за інтересами і генеруються в динаміці, згідно з тим чи іншим запитом до СУБД (наприклад, бази даних географічних карт, прогнозів погоди, телефонні довідники тощо) або є приватними.

Прихованими є також дані на авторитетних сайтах, які ще не були проіндексовані (форуми, чати, сайти інформаційних агентств). Об’єм схованих даних становить приблизно 7500 терабайт інформації.

Тому основне завдання web content mining – видобування знань з усіх даних, які містяться у веб.

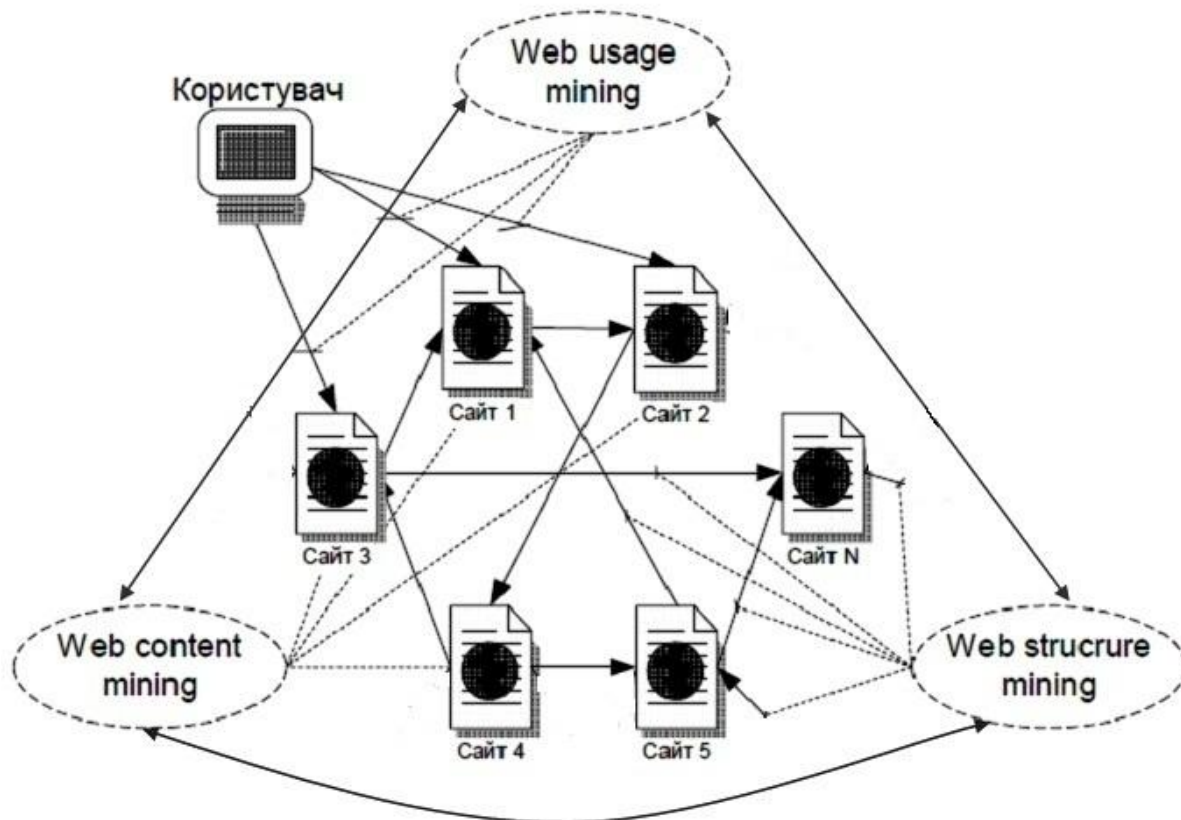


Рис. 3. Поділ web mining за частинами Веб, які досліджуються

На рис. 3 подано схему, що показує роботу схеми на рис.1 в динаміці, при взаємодії сайтів з співробітником. Тут також відображений зв'язок між відвідуваними сайтами та співробітником організації, але всі 3 компоненти web mining працюють синхронно, у порівнянні з роботу [5], де вони працюють окремо один від одного.

Методи Web Mining. На думку Г.Г. Асеева [2-3], галузі обробки веб-даних інформаційного простору організації використовується досить велика кількість різних моделей і алгоритмів обробки даних. Слід зазначити, що такі методи повинні забезпечити високий рівень стійкості, оскільки дані досить суттєво зашумлені, можуть вимірюватися в різних системах (дискретні, безперервні, текстові, дати і т.д.) і з досить великим діапазоном значень.

Г.Г. Асеев [2-3] наводить приклад, у якому методи класифікації інформаційного простору використовуються для виділення груп співробітників організації і надання кожній з них особистого контенту, що цікавить саме її. Ряд моделей та алгоритмів пошуку асоціацій використовуються для виявлення найбільш відповідних патернів в поведінці користувачів з метою визначення найбільш важливих сторінок і ресурсів сайту, скорочення шляху до них і видалення непотрібного «інформаційного сміття» зі сторінок.

Іншими словами, Г.Г. Асеев, відповідно до ієрархії компонентів web mining Ю.О. Серова, тут описує webusagemining, що базується на методах та алгоритмах відслідковування поведінки співробітника або групи співробітників організації за службовими інтересами.

Методи та алгоритми обробки текстових документів з інформаційного простору організації (Textmining) застосовуються для отримання документів, що пройшли відбір по групам за змістом і знаходження ідентичних за змістом сторінок. Наприклад, це застосовується у системах штучного інтелекту для відбору новин, налаштовані на отримання всіх посилань з усіх новинних сайтів і т.д.

Класифікація з навчанням. Нехай є набір об'єктів, кожен з яких належить одному з m класів. Як приклад Г.Г. Асеев [2-3] приводить базу клієнтів банку (як приклад користувачів інформаційного простору організації), які можуть бути віднесені до класів сумлінних або недобросовісних позичальників, або безліч солдат на фотознімку, які можна розділити на 2 групи, за характерними ознаками армій сторін конфлікту. Задачею класифікації з навчанням є складання алгоритмів, за якими для будь-якого об'єкта можна з великою імовірністю визначити клас, до якого відноситься той чи інший об'єкт. Так само і для відвідувачів сайту, які розподіляються на групи, наприклад, інтернет-магазину теж реалізується алгоритм, за яким покупцеві, при

авторизації, з початку пропонуються товари, які вони найбільше купують, або якими найбільше цікавляться.

У своїх роботах Г.Г. Асєєв [2-3] пропонує наступну модель визначення приналежності до того чи іншого класу: нехай x_1, \dots, x_k – атрибути об'єкта (вікова категорія користувача, стать, група улюблених товарів тощо), m – число класів (групи товарів, послуг, музичних композицій, книжок тощо), які об'єднані під ті чи інші атрибути користувачів x_1, \dots, x_k або їх поєднання. В результаті класифікації повинна бути отримана деяка функція

$$f(x_1, \dots, x_k),$$

значення якої належить $\{1, \dots, m\}$, і надає унікальний ідентифікатор класу, до якого відноситься об'єкт з атрибутами x_1, \dots, x_k .

На вибір дослідника представляється певна кількість об'єктів, у яких ідентифікатор, що задає приналежність до певного класу, вже відомий. Даний набір об'єктів може бути використаний для навчання моделі, тобто підбору унікальних ознак для моделі, і для випробувань побудованої моделі класифікації.

Класифікація з навчанням виділяє такі стадії:

Підготовка даних. Наявний набір об'єктів з відомими ідентифікаторами класів розбивається на 2 частини: навчальну вибірку і тестову вибірку.

Бажано, щоб це розбиття було вироблено випадковим чином. Найчастіше навчальна вибірка має розмір більше, ніж тестова.

Навчання моделі. Параметри моделі класифікації підбираються на основі навчальної вибірки таким чином, щоб домогтися максимальної відповідності умовам між передбаченими і фактичними ідентифікаторами класів.

Тестування моделі. Отримана в результаті навчання модель досліджуються на відповідність.

Для чого проводяться обчислення відсотку невірних результатів класифікації об'єктів з тестової вибірки.

Класифікація з навчанням має безліч випадків практичного застосування, наприклад, в таких областях, як кредитування, медична діагностика, прогноз доходів, маркетинг та інші задачі, що стосуються обробки даних в інформаційному просторі організації [2-3].

Матричний латентно-семантичний аналіз. Цей метод базується на кластерному аналізі LSA/LSI, що побудований на сингулярному розкладанні матриць. Представимо матрицю A , як рядки, кожен елемент яких, відповідає тому чи іншому документу, а стовбці набору вагових значень термів із множини m [6].

Сингулярне розкладання матриці, що має ранг r та розмірністю $m \times n$, є наступний вираз:

$$A = S \times U \times V,$$

де U та V – ортогональні матриці, що мають розмірності $m \times r$ і $r \times n$, а S – матриця діагональних елементів, усі з яких є позитивними, вони є сингулярними значеннями матриці A . Матриця S є квадратною, на відміну від матриці A . Приведений приклад розбиття матриці має властивість, що матриця S , якщо її залишити лише k найбільш сингулярних значень, а в матрицях U та V тільки ті колонки, що відповідають цим значенням, то матриця A буде найоптимальнішою апроксимацією по Фробеніусу, та буде мати ранг k , який не більше r [6].

Згідно з методом LSA, лише k максимальних сингулярних значень матриці A , створюють k -мірний факторний простір, відповідно до якого, проектуються як документи (матриця V), так і терміни (матриця U). У підсумковому факторному просторі документи і терміни групуються в масиви (кластери), що мають деякий загальний сенс, не заданий в явному вигляді, тобто латентний [6].

Вибір оптимального значення k для LSA – це проблема наступних досліджень. В ідеалі, значення k має бути досить велике для відображення усієї реально існуючої структури даних, але в той же час досить мале, щоб не враховувати випадкових залежностей [6].

Висновки та задачі подальших досліджень.

1. Проаналізовано існуючі рекомендації, що до вилучення знань з текстів, що знаходяться в межах інформаційного простору організації, на основі web mining.

2. Розглянуто та проаналізовано погляди науковців, що до алгоритму роботи web mining та їх оцінку можливостей даної технології, з погляду на пошук та аналіз текстових даних в інформаційному просторі організації.

3. Проаналізовано математичну модель класифікації з навчанням та латентно-семантичного аналізу, що описують метод web mining.

Великий об'єм інформації що циркулює в інтегрованих інформаційних системах організації, а також її низька структурованість та семантична неузгодженість зумовлюють необхідність розвитку технологій автоматичного вилучення інформації з тексту. Перспективним підходом у вирішенні даної проблеми може бути використання методів та алгоритмів інтелектуального аналізу даних. А саме технології Web Mining, що застосовує технологію Data Mining для аналізу неструктурованої, неоднорідною, розподіленої і значної за обсягом інформації, що міститься на Web-вузлах.

Пропонується вдосконалити роботу в інформаційному просторі організації та спроектувати підсистему інформаційного пошуку та видобування знань застосувавши категорій Web Mining:

- Попередня обробка даних для Web Mining.
- Виявлення шаблонів і відкриття знань з використанням асоціативних правил, тимчасових послідовностей, класифікації та кластеризації;
- Аналіз отриманого знання.

Нажаль, на сьогодні жодна з інтелектуальних систем класифікації знань не володіє методами, що можуть сказати до якого виду відносяться ті чи інші дані, тому для формування знань та навичок, у процесі використання того чи іншого матеріалу інформаційного простору організації, не підходять, розпізнаючи лише ті чи інші ключові слова та / або словосполучення, не беручи до уваги їх сенс (дата, номер телефону, число, прізвища, імена і по батькові людей).

Тому у подальших дослідженнях ставляться наступні задачі, що потребують вирішення, а саме:

- Дослідити можливість використання методів web mining в моделях добування знань з текстових потоків.
- Вдосконалити інформаційну технологію формування інформаційного простору організації та спроектувати підсистему інформаційного пошуку та видобування знань.
- Результати дослідження пропонується реалізувати в вигляді веб-додатку, що здійснює моніторинг інформації в середовищі інформаційного простору організації.

1. Асеев Г.Г. Методы интеллектуальной предобработки данных в электронных хранилищах / Г.Г. Асеев // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2010. - №2(23). – С. 106-111.

2. Асеев Г.Г. Методы интеллектуального анализа данных в электронных хранилищах: генетические алгоритмы / Г.Г. Асеев // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2011. - №2(25). – С. 82-86.

3. Асеев Г.Г. Нейросетевой анализ непрерывных потоков данных из электронных хранилищ / Г.Г. Асеев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вип. 4(111). – С. 52-56.

4. Петренко А.І. Grid та інтелектуальна обробка даних data mining / А.І. Петренко // Системні дослідження та інформаційні технології, 2008. – № 4. – С. 97-104.

5. Серов О.Ю. Технології пошуку та видобування даних у www (аналіз проблеми) / О.Ю. Серов // Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. – С. 276-286. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/9419/1/27.pdf>

6. Токман М.В. Моделі і методи поліпшення релевантності пошуку текстових документів / М.В. Токман, В.В. Сокол, Н.С. Лесна // Системи обробки інформації, 2012, випуск 5 (103). – С. 109 – 113

7. Царьков С.В. Web Mining: анализ использования веб-ресурсов, обработка веб-лога [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://basegroup.ru/community/articles/web-usage-mining-part1>

Стаття надійшла до редакції 31.01.2018

УДК 621.762:664.002

E. Shtefan¹, A. Mikhailov¹, O. Mikhailov², B. Pashchenko¹¹National University of Food Technologies²Frantsevitch Institute for Problems of Materials Science of NASU

NUMERICAL MODELING OF POWDERED MACHINE PARTS MANUFACTURING FOR FOOD INDUSTRY EQUIPMENT

The powder forming process of stamping powder machine parts for food industry machines and devices is considered. The computer simulation method for such products design is proposed. The blank shape changing during deformation as well as the density and equivalent plastic deformations distributions are determined.

The analysis of stamping blanks of two types there is conducted. It is shown that the presence of material radial flow leads to accumulated plastic deformations increasing level and as a result, it allows obtaining products with increased exploitation characteristics.

Keywords: numerical modeling, powdered machine parts, the mathematical model

Є.В. Штефан, А.О. Михайлов, О.В. Михайлов, Б.С. Пашенко

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПОРОШКОВИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Методом комп'ютерного моделювання імітується процес штампування порошкових деталей, що застосовуються в машинах і апаратах харчової промисловості. Визначено зміну форми заготовки в процесі деформування, а також розподіл щільності і еквівалентних пластичних деформацій по її об'єму. Проведено аналіз штампування заготовок двох типів. Показано, що наявність радіальної течії призводить до підвищення рівня накопичених пластичних деформацій матеріалу і, в результаті, дозволяє отримувати вироби з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: чисельне моделювання, порошкові деталі машин, математична модель

E.В. Штефан, А.О. Михайлов, О.В. Михайлов, Б.С. Пашенко

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Методом компьютерного моделирования имитируется процесс штамповки порошковых деталей, применяемых в машинах и аппаратах пищевой промышленности. Определено изменение формы заготовки в процессе деформирования, а также распределение плотности и эквивалентных пластических деформаций по ее объему. Проведен анализ штамповки заготовок двух типов. Показано, что наличие радиального течения приводит к повышению уровня накопленных пластических деформаций материала и, в результате, позволяет получать изделия с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: численное моделирование, порошковые детали машин, математическая модель

Introduction. Formulation of the problem. Ensuring of high-tech equipment working possibility for the food industry (diffusion equipment, transport systems, extruders, etc.) substantially depends on the availability of sufficient spare parts [1]. To such details it is possible to carry bronze loose leaves of internal supports and external bearings of standard and repair sizes, bronze labyrinth seals of internal supports and etc. (Fig.1 a, b).

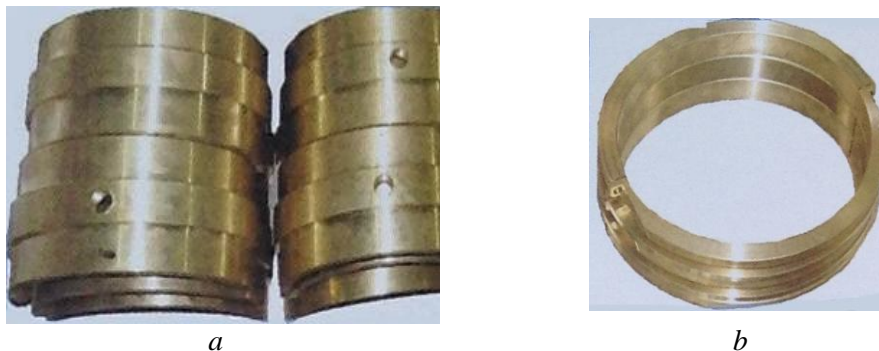


Fig. 1. Bronze inserts (a) and seals (b)

Therefore, there is an important problem high exploitation resource-saving technologies design for a wide range of products manufacturing with specified technical requirements.

At present days, one of the perspective methods products manufacturing is the powder stamping blank. The porosity presence is the main characteristic feature of such products. At the same time, one of the rational variants for the blank selection is expedient to consider sintered powder specimen. Such specimen can be able to with-stand tensile stresses. Therefore, they can be processed with more complex deformation schemes using, for example – in unclosed volumes. The using of such processing schemes makes it possible to realize maximum shear deformations, which in order a practically non-porous material obtaining with high operational properties [2].

The other finite parameters of material products also depend on the deformation scheme such as microstructure, ductility and toughness. The shear deformations presence leads to the material properties improvement. This is due to the minimum porosity, favorable orientation of metallic grains, non-metallic inclusions and pores, the texture appearance. We have the variant without texture forming – postpressing scheme (without significant material flow).

The effective deformation schemes design and optimal technological powder specimen parameters determination is possible on the base of preliminary computer modeling.

The mathematical model construction of porous specimen pressing process. We are considering the porous material as a two-phase dispersed system with a gas dispersion medium. This leads to the assumption that the relative motion of these phases is absent. For such environments it is expedient to use the assumption that the separation between phases is neglected by averaging the characteristics of the disperse medium (density, velocity, stress) [2].

Thus, upon the averaging technology, the safely motion amount equation for disperse material takes the form [3]:

$$\rho \frac{du}{dt} + \text{grad}(pu \cdot u) - \text{grad}\sigma - pg = 0 \quad (1)$$

where ρ is the average density of the mixture; σ – stress tensor in the mixture; u – displacements vector of mixture points; g – gravitation acceleration vector.

The constitutive relations formulating that connect the stress on a material and deformation parameters at the, we assume that the deformation rate is represented as:

$$\mathcal{E}_{ik} = \mathcal{E}_{ik}^e + \mathcal{E}_{ik}^i \quad (2)$$

where $\mathcal{E}_{ik}^e, \mathcal{E}_{ik}^i$ respectively, the elastic and inelastic parts of the strain rate tensor.

The elastic component in equation (2) is presented in the form of Hooke's law:

$$\mathcal{E}_{ik}^e = \frac{1+\nu}{E} (\sigma_{ik}^e + \frac{\nu}{1+\nu} \sigma_{ik} \delta_{ik}) \quad (3)$$

where E is the Young modulus, ν – the Poisson coefficient, δ_{ik} – the Kronecker delta.

The inelastic component is represented as [3]:

$$\mathcal{E}_{ik}^i = \mu(\Phi) \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{ik}} \quad (4)$$

The isotropic disperses material of deformation masses transition from the reverse to the irreversible states can be represented by potential Φ [4]:

$$F = \frac{(p - p_0)^2}{\psi} + \frac{\tau^2}{\varphi} - \tau_s^2 = 0 \quad (5)$$

where p_0 is the spherical component of the stress tensor at which the volume does not change. The semiaxis size of the ellipsoidal contour is assumed:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \psi = \psi_1 & \text{at } p \leq p_0 \\ \psi = \psi_2 & \text{at } p \geq p_0 \end{array} \right. \quad (6)$$

The material functions values, φ , ψ and p_0 are determinate by [4, 5]:

$$\varphi = \frac{1}{(1+m)^2} \cdot (1-\theta)^3 \cdot (1-|2 \cdot a - 1|)^2 \quad (7)$$

$$\psi_1 = \frac{8}{3} \cdot \frac{(1-\theta)^4}{\theta} \cdot \frac{(1-a)^2}{(1+m)^2} \quad (8)$$

$$\psi_2 = \frac{8}{3} \cdot \frac{(1-\theta)^4}{\theta} \cdot \frac{a^2}{(1+m)^2} \quad (9)$$

$$p_0 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \tau_s \cdot \frac{(1-\theta)^2}{\sqrt{\theta}} \cdot \left(\frac{1-m-2 \cdot a}{1+m} \right) \quad (10)$$

where, besides, the porosity θ and the material solid phase yield point stress τ_s , $0 \leq a \leq 1$, $0 \leq m \leq 1$. Parameter a characterizes the fragility of the porous material particles, m is the quality of the contacts between the particles. The loading surface contour is shown at Fig. 2.

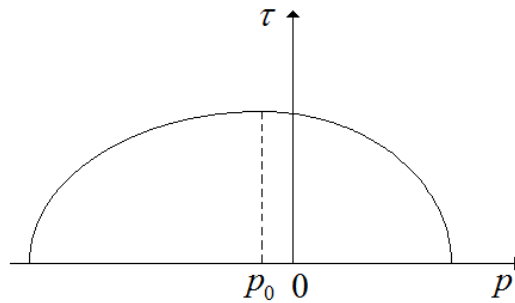


Fig. 2. The loading surface contour

Calculation scheme and simulation results. Let's consider two schemes the annular shape product stamping (Fig. 3).

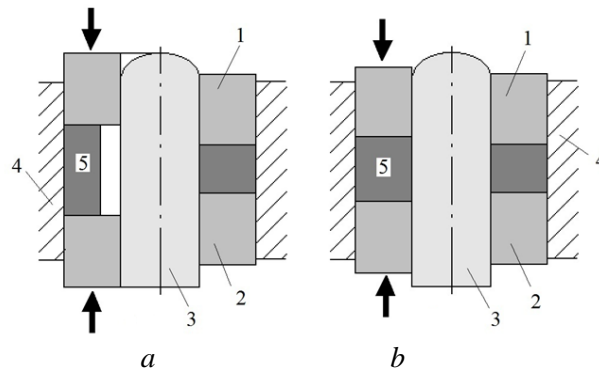


Fig. 3. Stamping schemes: **a - with radial flow to the center; b - second compaction: 1 - upper punch, 2 - lower punch, 3 - mandrel, 4 - matrix, 5 - powder blank**

The first example is corresponded to the case when a blank inner diameter is larger than the diameter of the mandrel (Fig. 3a). In this case, there is the possibility of material flow in radial direction

to the center. In the second case (Fig. 3b), the blank inner diameter is equal to the mandrel diameter (postpressing scheme). The masses of both blanks are equal, their initial porosity is 0.2. The upper and lower punches move towards each other at the same speed. The friction coefficient between the blank and the tool was assumed to be 0.15.

The results of computer simulation are shown in Fig. 4-6. By virtue of symmetry, the right half of the axial section of the stamped blank is considered.

At the initial stage deformation of the first type blank takes place a radial material flow to the center. Its internal surface, as a result of friction, acquires a convex ("barrel-like") shape. The porosity (Fig. 4, a) and equivalent plastic deformation distribution (Fig. 5, a) are unevenly across the blank section. The smallest porosity and the largest equivalent deformation takes place in the area of the blank ends near its inner surface, as well as in the center. Correspondingly, the max porosity and the min equivalent deformation are in the area of the blank convex inner surface, near the central part of its ends and near the matrix in the middle part of the blank height.

For the second forming scheme (postpressing) there is no material radial flow. The porosity (Fig. 4, b) and the equivalent deformation distributions are presented at Fig. 5, b. They are also unevenly distributed, but the nature of this distribution is different. The smallest porosity and the largest equivalent strain are at the blank ends in the contact blank areas with the matrix and the mandrel. The max porosity and the min equivalent deformation are also in the areas of blank contact with the matrix and the mandrel in the middle part of the blank height, which is due to the influence of friction.

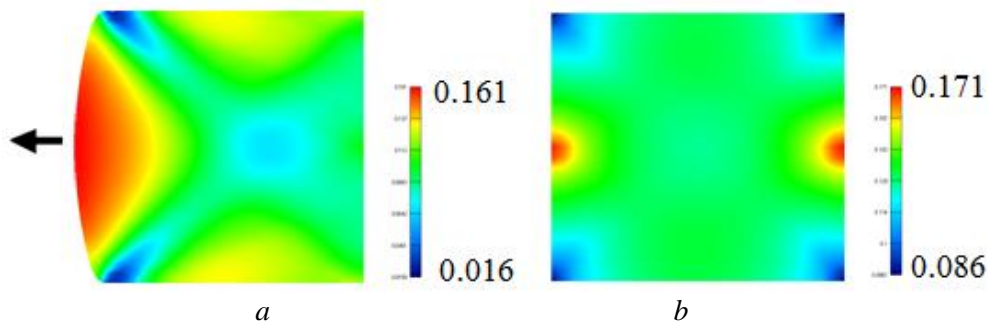


Fig. 4. Porosity distribution: a – forming with a mandrel radial flow to the center; b – postpressing compaction

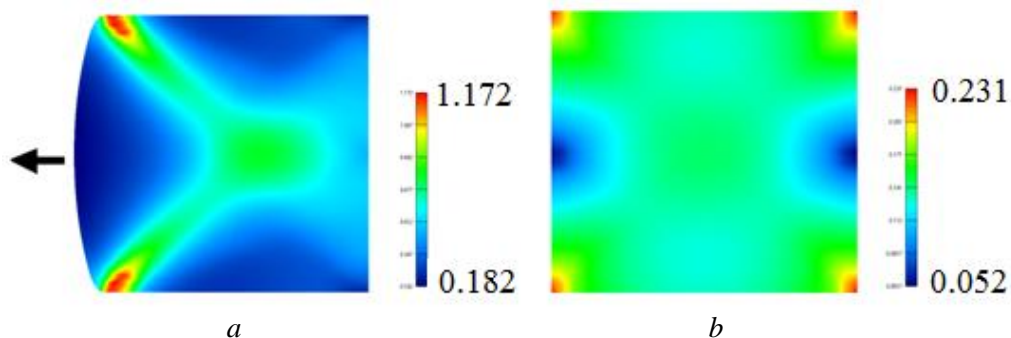


Fig. 5. Equivalent plastic deformation distribution: a – forming with a material radial flow to the center; b – postpressing compaction

At the final forming stage the internal surface of the first type blank resorts against the mandrel. In this way further compressing takes place according to the postpressing scheme. The porosity at the final forming stage is near 0.01 and its difference across the blank section is insignificant. The porosity distribution for the second type blank deformation is analogous.

At the same time, it should be noted the difference in the equivalent plastic deformation level distribution (Fig. 6).

The equivalent plastic deformation value is much higher for the first blank type when the material radial flow takes place. These fact can leads to the high exploitation products properties obtaining.

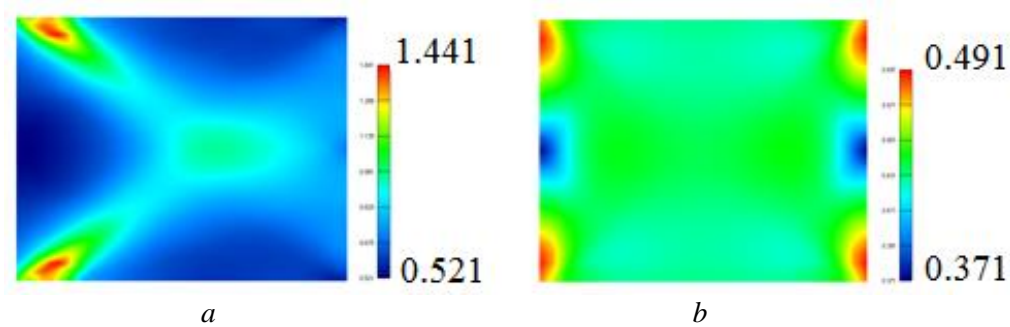


Fig. 6. The equivalent plastic deformation distribution: a – forming with a material radial flow to the center; b – postpressing compaction

Conclusions.

For the annual shape product examples of powder metallurgy process the computer modeling possibility is shown. The process sintered powder blanks stamping is considered. Computer modeling allows determining the blank shape changing and the density, stresses and deformations distribution.

Analysis of modeling stamping results for the two types blanks showed that the of material radial flow leads to an increase of accumulated plastic deformations level and, as a result, it allows obtaining products with high exploitation characteristics.

References

1. Shtefan E. Development of information technologies for the design of machinery and equipment for food production / E. Shtefan. – Odessa: ONAFT, 2006. – vol. 28. – p. 2. – P. 222-223. – (Sci. Works. of ONAFT).
2. Shtefan E. Mathematical Simulation of the Organic Disperse Material Mechanical Manufacturing / E. Shtefan, D. Rindyuk, S. Kadomsky // Eastern-European journal of enterprise technologies, 2014. – vol. 2. – № 12(68). – P. 55-61.
3. Mikhailov O. Numerical simulation of powder materials extrusion / O. Mikhailov, G. Serdyuk, T. Yepifantseva, E. Shtefan // Powder Metallurgy Congress and Exhibition, 2005. – vol. 3. – P. 427-431.
4. Shtern M. Modified models of deformation of powder materials which based on plastic and hard-deformable powders / M. Shtern, O. Mikhailov // Kyiv: KPI, 2011. – vol. 62, P. 13-19. – (Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Series "Machine Building").
5. Rozenberg, O. Modelling of process of surface strengthening porous tubes by multiple broaching / O. Rozenberg, O. Mikhailov, M. Shtern // Scientific a note: the interuniversity collection – Lutsk, 2011. – V. 31. – P. 306-313. – («Engineering mechanics»).

Стаття надійшла до редакції 15.03.2018

УДК 621.867

І.Т. Ярема¹, А.П. Довбиш², Т.Б. Пиндус¹, М.Д. Радик¹¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя²Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРУБЧАСТОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА З ПРОСТОРОВОЮ ТРАСОЮ**

Розроблено нові конструкції трубчастих ланцюгових конвеєрів. Побудовано графіки залежності потужності гнучкого канатного конвеєра від внутрішнього діаметра труби при транспортуванні зерна пшениці, потужності гнучкого канатного конвеєра від кута нахилу конвеєра при транспортуванні зерна пшениці та графік залежності потужності гнучкого канатного конвеєра від радіуса згину поверхні конвеєра при транспортуванні зерна пшениці.

Ключові слова: трубчасті скребкові конвеєри, просторова траса, сипкі матеріали, потужності двигуна, силові характеристики.

И.Т. Ярема¹, А.П. Довбиш², Т.Б. Пиндус¹, М.Д. Радик¹¹Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя²Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБЧАТОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРАССОЙ**

Разработаны новые конструкции трубчатых цепных конвейеров. Построены графики зависимости мощности гибкого канатного конвейера от внутреннего диаметра трубы при транспортировке зерна пшеницы, мощности гибкого канатного конвейера от угла наклона конвейера при транспортировке зерна пшеницы и график зависимости мощности гибкого канатного конвейера от радиуса изгиба поверхности конвейера при транспортировке зерна пшеницы.

Ключевые слова: трубчатые скребковые конвейеры, пространственная трасса, сыпучие материалы, мощности двигателя, силовые характеристики.

I. Yarema¹, A. Dovbysh², T. Pyndus¹, M. Radyk¹¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University²National Scientific Center «Institute of Mechanization and electrification of agriculture»**RESEARCH OF CONTINUOUS-FLOW CONVEYER WITH SPATIAL LAY OF LINE**

New designs of continuous-flow conveyer have been developed. The graphs of the dependence the capacity of flexible rope conveyor on the internal diameter of the pipe during the transport of wheat grain, the capacity of the flexible rope conveyor from the angle of the conveyor during the transport of wheat grain and the schedule of the dependence of the capacity of the flexible rope conveyor on the bending radius of the conveyor surface during the transportation of wheat grain are constructed.

Key words: continuous-flow conveyer, spatial lay of line, discrete material, engine power, power characteristics.

Постановка проблеми. Для транспортування зернових продуктів та кормових сумішей для годівлі тварин і птиці та інших матеріалів в агропромисловому комплексі широко застосовується конвеєрний транспорт. Трубчасті кормотранспортери надійно та ефективно вирішують завдання переміщення заданої кількості зернових матеріалів і кормосуміші на задану відстань у встановлений час.

Однак існуючі трубчасті скребкові конвеєри, які переміщують сипкі матеріали в направляючих трубах різної конфігурації характеризуються обмеженими функціональними можливостями, оскільки виконують лише транспортні функції як єдиний можливий транспорт для транспортування сипких матеріалів по криволінійних трасах з забезпеченням екологічно чистих умов праці.

Тому важливим напрямком подальшого розвитку таких конвеєрів є розширення їх функціональних можливостей та експлуатаційних показників за рахунок поєднання в одному технологічному процесі одночасного переміщення компонентів сухих кормових сумішей безпосередньо перед роздачею їх тваринам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням конструктивних і технологічних параметрів транспортно-технологічних систем сипких матеріалів присвячені роботи Григорьєва А.М.[1], Зенкова Р.Л. [2], Гевка Б.М. [3], Рогатинського Р.М. [4] та багатьох інших. Розроблення і

дослідження технологічних процесів транспортування сипких матеріалів гнучкими ланцюговим конвеєрами приділено недостатньо уваги і вони потребують свого подальшого вирішення.

Постановка завдань. В роботі представлено мету - розробити нові конструкції трубчастих ланцюгових конвеєрів.

Викладення основного матеріалу. Трубчасті скребкові конвеєри впроваджують у різних галузях промисловості та сільському господарстві для транспортування однорідних сипких вантажів. Вони економічно доцільні, оскільки дають змогу ефективно використовувати виробничі площі й транспортувати вантажі по трубчастому вантажопроводу, який можна прокласти по складній просторовій трасі.

Для дослідження запропоновано ланцюговий конвеєр з вертикальною подачею сипких матеріалів 1 (рис.1) [7], який виконано у вигляді S-подібної труби 2 круглого поперечного перерізу, які встановлені вертикально, і в які встановлено ланцюговий дисковий робочий орган у вигляді ланцюга 3, до якого рівномірно по довжині з заданим кроком встановлено круглі 4 і бочкоподібні 5 диски, з'єднані між собою ланцюгом 6, спеціальна допоміжна привідна зірочка 7, яка жорстко встановлена на привідному валу 8 коливальної системи.

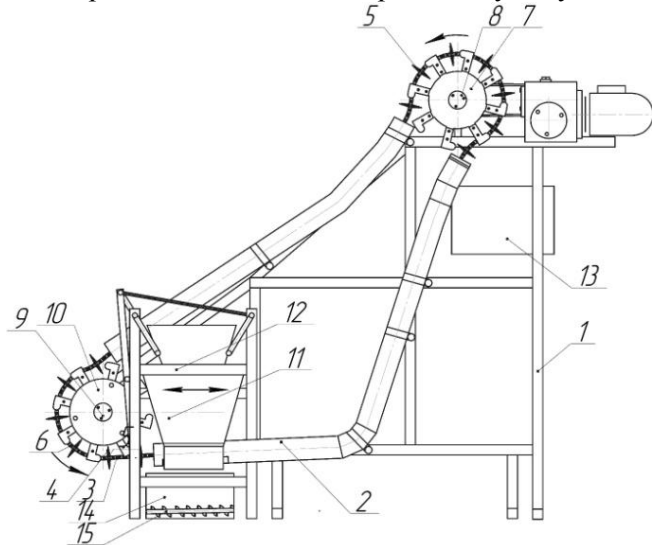


Рис. 1. Трубчастий ланцюговий конвеєр

трубах і переміщують сипкий матеріал в зону системи отворів 12 для просіювання сипкого матеріалу. Готові фракції і дрібні просіюються - в труби 2 - готової продукції, а дрібні і некондиційні в ємність 14 з вивантажувальним шнеком 15, а готова продукція по нижній трубі 2 надходить в ємність 13. До спеціальної привідної зірочки 7 вмонтовано коливальну систему за рахунок приводу робочого органу (рис. 2) .



Рис.2. Привідний обертовий диск процесу транспортування сипких матеріалів

У нижньому радіусному куті S-подібної труби 2 встановлено привідний валок 9 паралельний до валка 8 привідної зірочки 7 привідної натяжної станції 10. В нижній зоні S-подібної труби 2 встановлено завантажувальний бункер 11 сипкого матеріалу 1, в якому виконана коливальна система сит 12 для просіювання сипкого матеріалу і збору готової продукції (суміші) і її подачі нижньої S-подібної труби в зону вивантаження (ємність 13), які встановлені під кутом до горизонту.

Робота гнучкого трубчастого конвеєра здійснюється наступним чином. Компоненти змішаних сумішей 1 засипають в бункер 11, включають привід, відкривають шибер і гнучкий канат 3 круглими 4 і бочкоподібними 5 дисками переміщують по

До переваг трубчастого ланцюгового конвеєра належить розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності праці.

Для проведення досліджень змонтовано експериментальну установку (рис.3.) з метою підтвердження результатів теоретичних досліджень та покращення точності та зручності проведення дослідів у кінематичні ланцюги стендів вмонтовувався автоматизований електропривід, який включає трьохфазний асинхронний електродвигун, що керується перетворювачем частоти (ALTINAR-71) (ПЧ) з ПК за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.5.0 [6].



Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної установки:

- 1 – привід конвеєра; 2 – засипний бункер; 3 – робочий орган; 4 – привідна зірочка; 5 – скребок; 6 – транспортна магістраль; 7 – перетворювач частоти; 8 – персональний комп’ютер

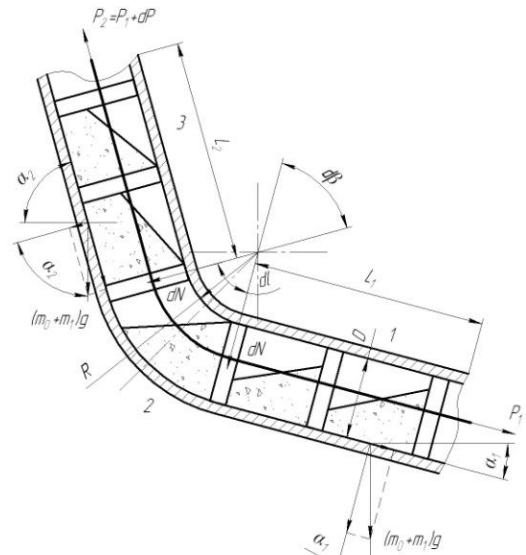


Рис. 4. Розрахункова схема для визначення характеристик скребкового ланцюгового конвеєра

На основі запропонованої схеми експериментальної установки необхідно визначити сили опору при переміщенні робочого органу на прямолінійній, криволінійній та вертикальній ділянках технологічних трас на рис. 4.

Для переміщення вантажу гнучким скребковим конвеєром по криволінійній траєкторії необхідно визначити потужність двигуна по трьох ділянках труби скребкового ланцюгового конвеєра згідно розрахункової схеми на (рис. 4) [2]

$$N = \frac{k_1 \sum_{i=1}^n P_{oi} v_k}{1000\eta}, \quad (1)$$

де k_1 - коефіцієнт запасу потужності,

P_{oi} - сила опору на i -тій ділянці, Н;

n - кількість ділянок конвеєра;

v_k - швидкість переміщення робочого органу конвеєра, м/с;

η - коефіцієнт корисної дії приводу.

На приведеній схемі (рис. 4) розкладемо на три ділянки, криволінійну вигнуту частину ділянки з кутом $d\phi$ та дві нахилені під кутами α_1 і α_2 .

Силу опору на горизонтальній ділянці згідно приведеної схеми визначається із залежності:

$$P_1 = \left[\left(m + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} \right) \sin \alpha_1 + \left(m f_1 + \rho\psi f_2 \frac{\pi D^2}{4} \right) \cos \alpha_1 \right] g L_1,$$

де m - маса одного погонного метра робочого органу із скребками, кг/м;

f_1 - коефіцієнт тертя між скребком конвеєра та внутрішньою поверхнею труби;

f_2 - коефіцієнт тертя між вантажем та внутрішньою поверхнею труби;

α_1 - кут нахилу конвеєра на прямолінійній ділянці, град;

g - прискорення вільного падіння м/с²;

L_1 - довжина першої ділянки, м.

ρ - питома густина вантажу т/м³;

ψ - коефіцієнт заповнення конвеєра;

D - внутрішній діаметр труби, м.

Знаходимо силу опору на вертикальній ділянці:

$$P_3 = \left[\left(m + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} \right) \sin \alpha_2 + \left(m f_1 + \rho\psi f_2 \frac{\pi D^2}{4} \right) \cos \alpha_2 \right] g L_2, \quad (3)$$

де α_2 - кут нахилу конвеєра на вертикальній ділянці, град;

L_2 - довжина вертикальної ділянки, м.

На криволінійній вигнутій частині ділянки 2 конвеєра виникають сили опору внаслідок переміщення скребків конвеєра по криволінійній внутрішній поверхні труби радіусом R .

Криволінійну вигнуту частину конвеєра розкладемо на елементарну ділянку з кутом $d\beta$ для забезпечення зниження енерговитрат. Визначаємо нормальну силу реакції труби на скребок

$$dN = 2P \sin \frac{d\beta}{2}, \quad (4)$$

де P – сила натягу робочого органа, H ;

$d\beta$ – кут криволінійної вигнутої частини ділянки, рад.

Для визначення кутів на криволінійній вигнутій частині $\sin \frac{d\beta}{2} = \frac{d\beta}{2}$, тоді

$$dN = Pd\beta.$$

Приріст натягу робочого органа на криволінійній вигнутій частині ділянки dl визначаємо як приріст для переміщення ваги вантажу і елементів конвеєра та зростання опору переміщення на криволінійній вигнутій частині конвеєра:

$$dP = \left[\left(m + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} \right) \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} + \rho\psi f_2 \frac{\pi D^2}{4} \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right] gdl + f_3 dN, \quad (6)$$

де f_3 - коефіцієнт тертя між скребком та внутрішньою криволінійною вигнутою поверхнею труби.

Довжина криволінійної вигнутої частини елементарної ділянки визначаємо із залежності:

$$dl = R d\beta. \quad (7)$$

Підставляємо знайдені вирази у залежності (5) і (7) у залежність (6) одержимо диференціальну залежність для визначення сила натягу робочого органа

$$\int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{\left[\left(m + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} \right) \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} + \rho\psi f_2 \frac{\pi D^2}{4} \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right] \frac{gR}{f_3} + P} = \int_0^{\beta} d\beta. \quad (8)$$

де P_1 – натяг робочого органа горизонтальній поверхні конвеєра, H ;

P_2 – натяг робочого органа на вертикальній поверхні конвеєра, H .

Проведемо інтегрування залежності (8), попередньо поділивши кожен член частини та отримаємо:

$$\ln \left(\left[\left(m + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} \right) \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} + \rho\psi f_2 \frac{\pi D^2}{4} \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right] \frac{gR}{f_3} + P_2 \right) - \ln \left(\left[\left(m + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} \right) \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} + \rho\psi f_2 \frac{\pi D^2}{4} \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right] \frac{gR}{f_3} + P_1 \right) = \beta. \quad (9)$$

Після спрощення рівняння (9) одержимо:

$$P_2 = P_1 e^{f_3 \beta} + \left[\left(m + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} \right) \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} + \rho\psi f_2 \frac{\pi D^2}{4} \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right] \frac{gR}{f_3} (e^{f_3 \beta} - 1). \quad (10)$$

Сила опору на криволінійній вигнутій частини елементарної ділянки конвеєра визначаємо за залежністю:

$$P_{\text{ед}} = \left(P_1 + \left[\left(m + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} \right) \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} + \rho\psi \frac{\pi D^2}{4} f_2 \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right] \frac{gR}{f_3} \right) (e^{f_3 \beta} - 1). \quad (11)$$

Швидкість переміщення конвеєра визначаємо із залежності [2, 5] :

$$v_k = \frac{Q}{900\pi D^2 \rho\psi}, \quad (12)$$

де Q - продуктивність конвеєра, т/год.

Для визначення довжини переміщення вантажу визначаємо за залежністю:

$$L = L_1 + L_2 + \left(R + \frac{D}{2} \right) \beta. \quad (13)$$

Висота піднімання вантажу по вертикальній ділянці конвеєра :

$$H = L_1 \sin \alpha_1 + L_2 \sin \alpha_2. \quad (14)$$

На основі формул (2), (3) та (13) будемо графічні залежності необхідної потужності для транспортування зерна пшениці від внутрішнього діаметра труби (рис. 5), від кута нахилу конвеєра (рис. 6) та радіуса згину криволінійної вигнутої частини поверхні конвеєра (рис. 7).

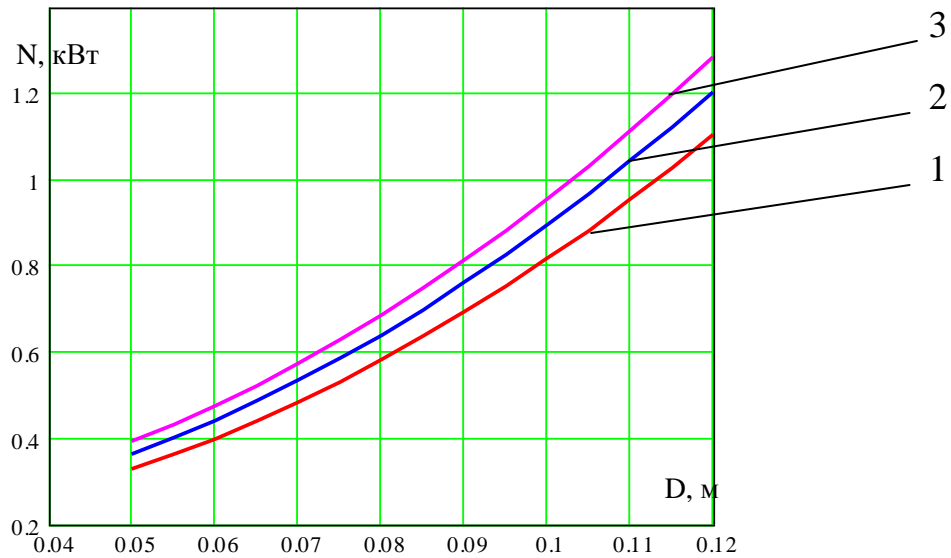


Рис. 5. Залежність потужності гнучкого скребкового конвеєра від внутрішнього діаметра труби при транспортуванні зерна пшениці
1. $\alpha_1=15^\circ$, $\alpha_2=75^\circ$; 2. $\alpha_1=25^\circ$, $\alpha_2=85^\circ$; 3. $\alpha_1=35^\circ$, $\alpha_2=90^\circ$

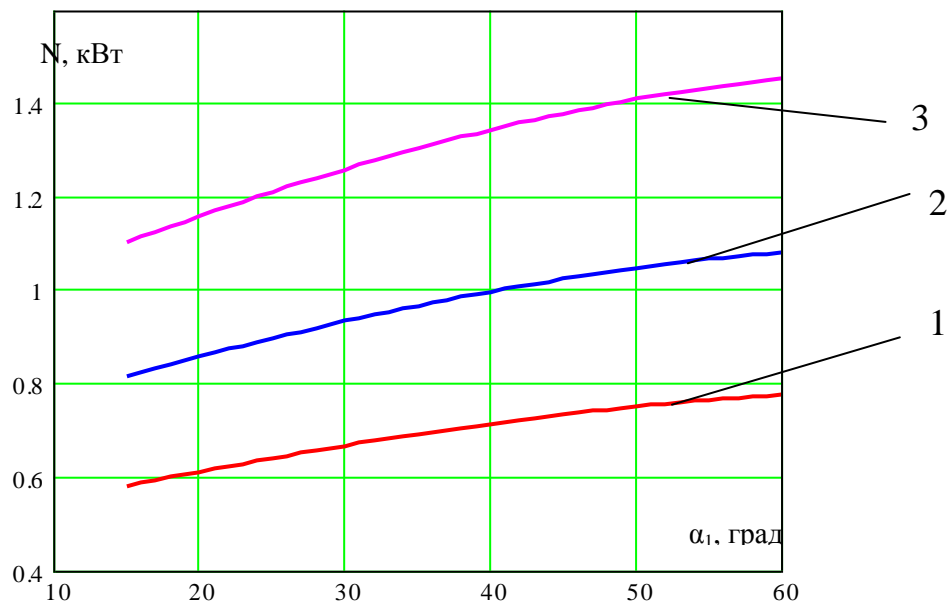
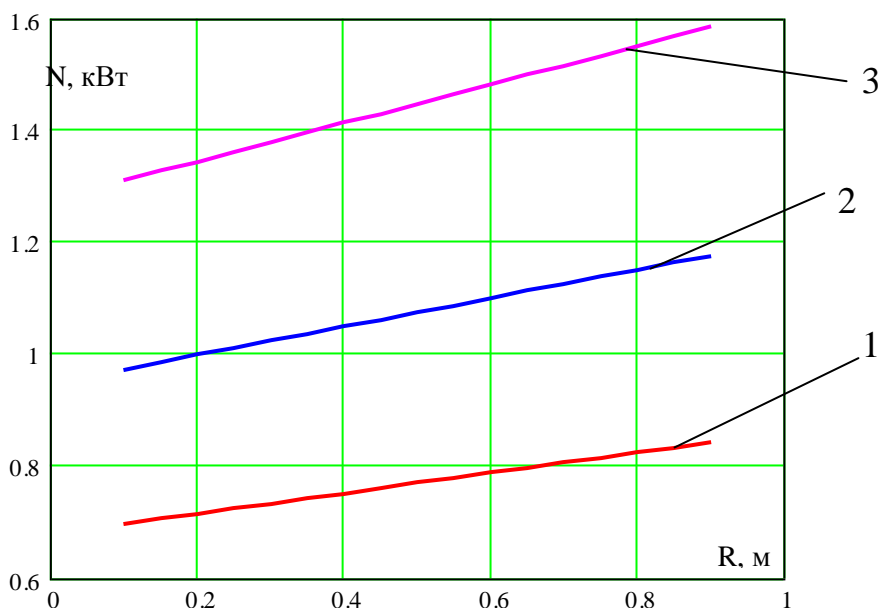


Рис. 6. Залежність потужності гнучкого скребкового конвеєра від кута нахилу при транспортуванні зерна пшениці $\alpha_2=75^\circ$: 1. $D=0,08$ м 2. $D=0,1$ м; 3. $D=0,12$ м



**Рис. 7. Залежність потужності гнучкого скребкового конвеєра від радіуса згину криволінійної вигнутої поверхні при транспортуванні зерна пшениці $\alpha_1=45^\circ$, $\alpha_2=75^\circ$:
1. $D=0,08$ м 2. $D=0,1$ м; 3. $D=0,12$ м**

Висновки. Аналізуючи побудовані графічні залежності можна констатувати, що на горизонтальній ділянці тягове зусилля є мінімальним і зростає по лінійній залежності по мірі забору сипкого матеріалу скребкового робочого органа. На криволінійній вигнутій ділянці зростання тягового зусилля є більш інтенсивним, особливо при наближенні до вертикальної ділянки, де значення зусилля є максимальним. Встановлено, що із збільшенням діаметра труби, кута нахилу конвеєра та радіуса згину поверхні конвеєра призводить до зростання необхідної потужності конвеєра, при цьому також забезпечується зростання його продуктивності.

Список використаної літератури.

1. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры / А.М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
2. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинський. – Львов: Из-во при Львовском университете, 1969. – 176 с.
3. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 250 с.
4. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва / Р.М. Рогатинський. // Дис.док.техн.наук. – К., 1997. – 502 с.
5. Любін М.В. Механізація транспортуючих та вантажопідійомних робіт / М.В.Любін, П.С. Берник. – Київ – Вінниця: Урожай, 1996. – 191 с.
6. Казачковський Н. Н. Программа PowerSuite для настройки преобразователей частоты и устройств плавного пуска (версия 2.3.0): методичні вказівки [для слухачів курсів підвищення кваліфікації та студентів спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривід»] / Н. Н. Казачковський, Д. В. Якупов. – Дніпропетровськ : НГУ, 2006. – 45 с.
7. Пат. 108423 Україна, МПК В65G 25/00(2016.01). Гнучкий трубчастий сепаратор / Герук С.М., Ляшук О.Л., Довбиш А.П., Клендій В.М., Данилюк О.А.; заявники і патентотримувачі Герук С.М., Ляшук О.Л., Довбиш А.П., Клендій В.М., Данилюк О.А. – № u201601512; заявл. 18.02.16; опубл. 11.07.16, Бюл. №13.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

УДК 621.762.5: 669: 536.462

Н.М. Гулієва

ПОРИСТІСТЬ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПРИРОДНИХ МІНЕРАЛІВ

У роботі наведені теоретико-експериментальні дослідження пористих проникних матеріалів композитів сапоніт – титану та сапоніт – алюмінію. Визначаються їх якісні й кількісні показники в прикладних програмах PhotoM, Smart-eye. Металографічні зображення представлені комбінацією структурних складових при різному співвідношенні: фазами, формою та кольором, межами зерен. Вивчені межі технологічних параметрів та синтез пористих проникних матеріалів на основі композитів сапоніт – титан та сапоніт – алюміній з необхідним балансом конструкційних функціональних показників та їхнього варіювання при зміні окремих властивостей.

Ключові слова: композити, сапоніт – титан, сапоніт – алюмінію, структурні складові, синтез.

Рис. 3. Табл. 1. Літ. 6.

Н.М. Гулієва

ПОРИСТОСТЬ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ

В работе приведены теоретико-экспериментальные исследования пористых проницаемых материалов композитов сапонит – титана и сапонит – алюминия. Определяются их качественные и количественные показатели в приложениях PhotoM, Smart-eye. Металлографические изображения представлены комбинацией структурных составляющих при различном соотношении: фазами, формой и цветом, границами зерен. Изучены пределы технологических параметров и синтез пористых проницаемых материалов на основе композитов сапонит - титана и сапонит - алюминия с необходимым балансом конструкционных функциональных показателей и их варьирования при изменении отдельных свойств.

Ключевые слова: композиты, сапонит - титан, сапонит - алюминия, структурные составляющие, синтез.

N.M. Huliieva

PURITY OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON NATURAL MINERALS

In work the theoretical and experimental studies of porous permeable materials composites saponite – titanium saponite – aluminum. Identify their qualitative and quantitative indicators in applications PhotoM, Smart-eye. Metallographic image presents a combination of structural components at different ratio: phases, shape and color, the grain boundaries. Studied the limits of process parameters and synthesis of porous permeable materials based on composites saponite – titanium and saponite – aluminum with necessary structural balance functional parameters and their variation by changing specific properties.

Keywords: composites, saponite - titanium, saponite - aluminum, structural components, synthesis.

Постановка проблеми. За допомогою різних прикладних програм PhotoM 1.21, Smart-eye, ScreenMeter 1.0, Micam та інших можна визначити деякі характеристики, які необхідні для якісної та кількісної оцінки структури будь-якого матеріалу, а зокрема і пористих проникних матеріалів. На сьогоднішній день ставляться високі вимоги щодо забезпечення економії матеріалів при різному виробництві деталей, особливо при використанні дорогих кольорових металів та сплавів. Завдяки даних прикладних програм визначаються їх якісні та кількісні характеристики та забезпечують скорочення втрат металу, зменшення енерговитрат, одержання матеріалів із спеціальними властивостями та ін.

Пористі проникні матеріали отримують методами порошкової металургії. Для їх спікання застосовують традиційні методи або самопоширюючий високотемпературний синтез. Пористі проникні матеріали одержані самопоширюючим високотемпературним синтезом, зазвичай, мають ряд переваг: високу механічну міцність, хімічну і термічну стійкість, пористість, проникність, рівномірність пор та інших властивостей. Для дослідження цих властивостей необхідне застосування сучасних прикладних програм. Аналіз літературних джерел свідчить, що застосування прикладних програм потребує більш глибокого теоретичного та експериментального дослідження. Вагомий внесок, у розвиток даного напрямку, вклали такі вчені: R. German, W. Baek, J. Dillar [1], А. Н. Сорокіна, В. В. Савич, А. Е. Галкін, В. М. Капцевич, Л. П. Пилинєвич [2], В.Д. Рудь, Л. М. Самчук [5] та ін.

Основні результати дослідження. Мета визначити якісні та кількісні характеристики пористих проникних матеріалів за допомогою сучасних прикладних програм.

На сьогоднішній день існує багато різноманітних прикладних програм для аналізу зображень. Найбільш успішними стають продукти, які найбільш зрозумілі в експлуатації.

Зі врахуванням функціональних можливостей серед різноманіття програмного забезпечення для аналізу зображень популярними є наступні прикладні програми – PhotoM 1.21, ScreenMeter 1.0, Micam. Програма PhotoM 1.21 призначена для цитофотометрії. Програма здійснює розрахунок

оптичної щільності фотографій. Можливе завантаження чорно-білих зображень у форматі BMP і JPG і зміна масштабу перегляду. Оптична щільність може розраховуватися з урахуванням фону як по середньому (по виділеній області), так і за окремою фотографією. Крім того, можливо віднімання темного поля відеокамери. Крім розрахунку оптичної щільності, передбачено інвертування, збільшення контрасту і згладжування зображення, генерація бінарного зображення, визначення відстані між об'єктами і площі області на фотографії. Передбачений режим калібрування для перерахунку всіх координат в метричні одиниці [1].

Властивості пористих матеріалів залежать від властивостей вихідних порошків і технологічного процесу їхнього виготовлення. Технологічна схема методу самопоширюючого високотемпературного синтезу Луцького НТУ наведена на рис. 1 [2].



Рис. 1 – Технологічна схема самопоширюючого високотемпературного синтезу Луцького НТУ

Для їхнього виготовлення використовуються металеві порошки як зі сферичної, так і несферичною формою часток з розмірами від декількох до тисячі мікрометрів з різних металів і сплавів. Технологія виготовлення пористих металів з металевих порошків містить у собі традиційну для порошкової металургії схему операцій: формування й спікання. Основні вимоги, які і ставляться до формуванню при виготовленні пористих матеріалів, пов'язані з одержанням виробів заданих форм і розмірів з необхідною пористістю й забезпеченням рівномірного або заданого розподілу пористості й відповідно проникливості. Для збільшення пористості й полегшення пресування порошків до металевих порошків додають спеціальні наповнювачі, що задовольняють наступним вимогам: не розкладатися при кімнатній температурі, не вступати в

хімічну взаємодію з металевим порошком під час змішування й пресування, розкладатися при температурі меншій температури спікання, не залишати продуктів розкладання в порах заготовки після спікання. Кількість наповнювача звичайно становить від 3 до 10 % до маси металевого порошку [3].

Роботи з дослідження пористих проникливих матеріалів активуються великими потенційними можливостями їхнього застосування для виготовлення фільтрів, мембран з частковою чи регульованою проникливістю. Перспективними матеріалами для виготовлення пористих конструкцій є титан та алюміній, що характеризуються високою міцністю, корозійною стійкістю та тугоплавкістю. Проведено комплекс досліджень, спрямованих на вивчення можливостей отримання матеріалів з зазначених елементів. Вивчені межі технологічних факторів (склад, гранулометрія, режими відпалу), які є визначальними при формуванні структур з бажаною пористістю та необхідними механічними властивостями, в першу чергу міцністю. Синтез пористих матеріалів на основі титану та алюмінію з необхідним балансом конструкційних функціональних показників вимагає детального дослідження закономірностей формування зв'язків в системі склад-структура-властивості та їхнього варіювання при зміні окремих технологічних факторів. Для реалізації сформульованих завдань необхідно проаналізувати вплив умов обробки на такі характеристики зразків, як розміри структурних елементів, різновид пор, їхня кількість і розподіл за розмірами.

Вихідні зразки у вигляді циліндрів формували методом радіально-ізостатичного пресування під тиском 760 МПа з початковою щільністю 0,87–1,5 г/см³.

Наповнювач CaCO₃ був вибраний за наступних міркувань:

1. Оптимальними є поро утворюючі добавки, які в процесі спікання розкладаються без утворення рідкої фази при температурі нижче температури спікання, та без утворення компонентів, які забруднюють основний матеріал;

2. Пороутворювач повинен бути змазкою та зв'язкою, зменшуючи вплив тертя при пресуванні, тим самим покращуючи властивості пресування та формування.

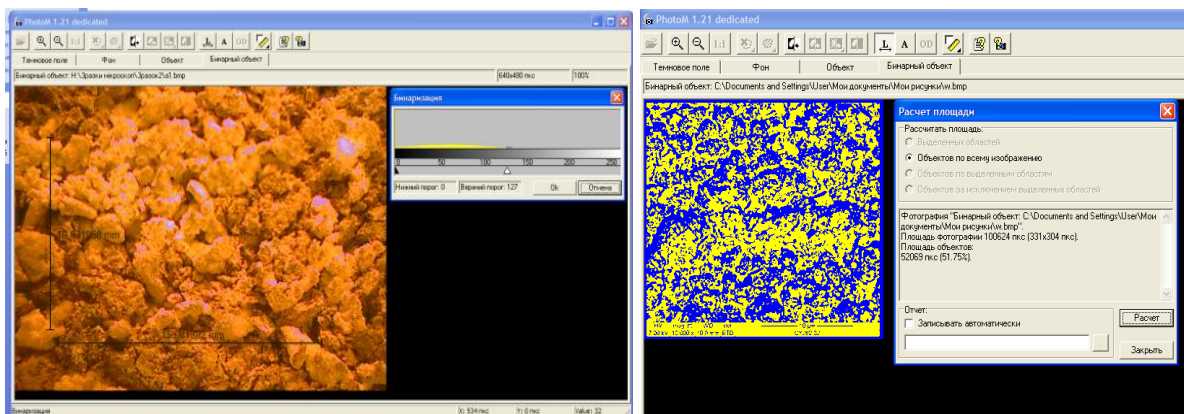
3 метою визначення оптимальної кількості пороутворювача, необхідної для доброго формування системи сапоніт – титан та сапоніт – алюміній, нами були проведені експериментальні дослідження по визначенню впливу вмісту CaCO₃ на пороутворення даних систем.

Враховуючи, що характеристикою ущільнення порошку є його здатність зберігати надану йому в результаті пресування форму, при якій зразок після видалення з прес-форми не осипається і не має розшарувань, а також те, що чим більша пористість, тим вища проникливість, нами була вибрана величина міцності на стиск мінімальною ($\sigma_{ст} = 1$ МПа), а величина тиску пресування лежала в межах 350–760 МПа. Аналіз результатів дослідження показує, що мінімальний вміст пороутворювача значно підвищує властивості пресування досліджуваних порошків, і складає 5–6 %. Тому на основі даних результатів при пресуванні заготовок пористих проникних матеріалів із порошків у вихідну шихту вводили не менше 4 % CaCO₃. Важливою структурною характеристикою пористого матеріалу є його регулярність структури, яка залежить від властивостей вихідних порошків та технології виготовлення пористих проникних матеріалів. Об'єктивні результати досліджень будь-яких технологічних режимів виготовлення на властивості пористих проникних матеріалів можна отримати тільки в тому випадку, якщо пориста структура регулярна, а для цього необхідно знати критичну товщину пористих проникних матеріалів, при якій вона досягається. Одним із параметрів регулювання властивостей пористих проникних матеріалів, які отримані пресуванням, є величина тиску пресування. Досліджено, що при тисках вище 300 МПа пористість зі збільшенням тиску практично не змінюється і однакова для порошків різних фракцій. При тисках менше 300 МПа пористість зразків, які виготовлені із крупніших частинок, вища. Це пояснюється тим, що форма крупних частинок порошку менш сферична за форму дрібніших частинок порошку. Чим більший вміст пороутворювача, тим нижча міцність пористих проникних матеріалів.

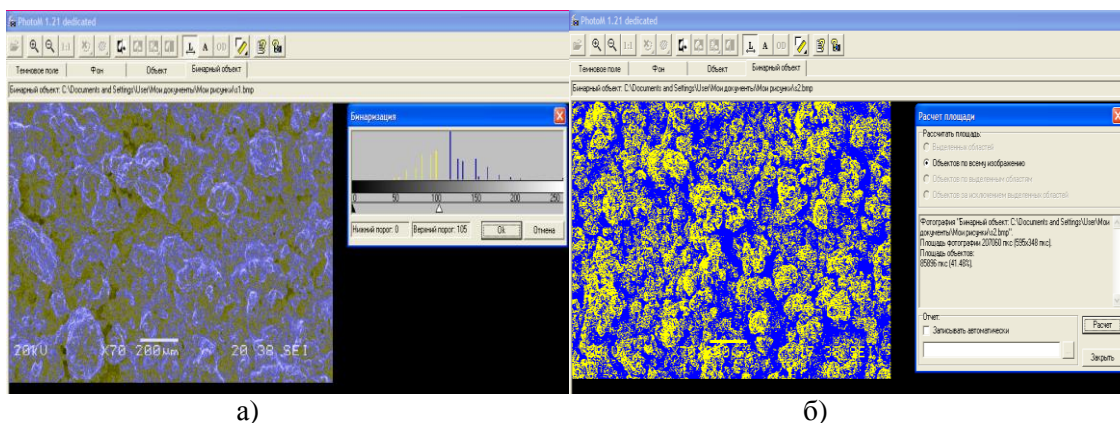
Для досягнення міцності, зразки, які виготовлені із порошку більшої фракції, повинні містити не більше 25% пороутворювача, а зразки меншої фракції – більше 25% [4]. Це можна пояснити різною формою частинок порошку малого та великого розмірів, яка суттєво впливає на механічну міцність при вмісті пороутворювача менше 25 %. За допомогою пороутворювача можна отримувати задане порозподілення по січенню зразка фільтруючих пористих проникних матеріалів, що забезпечує високі експлуатаційні властивості. Пороутворювач дозволяє збільшити пористість пористих проникних матеріалів, а, відповідно, і їх проникливість та брудоемність. Тому дослідження впливу пороутворювача на експлуатаційні характеристики фільтруючих пористих

проникних матеріалів дозволяє забезпечити його оптимальну кількість для отримання бажаного поро розподілення [5]. За допомогою програми PhotoM 1.21 показано експериментальні результати зразків композиту сапоніт – титан, спечених методом самопоширюючого високотемпературного синтезу.

В якості прикладу та для перевірки методик визначення пористості, нами приводяться результати досліджень розподілу пористих проникних матеріалів композитів, який виготовлений із порошків сапоніт – титан рис. 2 та сапоніт – алюміній 3, за допомогою оптичного мікроскопу eScore [6].



а) б)
Рис. 2. – Сапоніт – титан „PhotoM 1.21” бінарзація (а), негатив (б)



а) б)
Рис. 3. – Сапоніт – алюміній „PhotoM 1.21” бінарзація (а), негатив (б)

Результати досліджень наведені у таблиці 1. Достовірність методики оцінювали шляхом порівняння з відомими результатами [7].

Таблиця 1

Пористість зразка, виготовленого із композитів сапоніт – титан та сапоніт –алюміній

Зразок	Методика визначення пористості, мкм					
	метод вихрових струмів	Δ , %	Porous Materials, Inc	Δ , %	металографічний метод	Δ , %
Сапоніт – титан	0,344	5,5	0,378	6,0	0,367	4,0
Сапоніт – алюміній	0,373	5,0	0,415	7,0	0,399	3,8

Δ – похибка вимірювання (у порівнянні з ГОСТ 25281–82)

Висновок. Дані прикладні програми PhotoM, Smart-eye дозволяють забезпечувати якісні й кількісні показники пористих проникних матеріалів. На підставі результатів досліджень

сформульовано і обґрунтовано режими формування композитів сапоніт – титан та сапоніт – алюміній. Для пресування зразків висотою 220 мм та діаметром 40 мм застосовували сухе радіально-ізостатичне пресування при тисках в межах 500 ... 700 МПа. Загальний час спікання в режимі СВС-процесу для сапоніт – титану 80 с при температурі 1350 °С та сапоніт – алюмінію 75,2 с при температурі 1300 °С. Процес швидкості горіння отриманого матеріалу в межах 0,46–3,67 мм/с та інтервалі тиску аргону 0,5...4 МПа. Пористість для композиту сапоніт – титану лежить в межах 35–40 % та сапоніт – алюмінію 40–45 %. Запропонована та випробувана ресурсозберігаюча технологія впроваджена на підприємствах КП „Луцькводоканал”, ПАТ „СКФ – Україна” м. Луцька, яка передбачає виготовлення композитів сапоніт – титан для очистки питних вод та сапоніт – алюміній для очистки стічних, технічних та технологічних вод.

Література

1. German R. Microstructure and property development in transient liquid phase sintered iron-titanium alloys / R. German, W. Baek, J. Dillar // Progress in Powder Metallurgy. – 1985. – V. 41. – P. 765–790. – ISSN 1339-4533
2. Рудь В.Д. СВС – технологія виготовлення фільтрувальних матеріалів на основі композиту титан-сапоніт для очистки води / В.Д. Рудь, Л.М. Самчук, Н.М. Гулієва // Збірник матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Одеса: ОНАХТ, 2014. – С. 109-111.
3. Сорокина А. Н. Разработка пористых порошковых материалов и изделий из них экологического назначения / А. Н. Сорокина, В. В. Савич, А. Е. Галкин, В. М. Капцевич, Л. П. Пилиневич // Достижения науки и техники в области ресурсосбережения и экологии: Тез. докл. межд. конф. – Гомель, 1989. – С. 50–51.
4. Рудь В.Д. Использование СВС-процесса для получения композиционных материалов / В. Д. Рудь, Л. М. Самчук, Н. М. Гулиева // Порошковая металлургия: Инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка: сборник докл. 8-го Международного симпозиума: (10-12 апреля 2013г.). – Минск, В 2 ч. Ч. 1, 2013. – С. 496–500. – ISBN 978-985-08-1548-4
5. Гулієва Н. М. Технологія виготовлення пористих фільтрувальних матеріалів для очищення питних вод / Н. М. Гулієва // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: Науковий журнал. – Херсон: Видавництво ХДМА, 2014. – №1 (10). – С. 170–175. – ISSN 2313-4763
6. Рудь В.Д. Структурные характеристики заготовок при заполнении пресс-форм частицами нерегулярной формы / В. Д. Рудь, Л. М. Самчук, Н. М. Гулиева, В. В. Шиберко // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Science and Education – Our Future (November 24-26, 2014) Abu Dhabi”. – Dubai.: Rost Publishing, 2014. – P. 18–24. – ISBN 978-966-316-360-4
7. Rud' V. D. Determination of drinking water quality using new information technology / V. D. Rud', N. M. Gulieva // Actual Problems of Economics: Scientific economic journal. Kyiv, 2014. – V. 4 (154). – С. 481–488. – ISSN 1993-6788

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018

**ДО УВАГИ КОРЕСПОНДЕНТІВ!
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАННЯ СТАТЕЙ**

1. **Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:** постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті; виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.
2. **Статтю можна подавати українською, російською, або англійською мовою.** Стаття повинна бути набрана у текстовому редакторі не нижче MS WORD 97/03. Нумерацію сторінок не виконувати. Обсяг статті від 5-9 сторінок.
3. Параметри сторінки: верхнє, нижнє та лівє поле – 2 см, праве поле 2,5 см. Від краю до колонтитула верхнього – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.
4. Шапка статті: індекс УДК, ініціали та прізвища авторів розміщується на один абзац нижче шрифтом 11 пт, назва організації – набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по центру. Назва статті розміщується на один абзац нижче назви організації, набирається шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з напівжирним виділенням і вирівнюється по центру.
5. **Анотації** українською, російською мовами набираються з абзацного відступу шрифтом Time New Roman Cyr розміром 9, курсив, напівжирний 300-500 друкованих знаків з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині; англійською мовами розширена анотація 700-1000 друкованих знаків.
6. Нижче анотацій обов'язково вказуються ключові слова шрифтом Time New Roman Cyr, курсив, напівжирний 9 пт.
7. Основний текст розміщується на 1 см нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюється по ширині.
8. Для набирання формул застосовувати редактор формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Cyr; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
9. Якщо в статті присутні ілюстрації, необхідно розташовувати їх по тексту, вирівнюючи підписи (*Рис. 1. Схема ...*) по ширині з абзацного відступу 1 см. Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.
10. Таблиці розташовувати по тексту, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею поставити її порядковий номер (*Таблиця 1*) вирівнюючи по правому краю, під яким розмістити назву таблиці вирівнюючи по центру.
11. Література подається загальним списком в кінці рукопису згідно з вимогами державного стандарту через 1 см від останнього рядка.
12. Статті надіслати електронною поштою за такою адресою: notatki@ukr.net
13. До статті додається дві рецензії: зовнішня і внутрішня. Редакція залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію.
14. В кінці статті обов'язково вказуються ПІБ, посаду, науковий ступінь, вчене звання рецензентів статті.
15. Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.

До статті обов'язково додаються у письмовому вигляді відомості про авторів:

Прізвище, Ім'я, По-батькові

Місце роботи, посада, науковий ступінь, вчене звання

Наукові інтереси

Назва статті та особисті підписи усіх авторів

Адреса для листування, телефон

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів у збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ» можна отримати у відповідального секретаря – Савюка Ігоря Віталійовича за тел. (0332) 262519.

Адреса: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, к. 34.

Автор статті отримує 1 примірник збірника. **Вартість друку** однієї сторінки становить 45 грн. Рахунок виставляється після підтвердження редакційною колегією про прийняття статті до друку.

До уваги авторів. Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ» (за галузями знань «Технічні науки») згідно наказу МОН України № 528 від 12.05.2015 р. затверджено як наукове фахове видання України, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Збірник входить у науково метричну базу РИНЦ.

Редколегія повідомляє, що планова періодичність друку збірника чотири випусків на рік.

P.S. Без авторської довідки, матеріали редакційною колегією не розглядаються.

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК: 620.179.16

І.І. Іванов¹, П.П. Петров²

Луцький національний технічний університет¹

Тернопільський національний технічний університет²

**НАБЛИЖЕНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОСІ КОНОЇДА, ПРЕДСТАВЛЕНОГО ДИСКРЕТНИМ
КАРКАСОМ ТВІРНИХ**

Розроблено алгоритм наближеного визначення осі коноїда, представленого дискретним каркасом спільних твірних.

Ключові слова: вісь коноїда, дискретний каркас, твірна.

И.И. Иванов, П.П. Петров

**ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСИ КОНОИДА, ПРЕДСТАВЛЕННОГО
ДИСКРЕТНЫМ КАРКАСОМ ОБРАЗУЮЩИХ**

Разработан алгоритм приближенного определения оси коноида, представленного дискретным каркасом обшивки образующих.

Ключевые слова: ось коноида, дискретный каркас, образующая.

I. Ivanov, P. Petrov

**AXIS APPROXIMATE DEFINITION OF CONOID DESCRIBED BY THE SET OF STRAIGHT
LINES**

The algorithm of axis approximate definition of conoid described by the set of straight lines is made. The approximate conoid axis is a line. Conoid is created by straight lines.

Keywords: conoid axis, discretely carcass of straight lines.

Постановка проблеми. На коноїді, представленому дискретним каркасом твірних, можна побудувати безліч плоских і просторових.....

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наскільки відомо автору з.....

Постановка завдань. В роботі поставлено мету – розробити алгоритм.....

Викладення основного матеріалу. Для наближеного визначення осі використовувалася така властивість коноїдів: усі твірні поверхні перетинають її вісь [1].

$$Y_j = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^n Y_{ji}, \quad (1)$$

де K -

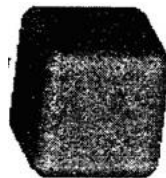


Рис. 1. Назва рисунка

Таблиця 1.

Назва таблиці

№п/п	Фактори		Функції відгуку	
	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂

Висновки. В статті розроблено алгоритм наближеного.....

Список використаних джерел:

1. Гуляев К.В. Математические модели и моделирование. – М: Металлургия, 1970. – 471 с.
2. Гірченко.....

ШБ, посада, науковий ступінь, вчене звання рецензентів статті.

Ціна договірна

Колектив авторів

Наукові нотатки

**Міжвузівський збірник
(за галузями знань «Технічні науки»)
Випуск 61**

Комп'ютерний набір та верстка: І.В. Савюк
Збірник друкується в авторській редакції

Наклад **300 прим.**

Адреса редакції: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56.

Редакційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011