МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

ВІСНИК

Східноукраїнського національного університету імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 4 (268)
2021

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Сєвєродонецьк 2021

ВІСНИК
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 4 (268) 2021

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ
ВИХІД З ДРУКУ - ДВАНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК
Засновник
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
Журнал зареєстровано в Міністерстві юстиції України
Свідоцтво про державну реєстрацію **серія КВ № 15607-4079ПР від 18.08.2009 р.**

VISNIK
OF THE VOLODYMYR DAHL EAST UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

№ 4 (268) 2021

THE SCIENTIFIC JOURNAL
WAS FOUNDED IN 1996
IT IS ISSUED TWELVE TIMES A YEAR
Founder
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
Registered by the Ministery of Justice of Ukraine
Registration **Certificate** **KB № 15607-4079ПР dated 18.08.2009**

Журнал включено до Переліків наукових фахових видань України (Наказ МОН № 886 02.07.2020 р.), (Наказ МОН №1188 24.09.2020 р.), (Наказ МОН №157 від 09.02.2021 р.) в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних (122, 131, 132, 133, 141, 151, 161, 273) та економічних (051, 073, 075) наук відповідно.

Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2018: 59.34).

ISSN 1998-7927

Головна редакційна колегія:

Поркуян О.В., докт. техн. наук (голова редакційної колегії),

Галгаш Р.А., докт. екон. наук, (заступник голови редакційної колегії),
Кудрявцев С.О., канд. техн. наук, (заступник голови редакційної колегії),
Білобородова Т.О. канд. техн. наук,
Глікін М.А., докт. техн. наук,
Глікіна І.М., докт. техн. наук,
Горбунов М.І., докт. техн. наук,
Грицюк В.Ю., канд. техн. наук,
Д'яченко Ю.Ю., докт. екон. наук,
Ковтанець М.В., канд. техн. наук,
Кравченко К.О., канд. техн. наук,
Лория М.Г., докт. техн. наук,
Ноженко В.С., канд. техн. наук,
Носко О.П., канд. техн. наук,
Проказа О.І., канд. техн. наук,
Семененко І.М., докт. екон. наук,
Сергієнко О.В., канд. техн. наук,
Скарга-Бандурова І.С., докт. техн. наук,
Соколов В.І., докт. техн. наук,
Суворін О.В., докт. техн. наук,
Целіщев О. Б., докт. техн. наук

Відповідальний за випуск: д.т.н., професор Чернецька-Білецька Н.Б.
Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 12 від 28 травня 2021 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2021
© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2021

З М І С Т

С п е ц і а л ь н і с т ь 1 2 2

Ratov D.V.
OBJECT ADAPTATION OF DRAG AND DROP TECHNOLOGY FOR WEB-SYSTEM INTERFACE COMPONENTS 7

Сліпченко В.Г., Полягушко Л.Г., Круш О.Є.
СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЕКО-ЕНЕРГО-ЕКОНОМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ (ОБЛАСТІ, РАЙОНУ ТА МІСТА) 13

С п е ц і а л ь н і с т ь 1 4 1

Бєлоха Г.С., Шевченко І.С.
СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ 21

Голубєва С.М., Морнева М.О.
ЩОДО КЛАСИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ 26

Shevchenko I.S., Rudniev Y.S., Romanchenko J.A.
MODELING OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE MAIN MOTION OF THE ROLLING CAGE AS A MULTI-MASS ELECTROMECHANICAL SYSTEM 30

С п е ц і а л ь н і с т ь 1 5 1

Асманкіна А.А., Лорія М.Г., Целіщев О.Б.
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЛІ 35

Моркун В.С., Котов І.А., Сердюк О.Ю., Гапоненко І.А.
ПОДАННЯ ЗНАНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМАМИ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ 40

С п е ц і а л ь н і с т ь 2 7 3

Дегтярьова Л.М., Вакуленко Ю.В., Одарущенко О.Б.
КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ 49

Ковтанець М.В., Кузьменко С.В., Ноженко В.С, Сергієнко О.В., Климаш А.О., Ковтанець Т.М.
ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ТЯГОВИХ І ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛОКОМОТИВА 53

Кириченко І.О., Кашура О.Л.
КОНТАКТ ГРЕБЕНЯ КОЛЕСА З БІЧНОЮ ПОВЕРХНЕЮ РЕЙКИ І ОПІР РУХУ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЯГОВОГО МОМЕНТУ КОЛЕСОМ ЛОКОМОТИВА 59

Кириченко І.О., Кузьменко Н.М., Водолазський О.О.
ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ НА РІЗНИХ ВИДАХ ТРАНСПОРТУ 62

Клюєв С.О., Юров Б.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 66

Кошель О.О., Сапронова С.Ю.
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ВАГОНІВ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ 72

Михайлов Є.В., Водолазський О.О., Долбня Д.М.
ПРОБЛЕМИ ЛОГІСТИКИ РОЗПОДІЛУ ІМУНОБІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ В ЕПОХУ ПАНДЕМІЇ 76

Ноженко В.С., Ковтанець М.В., Сергієнко О.В., Ковтанець Т.М., Вакулік М.М.
ОЦІНКА РИЗИКІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ НА ТРАНСПОРТІ 82

Роговий А.С., Нескоpожений А.О.
ВПЛИВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХОРОКАМЕРНОГО НАСОСУ 88

Фомін О.В., Ловська А.О., Павлюченков М.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ГРЕЙФЕРНИМ КОВШЕМ 94

Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О., Мірошникова М.В.
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ 100

Чернецька-Білецька Н.Б., Штиков А.Р.
АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ PTV VISSIM ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ..... 105

Шворнікова Г.М., Сорока С.І.
ПРОЄКТНІ РИЗИКИ РОЗВИТКУ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТУ 113

Сулим А.О., Мельник О.О., Бялобржеський О.В., Ломонос А.І.
ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ТА ОЦІНКА РІВНЯ ЇХ ВПЛИВУ НА ПОКАЗНИК ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ 120

С п е ц і а л ь н і с т ь 1 2 2

Шумова Л.О., Ячменьов А.В.
ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ АНАЛІТИЧНОЇ ПІДТРИМКИ ОБЛІКУ ПРОДАЖІВ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ……128

C O N T E N T S

S p e c i a l t y 1 2 2

Ratov D.V.
OBJECT ADAPTATION OF DRAG AND DROP TECHNOLOGY FOR WEB-SYSTEM INTERFACE COMPONENTS 7

Slipchenko V.G., Poliahushko L.G., Krush O.E.
THE SYSTEM OF COMPLEX ECO-ENERGY-ECONOMIC MONITORING TO OPTIMIZE MANAGEMENT DECISIONS (REGION, DISTRICT AND CITY) 13

S p e c i a l t y 1 4 1

Bielokha H.S., Shevchenko I.S.
FREQUENCY CONVERTER IN THE SYSTEM ENERGY GENERATION WIND TURBINES 21

Golubieva S.M., Morneva M.O.
THE ISSUE OF ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERTERS' CLASSIFICATION 26

Shevchenko I.S., Rudniev Y.S., Romanchenko J.A.
MODELING OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE MAIN MOTION OF THE ROLLING CAGE AS A MULTI-MASS ELECTROMECHANICAL SYSTEM 30

S p e c i a l t y 1 5 1

Asmankina A.A., Loriia M.G., Tselishchev O.B.
BUILDING COMPLEX ENERGYINDEPENDENCE MANAGEMENT SYSTEM 35

Morkun V.S., Kotov I.A., Serdiuk O.Y., Haponenko I.A.
KNOWLEDGE REPRESENTATION IN INTELLIGENT AUTOMATION SYSTEMS FOR CONTROL OF POWER SYSTEMS OF THE MINING AND METALLURGICAL COMPLEX UNDER UNCERTAINTY 40

S p e c i a l t y 2 7 3

Degtyaryova L.M., Vakulenko Y.V., Odarushchenko O.B.
CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF COMPONENT ELEMENTS OF INFORMATION PROTECTION SYSTEMS 49

Kovtanets M.V., Kuzmenko S.V., Nozhenko V.S., Sergienko O.V., Klimash A.O., Kovtanets T.M.
WAYS TO IMPROVE TRACTION AND DYNAMIC PERFORMANCE OF A LOCOMOTIVE 53

Kyrychenko I.O., Kashyra O.L.
CONTACT OF A WHEEL COMB WITH A LATERAL SURFACE OF A RAIL AND RESISTANCE OF MOVEMENT AT REALIZATION OF A TRACTION MOMENT BY A LOCOMOTIVE WHEEL 59

Kyrychenko I.O., Kuzmenko N.M., Vodolazskyi O.O.
QUALITY OF TRANSPORTATION SERVICES ON DIFFERENT TYPES OF TRANSPORT 62

Kliuiev S.O., Yurov B.V.
RESEARCH OF TRANSPORT LOGISTICS TRANSFORMATION IN UKRAINE IN THE CONDITIONS OF INDUSTRY 4.0 66

Koshel O.O., Sapronova S.Yu.
RESEARCH OF MALFUNCTIONS OF SPECIAL ROLLING STOCK IN OPERATION 72

Mikhailov E.V., Vodolazsky O.O., Dolbnya D.M.
DISTRIBUTION LOGISTICS PROBLEMS OF IMMUNOBIOLOGICAL DRUGS IN THE PANDEMIC ERA 76

Nozhenko V.S., Kovtanets M.V., Sergienko O.V., Kovtanets T.M., Vakulik M.M.
ASSESSMENT OF THE RISKS OF INTRODUCING PROMISING TECHNICAL SOLUTIONS IN TRANSPORT 82

Rogovyi A.S., Neskorozhenyi A.O.
INFLUENCE OF THE MEASURING INSTRUMENT ON THE CHARACTERISTICS OF THE VORTEX CHAMBER PUMP 88

Fomin O.V., Lovska A.O., Pavliyuchenkov M.V.
RESEARCH OF LOADING OF THE GONDOLA CAR LOAD-BEARING STRUCTURE WHEN INTERACTING WITH THE GRAPPLE LOADER 94

Chernetskaya-Beletskaya N.B., Baranov I.O.,MiroshnykovaM.V.
IMPROVEMENT TRAFFIC SAFETY MANAGEMENT SYSTEM ON RAILWAY TRANSPORT 100

Chernetska-Biletska N.B., Shtykov A.R.
ANALYSIS OF THE APPLICATION OF PTV VISSIM SOFTWARE FOR MODELING TRAFFIC FLOWS 105

Shvornikova H.M., Soroka S.I.
PROJECT RISKS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT 113

Sulym A.O., Melnyk O.O., Bialobrzheskyi O.V., Lomonos A.I.
INVESTIGATION OF FACTORS AND EVALUATION OF THE LEVEL OF THEIR INFLUENCE ON THE INDICATE OF SPECIFIC ELECTRICITY CONSUMPTION OF ROLLING STOCK 120

Specialty 122

Shumova L.O., Yachmenev A.V.
ANALYTICAL SUPPORT SOFTWARE FOR ONLINE STORE SALES ACCOUNTING……..128

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-7-12

УДК 004.41:004.9

OBJECT ADAPTATION OF DRAG AND DROP TECHNOLOGY FOR WEB-SYSTEM INTERFACE COMPONENTS

Ratov D.V.

ОБ'ЄКТНА АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ DRAG AND DROP ДЛЯ КОМПОНЕНТ ІНТЕРФЕЙСУ WEB-СИСТЕМИ

Ратов Д.В.

Today, in the development of information systems, cloud technologies are often used for remote computing and data processing. There are web technologies, and on their basis, libraries and frameworks have been developed for creating web applications and user interfaces designed for the operation of information systems in browsers. Ready-made JavaScript libraries have been developed to add drag and drop functionality to a web application. However, in some situations, the library may not be available, or there may be overhead or dependencies that the project does not need to use it. In such situations, an alternative solution provides the functionality of APIs available in modern browsers. The article discusses the current state of the methods of the Drag and Drop mechanism and proposes a programmatic way to improve the interface by creating a class for dragging and dropping elements when organizing work in multi-user information web systems. Drag and Drop is a convenient way to improve the interface. Grabbing an element with the mouse and moving it visually simplifies many operations: from copying and moving documents, as in file managers, to placing orders in online store services. The HTML drag and drop API uses the DOM event model to retrieve information about a dragged element and update that element after the drag. Using JavaScript event handlers, it is possible to turn any element of the web system into a drag-and-drop element or drop target. To solve this problem, a JavaScript object was developed with methods that allow you to create a copy of any object and handle all events of this object aimed at organizing the Drag and Drop mechanism. Basic algorithm of Drag and Drop technology based on processing mouse events. The software implementation is considered and the results of the practical use of object adaptation of the Drag and Drop technology for the interface components of the web system - the medical information system MedSystem, in which the application modules have the implementation of the dispatcher and the interactive window interface are presented. In the "Outpatient clinic" module, the Drag and Drop mechanism is used when working with the "Appointment sheet." In the "Hospital" module of the MedSystem medical information system, the Drag and Drop mechanism is used in the "List of doctor's appointments." The results of using object adaptation of Drag and Drop technology have shown that this mechanism organically fits into existing technologies for building web applications and has sufficient potential to facilitate and automate work in multi-user information systems and web services.

***Keywords**: object adaptation, Drag and Drop, information system.*

Introduction. Today, in the development of information systems, cloud technologies are often used for remote computing and data processing [1]. Cloud computing is a distributed data processing process in which computer resources and network capacity are provided to the user as an Internet service [2]. Cloud technology inherently implements the processes of creating cloud applications and organizes work with them, without the introduction of additional software. Typically, for such applications, functionality is created in a web browser environment. Such a software product is a client-server application with a Web interface that provides the user with the ability to access data from any active point, provided that they are connected to the Internet [3].

For effective interaction of the client with remote data without completely reloading the current page, the user interface template [4] is used, which is put into the structure of modules that implement controls, input, sending and receiving data in the form of windowed web-forms with their inherent functionality in the browser context. A web form in work means an independent fragment of the user interface with its own logic of behavior, for the display of which the template objects of the module are used. One of the purposes of such a module is to reuse it. This allows you to define the functionality of objects once and use them in different contexts and information systems.

Today there are web technologies, and libraries and frameworks developed on their basis for creating web applications and user interfaces intended for the operation of information systems in browsers [5, 6, 7,

8]. The processes of standardization of HTML [9], CSS [10] and javascript [11] languages allowed achieving not only a high degree of cross-platform user interfaces, but also a fairly good degree of cross-browser compatibility, so the use of appropriate standards when building Web applications has become the dominant approach.

Purpose of the study. Creation of a JavaScript class for components of a web-system with implementation in the context of the user interface of the Drag and Drop mechanism.

Description of software tools. Drag and drop is a common user action found in many graphical user interfaces. There are JavaScript libraries out of the box for adding drag and drop functionality to a web application. However, in some situations, the library may not be available, or there may be overhead or dependencies that the project does not need to use it. In such situations, an alternative solution provides the functionality of APIs available in modern browsers.

Drag'n'Drop is a convenient way to improve the interface. Capturing an element with a mouse and moving it visually simplifies many operations: from copying and moving documents (as in file managers) to placing orders in online store services.

In modern HTML5 standard there isDrag and Drop section, which introduces special events for Drag'n'Drop transfer, such as dragstart, dragend [12]. They are remarkable in that they make it easy to solve simple problems. For example, transferring a file to a browser, with the ability to access its contents. But there are also limitations: there is no organization of the transfer "only horizontally" or "only vertically", it is impossible to restrict the transfer within a given zone. There are other front-end tasks that are not implemented by such built-in events. Also, mobile devices don't support them well.

Firefox and other Mozilla applications have a number of drag and drop options. This allows the user to press and hold down the mouse button over the element, move it to a different position; by releasing the mouse button, the user can leave the element at the new position. Throughout the move operation, the semi-transparent representation of the element follows the mouse cursor. The new position of the element can be located in a completely different application. Websites and XUL applications can use this functionality to determine which elements on a page can be moved, as well as to determine which elements can be moved to.

API interface HTML Drag and Drop uses the DOM event model to get information about the element being dragged and update that element after dragging. With JavaScript event handlers, it is possible to turn any element of the web system into a drag-and-drop element or a drag-and-drop target.

Algorithmic and software implementation. In this paper, we have considered creating a class for drag-and-drop elements using the HTML Drag and Drop API with JavaScript without extensions. At the same time, object adaptation and implementation of Drag'n'Drop technology takes place using mouse event handlers.

The basic algorithm of the Drag'n'Drop technology (Fig. 1), based on processing mouse events:

1. When the mousedown event occurs - we prepare the element for movement - create a copy of it and place the copy (avatar) in the same place, but in absolute coordinates (Fig. 2, lines 14-31).
2. When the mousemove event occurs, move the avatar object to new coordinates - under the coordinates of the cursor, by changing left / top at position: absolute and shifting them by half the width / height for centering (Fig. 2, lines 35-37).
3. Tracking the end of the transfer (Fig. 2, line 40), when the mouseup event of the avatar object occurs, we stop the transfer of the avatar element and perform actions related to the end of Drag'n'Drop - we execute the function whose name is passed as the 2nd parameter (Fig. 2, line 50).

The browser for pictures and some other elements has its own ondragstart handler for the Drag'n'Drop event, which is automatically launched and may conflict with the custom one. Therefore, it must be disabled (Fig. 2, line 20).

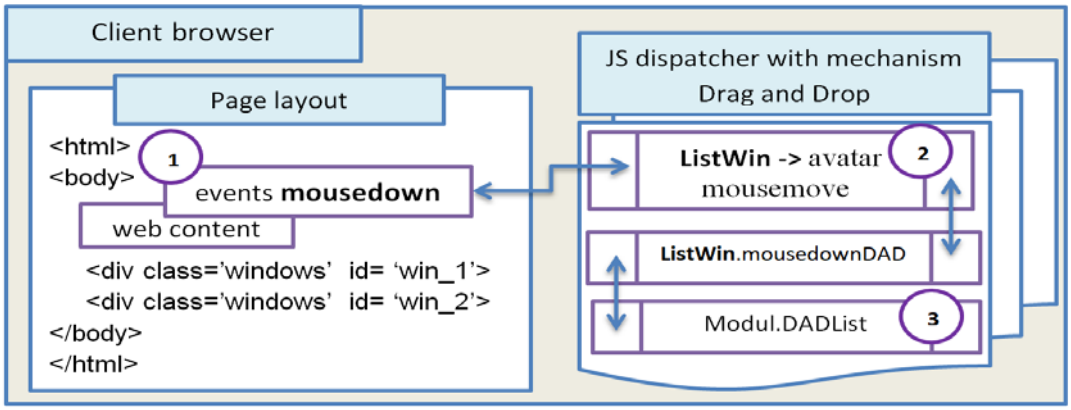


Fig. 1. Scheme of the basic Drag'n'Drop algorithm based on handling mouse events

```
12  ListWin.mousedownDAD = function(object, funcMouseUp, hideClone) {
13  let main = this,
14      avatar = object.cloneNode(true),
15      styleDefault = object.style.border;
16
17      main.moveElement = object;
18      main.avatar = avatar;
19      object.style.border = '4px dotted #c8300e';
20      avatar.ondragstart = function() { return false; }
21
22      avatar.style.position = 'absolute';
23      avatar.style.left = event.clientX + 'px';
24      avatar.style.top = event.clientY + 'px';
25      avatar.style.width = object.offsetWidth + 'px';
26      avatar.style.height = object.offsetHeight + 'px';
27      avatar.style.zIndex = 10000;
28      avatar.style.border = 'solid 2px #c8300e';
29      avatar.style.color = '#0e72a8';
30      avatar.style.background = '#ffffff';
31      avatar.hideClone = (hideClone!=undefined ? hideClone : true);
32
33      document.body.appendChild(avatar);
34
35      document.onmousemove = function(e) {
36          avatar.style.left = e.pageX - avatar.offsetWidth / 2 + 'px';
37          avatar.style.top = e.pageY - avatar.offsetHeight / 2 + 'px';
38      }
39
40      avatar.onmouseup = function() {
41      let downEl = null, downTh = null;
42          avatar.hidden = true;
43          main.downElement = document.elementFromPoint(parseInt(avatar.style.left, 10),
44                                                       parseInt(avatar.style.top, 10));
45          avatar.hidden = false;
46          document.onmousemove = null;
47          avatar.onmouseup = null;
48          if (avatar.hideClone) avatar.parentNode.removeChild(avatar);
49          object.style.border = styleDefault;
50          (new Function(funcMouseUp))();
51      }
52  }
```

Fig. 2. The mousedownDAD method of the ListWin dispatcher, which implements the Drag'n'Drop algorithm

```
1  var ListWin = new ListWin();
2
3  <img src="img/medlist.png"
4      style="margin-top:-24px; width:48px; height:60px;"
5      data-idlist="'. $rec['idList'] .'"
6      data-fio="'. $FIO .'"
7      data-datein="'. $dateIn .'"
8      onclick="Modul_Ambulatoria.addList('.$rec['idList'].', \''. $FIO .'\')"
9      onmousedown="ListWin.mousedownDAD(this, 'Modul_Ambulatoria.DADList()', false)" >
```

Fig. 3. Creating a ListWin manager object and img component with the implementation of the drag and drop mechanism

In step 2 of the basic algorithm (Fig. 2, line 35), the mousemove event is tracked on the document object, not the avatar object. This is because the mousemove event occurs frequently, but not for every pixel. Therefore, fast movement may cause the pointer to move off the avatar drag and end up in the middle of the document or outside of the window.

When you finish dragging, the dragged avatar is positioned over another "dragging target" object. The DOM has a method elementFromPoint (clientX, clientY) that returns the most deeply nested element at the specified window coordinates (or null if the specified coordinates are outside the window). We use it to find out which potential target the avatar is on from the onmouseup mouse event handler for the avatar object (Fig. 2, line 43).

In this case, it is necessary to hide the avatar before calling the function (Fig. 2, line 42). Otherwise, the avatar object itself will be obtained from these coordinates, because it is located directly under the pointer. After defining the goal, we show it back (Fig. 2, line 45). On line 50, in the constructor, we create a Function object with a direct call to the funcMouseUp function, the name of which is passed as the second parameter to the mousedownDAD callback function.

In Fig. 3 shows an example of implementing the Drag'n'Drop mechanism into the img component of a web-system. This procedure is accomplished by

assigning the mousedownDAD method (Fig. 3, row 9) to the ListWin dispatcher as a callback function for the mouse click event on the drag object. The second parameter is the target function handler.

The execution of the target function, whose name is in the funcMouseUp parameter, is triggered when the mouse release event occurs on the drag target. The DADList callback function (Fig. 4), when activated, does the following:

1. Checks if the object was moved or if there was a click on the object itself (Fig. 4, line 62).
2. If the transfer was to the patient's record (Fig. 4, line 68), then an asynchronous request to the server is made (Fig. 4, line 72) with the necessary subsequent actions to update the data (Fig. 4, line 74-82) on the system form.
3. If the transfer was to the system desktop (Fig. 4, line 85), then the actions to create and operate a clone of the object are performed (Fig. 4, lines 86-94).

Implementation results. Practical implementation of an object with support for the Drag and Drop mechanism is presented in the medical information system under development MedSystem [13], in which application modules have a dispatcher and an interactive window interface. In the "Outpatient" module, the Drag and Drop mechanism is used when working with the "Appointment sheet" (Fig. 5). When transferring the “Destination sheet” element, a copy of the sheet is created (Fig. 5, a, c), for which the context menu (Fig. 5, b) with the necessary action items is active.

Transfer of the sheet is possible without creating a copy - directly to the patient's card (Fig. 5, d). This drag-and-drop operation will immediately attach the transferred assignment sheet to the desired patient.

In the "Hospital" module of the MedSystem medical information system, the Drag and Drop mechanism is used in the "List of doctor's appointments" (Fig. 6). When you drag the selected day to another day, the prescriptions of all drugs for that day are copied (Fig. 6, a) from the day of the source. When dragging one drug onto another (Fig. 6, b), the two drugs are combined into a solution. This functionality of dragging and dropping system components facilitates and automates the doctor's work.

```
56  Modul_Ambulatoria.DADList = function(){
57  let el1 = ListWin.moveElement,  Set = el1.dataset,
58      el2 = ListWin.downElement,  clone = ListWin.avatar,
59      data = {}, cloneSet = clone.dataset,
60      moveElement = ListWin.moveElement;
61
62      if (el1==el2){
63          clone.parentNode.removeChild(clone);
64          if(moveElement.parentNode.tagName=='DIV')
65              Modul_Ambulatoria.addList(Set.idlist, Set.fio);
66      }
67      else {
68          if (el2.dataset.client=='clientList'){
69              data.param = 'moveList';
70              data.idlist = el1.dataset.idlist;
71              data.idclient = el2.dataset.idkarta;
72              this.XHR.query(data, 'php/getAmbulatoria.php');
73              this.XHR.request.onreadystatechange = function(){
74                  if (this.readyState == 4 && this.status == 200){
75                          answer = this.responseText.split('&');
76                          if (answer[0]=='ok') {
77                              clone.parentNode.removeChild(clone);
78                              Modul_Ambulatoria.refreshBaza();
79                          }
80                          else ShowMessage.load('Увага!', answer[1], [425, 150],
81                                  undefined, 'font-size:22px; color:#b72020');
82                  }
83              };
84          }
85          else{
86              if (clone.dataset.vid == 'clone'){
87                  moveElement.parentNode.removeChild(moveElement);
88              }
89              else {
90                  clone.dataset.vid = 'clone';
91                  clone.className = 'task';
92                  if(this.arDublikat.indexOf(cloneSet.idlist) !== -1)
93                      clone.parentNode.removeChild(clone);
94                  else this.arDublikat.push(cloneSet.idlist);
95              }
96          }
97      }
98  };
```

Fig. 4. DADList callback target function handler

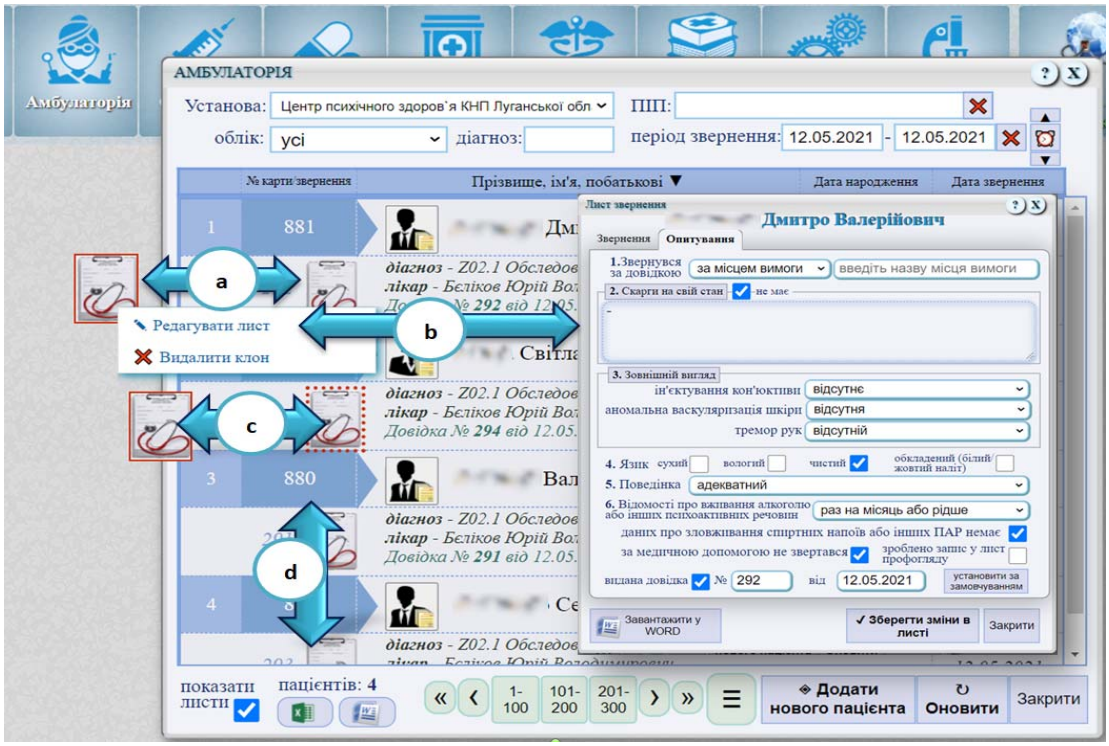


Fig. 5. Implementation of the Drag and Drop mechanism in the "Outpatient clinic" module

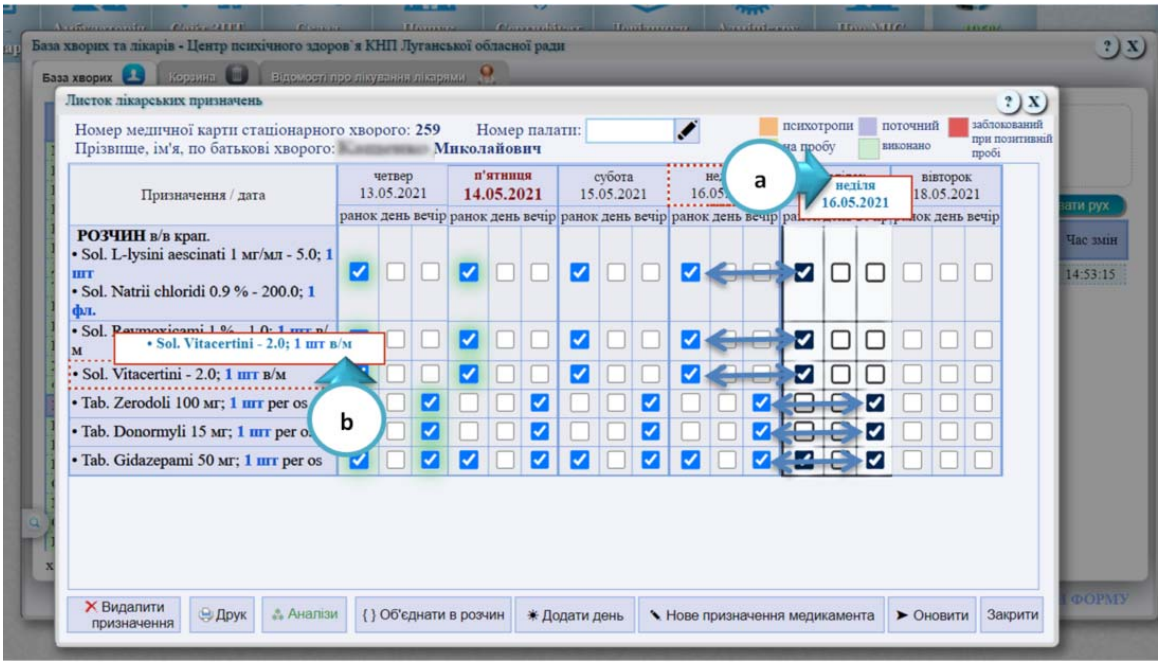


Fig. 6. Implementation of the Drag and Drop mechanism in the "Stationary" module

Conclusions. The results of using object adaptation of Drag and Drop technology have shown that this mechanism organically fits into existing technologies for building web applications and has sufficient potential to facilitate and automate work in multiuser information systems and web services.

References

1. Medvedev A. Cloud technologies: development trends, examples of execution // Modern automation technologies. 2013. No. 2. P. 6-9
2. Papadopoulos A., Katsaros D. A-Tree: Distributed Indexing of Multidimensional Data for Cloud Computing Environments. Third IEEE Intl Conf. on Cloud Computing Technology and Science, 2011, pp. 407-414.
3. Crane D., Pascarello E. Ajax in action. Moscow: Ed. house "Williams", 2006.

4. Ratov D. Architectural paradigm of the interactive interface module in the cloud technology model. Applied Computer Science. 2020. Vol. 16, No. 4. P. 48–55.
5. MVP architecture. Url:http://www.gwtproject.org / articles / mvp-architecture.html (date accessed: 05/15/2021).
6. jQuery. URL: http://jquery.com/ (date of access: 05/15/2021).
7. AngularJS - Superheroic JavaScript MVW Framework. URL: http://angularjs.org/ (date accessed: 05/15/2021).
8. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Techniques of object-oriented design. Design patterns. SPb. : Peter, 2001.368 p.
9. HTML 4.01 Specification. Url:https://www.w3.org/ TR / html401 / (date accessed: 05/15/2021).
10. Cascading Style Sheets Level 2 Revision 1 (CSS 2.1) Specification. URL: https://www.w3.org/TR/CSS22/ (date accessed: 05/15/2021).
11. ECMAScript Language Specification - ECMA-262 Edition 5.1. URL: http://www.ecma-international.org/ecma-262/5.1/ (date accessed: 05/15/2021).
12. Stoyan Stefanov. Javascript. Templates. St. Petersburg, 2011, 263 p.
13. Ratov D.V. Model of the module for the interface of the information web-system. Mathematical machines and systems. 2020. No. 4. P. 74–.81.

Література

1. Медведев А. Облачные технологии: тенденции развития, примеры исполнения // Современные технологии автоматизации. 2013. № 2. С. 6–9
2. Papadopoulos A., Katsaros D. A-Tree: Distributed Indexing of Multidimensional Data for Cloud Computing Environments. Third IEEE Intl Conf. on Cloud Computing Technology and Science, 2011, pp. 407–414.
3. Крейн Д., Паскарелло Э. Ajax в действии. М.: Изд. дом «Вильямс», 2006.
4. Ratov Denis Architectural paradigm of the interactive interface module in the cloud technology model. Applied Computer Science. 2020. Vol. 16, N 4. P. 48–55.
5. Архитектура MVP. URL: http://www.gwtproject.org/articles/mvp-architecture.html (дата звернення: 15.05.2021).
6. jQuery. URL: http://jquery.com/ (дата звернення: 15.05.2021).
7. AngularJS — Superheroic JavaScript MVW Framework. URL: http://angularjs.org/ (дата звернення: 15.05.2021).
8. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Патерны проектирования. СПб. : Питер, 2001. 368 с.
9. HTML 4.01 Specification. URL: https://www.w3.org/TR/html401/ (дата звернення: 15.05.2021).
10. Cascading Style Sheets Level 2 Revision 1 (CSS 2.1) Specification. URL: https://www.w3.org/TR/CSS22/ (дата обращения: 15.05.2021).
11. ECMAScript Language Specification - ECMA-262 Edition 5.1. URL: http://www.ecma-international.org/ecma-262/5.1/ (дата звернення: 15.05.2021).
12. Стоян Стефанов. Javascript. Шаблоны. Санкт-Петербург, 2011. 263 с.
13. Ратов Д.В. Модель модуля інтерфейсу користувача інформаційної web-системи. Математичні машини і системи. 2020. № 4. С. 74–81.

Ратов Д.В. Об'єктна адаптація технології drag and drop для компонентів інтерфейсу веб-системи

Сьогодні при розробці інформаційних систем хмарні технології часто використовуються для віддалених обчислень та обробки даних. Існують веб-технології, а на їх основі розроблені бібліотеки та фреймворки для створення веб-додатків та користувальницьких інтерфейсів, призначених для роботи інформаційних систем у браузерах. У статті розглядається сучасний стан методів для реалізації механізму перетягування компонент та пропонується програмний спосіб вдосконалення інтерфейсу шляхом створення класу для елементів перетягування при організації роботи в багатокористувацьких інформаційних веб-системах. Drag'n'Drop - це зручний спосіб покращити інтерфейс. Захоплення елемента мишкою та його візуальне переміщення спрощує багато операцій: від копіювання та переміщення документів (як у файлових менеджерах) до розміщення замовлень в послугах Інтернет-магазину. API перетягування HTML використовує модель події DOM для отримання інформації про перетягнутий елемент та оновлення цього елемента після перетягування. За допомогою обробників подій JavaScript можна перетворити будь-який елемент веб-системи в елемент Drag'n'Drop. Для вирішення цієї проблеми були розроблені об'єктні методи JavaScript, які дозволяють створювати копію об'єкта та обробляти всі події, спрямовані на організацію механізму Drag'n'Drop. Розглянуто програмну реалізацію та представлено результати практичного використання об'єктної адаптації технології Drag and Drop для компонентів інтерфейсу веб-системи - медичної інформаційної системи MedSystem. Результати використання об'єктної адаптації технології Drag and Drop показали, що цей механізм органічно вписується в існуючі технології побудови веб-додатків і має достатній потенціал для полегшення та автоматизації роботи в багатокористувацьких інформаційних системах та веб-сервісах.

Ключові слова: *адаптація об'єкта, Drag and Drop, інформаційна система.*

Ратов Денис Валентинович – к.т.н., доцент кафедри програмування та математики, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), ratov@snu.edu.ua

Стаття подана 18.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-13-20

УДК 004.4

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЕКО-ЕНЕРГО-ЕКОНОМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ (ОБЛАСТІ, РАЙОНУ ТА МІСТА)

Сліпченко В.Г., Полягушко Л.Г., Круш О.Є.

THE SYSTEM OF COMPLEX ECO-ENERGY-ECONOMIC MONITORING TO OPTIMIZE MANAGEMENT DECISIONS (REGION, DISTRICT AND CITY)

Slipchenko V.G., Poliahushko L.G., Krush O.E.

У статті розглянуто питання розробки системи комплексного еко-енерго-економічного моніторингу для ефективного прийняття управлінських рішень для забезпечення високої якості життя та здоров'я населення. Система дозволяє проводити моніторинг області, району та міста експертами різного профілю, а саме, еколог, енергетик, економіст, лікар, юрист та аналітик. Такий набір експертів охоплює всі важливі аспекти екологічного, економічного та соціального розвитку населення. Запропонована модульна архітектура системи є універсальною та легкою для модернізації, при додаванні нових функціональних можливостей не вимагає перероблення усього комплексу, а лише одного модуля – розрахункового, інші модулі потребують мінімальних змін або взагалі не змінюються. Отримані результати знайшли своє практичне та наукове застосування під час проведення наукових досліджень та підготовки спеціалістів по комп'ютерним наукам та інформаційним технологіям, а також фахівців по екологічній безпеці.

Ключові слова: *комплексний еко-енерго-економічний моніторинг, архітектура системи, програмний модуль, експерт, прийняття рішень.*

Вступ. Глобальна індустріалізація, урбанізація, транспортні системи, сільське господарство і виробництво енергії створюють величезне навантаження на навколишнє середовище. Стан навколишнього середовища впливає на якість життя та стан здоров'я населення. Для нейтралізації наслідків негативного впливу необхідно здійснювати постійний контроль та аналіз стану довкілля, а також визначати екологічні та медичні ризики з метою забезпечення оптимальних режимів викидів забруднюючих речовин в довкілля, при цьому забезпечуючи економічне зростання промисловості. Цього можна досягти використовуючи сучасні інформаційні технології, а саме системи моніторингу та прогнозування соціальних процесів.

Літературний аналіз показав, що в світі розроблено велику кількість інформаційних систем моніторингу довкілля, які використовуються в якості програмних ресурсів підтримки прийняття рішень в області охорони навколишнього природного середовища в зонах впливу об'єктів підвищеної небезпеки [1]. Всі системи успішно функціонують, є оригінальними та націленими на вирішення конкретного кола задач екологічної та радіаційної безпеки як в Україні так і по всьому світу, але наразі не існує систем для проведення комплексного аналізу стану території за екологічними, економічними, енергетичними та медичними показниками. Тому актуальною задачею є розробка системи комплексного еко-енерго-економічного моніторингу (КЕЕЕМ), що забезпечує роботу експертів у сфері екології, економіки, енергетики, медицини, юриспруденції, оскільки завдяки комплексному підходу можна покращити якість життя та здоров'я населення проживаючого на досліджуваній території.

Метою роботи є розробка гнучкої до змін структури системи комплексного еко-енерго-економічного моніторингу, яка враховує потреби різних експертів, що приймають участь у комплексному моніторингу . Архітектура системи повинна забезпечувати легке розширення функціоналу, складатись з блоків, бути легкою у обслуговуванні, забезпечувати відмовостійкість, надійність та масштабованість.

Для вирішення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Аналіз існуючих систем у сфері моніторингу.
2. Визначення набору експертів КЕЕЕМ та їх функцій.

3. Обґрунтування вибору архітектури програмної системи.

4. Опис запропонованої структури системи КЕЕЕМ.

Аналіз існуючих систем у сфері моніторингу.

У світі використовується велика кількість автоматизованих систем для моніторингу навколишнього середовища та вивчення його впливу на якість життя населення. Усі системи можна умовно поділити на такі групи в залежності від функцій та завдань моніторингу:

- програмні продукти для автоматизації процесів обробки експериментальних даних і формування звітності хіміко-аналітичних лабораторій екологічного контролю. Класичними представниками є: система екологічного моніторингу навколишнього середовища (СЕМНС) [2] та Апаратно-програмний комплекс екологічного моніторингу атмосферного повітря (АКІАМ) [3];
- спеціалізоване програмне забезпечення для проведення розрахунків екологічних показників на основі затверджених методики державними установами країн, наприклад, методики оцінки якості навколишнього природного середовища з урахуванням антропогенного впливу та визначення впливу на стан здоров'я населення, проживаючого чи працюючого на досліджуваній території. Класичними представниками є: ПК «ЭРА» [4], ЕПК «РОСА» [5], ПК «EOL» [6], УПРЗА «Эколог» [7];
- програми і програмні пакети для формування актуальних форм екологічної звітності природокористувачів, наприклад, формування статистичних звітів та звіту по виплатам за негативний вплив на навколишнє середовище. Класичними представниками є: окремі модулі ПК «ЭРА» [4] та ЕПК «РОСА» [5], інтернет-додаток «Екозвіт» у складі ПК «ЕОЛ» [6], а також Автоматизована система управління природоохоронною діяльністю (АСУПД) [8];
- геоінформаційні системи в сфері екології, що забезпечують відображення екологічних показників на карти відповідної місцевості. Класичними представниками є: ЭкоГИС як компонент ЕПК РОСА [5], Веб-інформаційна система «Відкрите довкілля» [9], ГИС-экология [10], універсальні пакети ArcView та ArgINFO [11];
- програмні пакети, призначені для територіальних екологічних служб, що дозволяють реєструвати, зберігати і обробляти інформацію про промислові об'єкти, в тому числі їх екологічну звітність, дозвільну документацію, тощо. Класичними представниками є комплекс програм «ЭКОЛОГИЯ» [12] та ГИС-экология [10];
- інформаційно-правові системи – це збірники актуальних законів та підзаконних актів, в тому числі в сфері екології, зі зручним інтерфейсом і пошуковою системою. Класичними представниками є: «Парус-Консультант» [13], «ЛІГА ЗАКОН» [14], «Консультант-ПЛЮС» [15] та «Гарант» [16];
- програмні пакети загального (офісні пакети) і загально-інженерного (системи автоматизованого проектування, прикладні математичні пакети) призначення. Класичними представниками є Auto-CAD та MS Office.

Це досить умовна класифікація, але вищезазначений розподіл на функціональні групи, дозволяє максимально структурно оцінити існуючий стан справ у сфері автоматизації еколого-соціальних процесів [17].

Отже, сучасний фахівець в області охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення для прийняття управлінських рішень на основі усестороннього комплексного аналізу ситуації повинен користуватися цілим набором програмних продуктів, оскільки немає єдиного комплексу для вирішення прикладних задач у сфері екології, енергетики, медицини, економіки та юриспруденції.

Визначення набору експертів системи, їх функції та алгоритму взаємодії між собою.

Система КЕЕЕМ запропонована в рамках виконання науково-технічної програми «Розробка науково-методичних основ системи прогнозування генетичного ризику впровадження нових технологій та забруднення навколишнього середовища «ГРАНІТ», яка розроблена на виконання Указу Президента України від 17 січня 1995 року № 53/95 «Про систему прогнозування генетичного ризику впровадження нових технологій та забруднення навколишнього середовища» [1, 18] та призначена для прийняття ефективних соціальних, екологічних та економічних рішень на рівнях державної, регіональної та місцевої влади, що потребує проведення всебічного моніторингу території фахівцями різних галузей, тому запропонована система забезпечує підтримку робочих місць експертів, що здійснюють спостереження за станом навколишнього середовища, досліджують антропогенний вплив та надають рекомендації щодо мінімізації ризику для здоров'я населення, що потратило до зони забруднення довкілля шкідливими речовинами. Система КЕЕЕМ забезпечує взаємодію між собою та з системою наступні категорії експертів (рис. 1):

Еколог – забезпечує збір первинної інформації про стан компонентів навколишнього середовища (атмосфери, гідросфери та літосфери), актуалізує інформацію про забруднювачі довкілля, оцінює рівень небезпеки (зокрема, нормування по граничнодопустимим концентраціям, визначення індексів забруднення тощо), прогнозує розвиток екологічної ситуації в зоні забруднення, формує перелік екологічних заходів для нейтралізації наслідків забруднення.

Лікар – формує базу даних (БД) про стан здоров'я населення, визначає ступень ризику розвитку захворювань в залежності від екологічного стану в контрольованій зоні, прогнозує захворюваності в майбутньому та пропонує комплекс медичних та соціальних заходів щодо профілактики, лікування та реабілітації населення.

Рис. 1. Схема взаємодії експертів системи.

Енергетик – формує базу даних про енергетичне забезпечення населення, проводить енергоаудит, формує зведений та прогнозний енергобаланс, проводить аналіз зони на можливість мінімізації використання природніх ресурсів, пропонує заходи для нейтралізації негативного впливу на стан довкілля паливно-енергетичного комплексу.

Економіст – проводить розрахунки збитків від наднормових викидів, скидів, надзвичайних ситуацій, а також визначає оптимальний за вартістю варіант виконання заходів, запропонованих іншими експертами (еколог, лікар, енергетик), на основі відомостей про наявні ресурси у відповідних міністерствах та відомствах.

Юрист – формує нормативно-законодавчу базу в сфері екологічного моніторингу та соціального захисту населення, надає пропозиції щодо покарання порушників екологічного законодавства та підтверджує законність запропонованих заходів іншими експертами.

Аналітик – особа, що приймає рішення щодо формування плану проведення комплексу заходів на основі аналізу рекомендацій інших експертів (еколог, енергетик, лікар, економіст), проводить аналіз сформованої ситуації і надає остаточні рішення.

Адміністратор – забезпечує функціонування бази даних, актуалізацію та захист інформації.

Функціонування КЕЕЕМ здійснюється за таким алгоритмом:

1. Експерт-аналітик реєструє задачу у системі, визначає на карті регіон, який охоплює задача, зберігає її назву та опис (рис. 2).

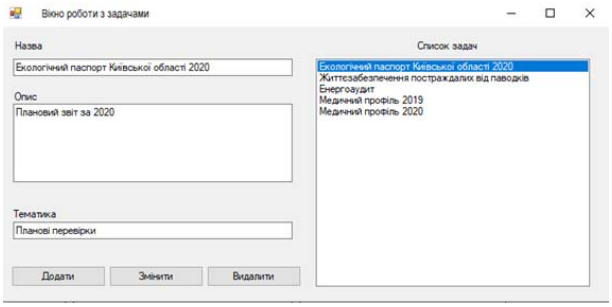


Рис. 2. Реєстрація задачі експертом аналітиком.

2. Юрист прикріплює до задачі законодавчі документи, які регламентують обов'язкові заходи (рис. 3).

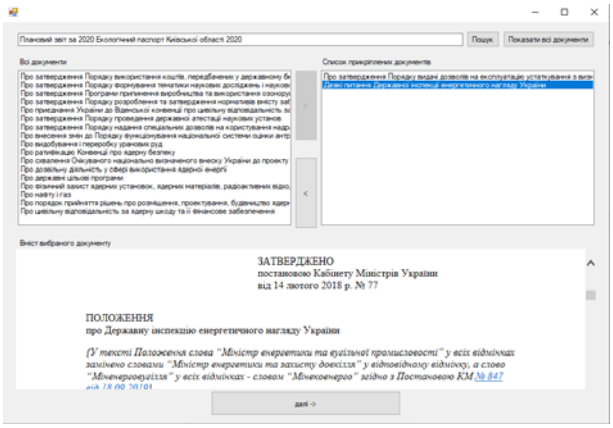


Рис. 3. Додання законодавчих документів до заходу

3. Еколог, лікар, енергетик, економіст збирають всі необхідні параметри, наносять на карту (або обирають на карті) об'єкти, які відносяться до задачі (підприємства, точки збору інформації, області забруднення тощо) (рис. 4) і проводять розрахунок показників-маркерів (рис. 5), спираючись на дані один одного. При цьому набір формул для розрахунку формується відповідно до актуальної методики та вибраного експерта, який проводить розрахунки.

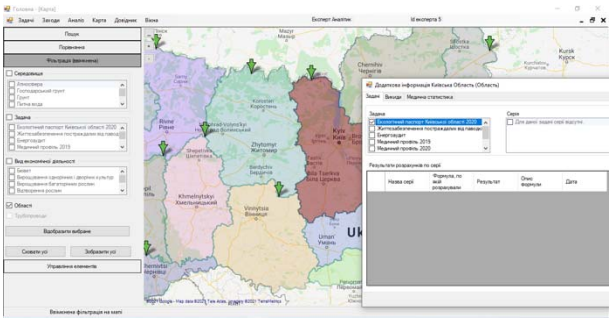


Рис. 4. Візуалізація об'єктів на карті

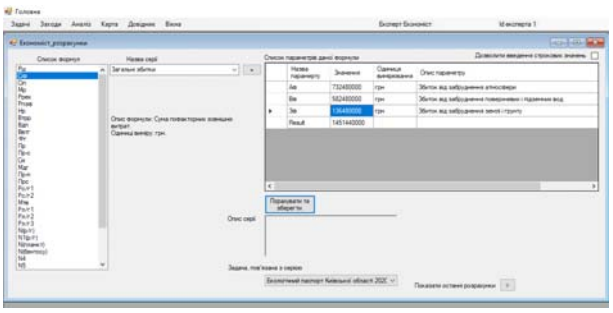


Рис. 5. Проведення розрахунків по задачі

Всі експерти, крім аналітика, на основі отриманої інформації про задачу та проведеного аналізу пропонують заходи для покращення екологічної ситуації та мінімізації негативного впливу на стан здоров'я населення (рис. 6).

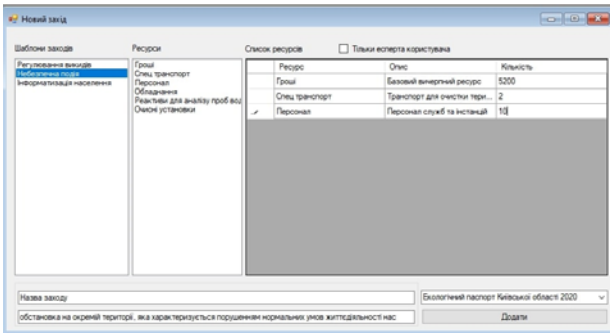


Рис. 6. Додання заходів для покращення ситуації

4. Юрист розглядає кожен запропонований захід на відповідність законодавству України, підтверджує законність та додає до заходу нормативно-правові документи, на основі яких було винесене відповідне рішення (рис. 7).

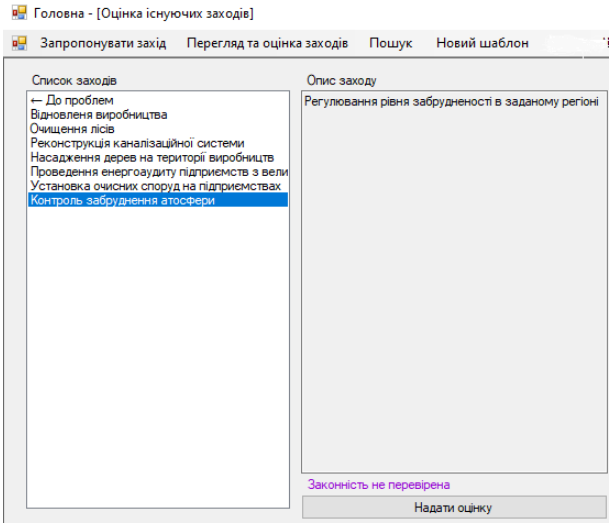


Рис. 7. Підтвердження законності заходу

5. Аналітик формує програму вирішення поставленої задачі, на основі запропонованих експертами заходів, оцінки законності, наявності необхідних ресурсів, вартості виконання заходів, їх пріоритету та оцінки ефективності (рис. 8).

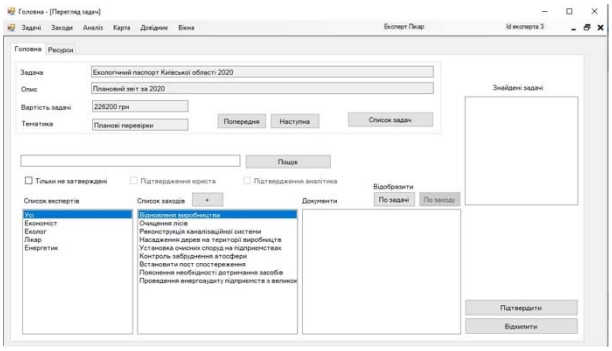


Рис. 8. Перегляд аналітиком запропонованих заходів по задачі

Запропонований перелік експертів дозволяє охопити всі важливі аспекти екологічного, економічного та соціального розвитку громади та забезпечити ефективне прийняття управлінських рішень для сталого розвитку території та покращення стану здоров'я населення.

Обґрунтування вибору архітектури програмної системи.

Існуючі програмні системи орієнтуються на кращі архітектурні рішення у сфері проектування програмного забезпечення і тому складаються з набору модулів або підсистем, але основна мета більшості систем – це інформаційне забезпечення екологічних підрозділів підприємств (розрахунки викидів забруднюючих речовин, екологічні звіти тощо) та окремих відділів державних установ у сфері охорони довкілля (видача дозволів, паспортизація викидів та небезпечних об'єктів тощо). Саме тому основний архітектурний принцип існуючих систем можна описати такою формулою «методика розрахунку або аналізу = модуль або підсистема».

Крім того, існуючі системи орієнтуються на одну окрему підсистему—моніторингу, а саме, моніторинг якості повітря, моніторинг стану вод суші, моніторинг прибережних вод, моніторинг стану ґрунтів, моніторинг радіаційного випромінювання.

Для більшого розуміння описаного підходу, розглянемо декілька програмних систем та особливості їх модульної архітектури. «Екологічний програмний комплекс РОСА» (ЕПК РОСА) містить такі модулі (вибрано лише декілька різнорідних модулів): Котельная, Нефтепродукт, Автотранспорт, Лесные пожары [19]. Програмний комплекс ЕОЛ (ПК ЕОЛ) містить такі модулі: Еол 2000, Утиліта «Показник ризику», Інтернет-додаток «Екозвіт», Еол (ГАЗ) 2000, Еол 4.3 + ФОН [20]. Обидва програмних комплекси працюють у підсистемі моніторингу якості повітря.

Кожен окремий модуль реалізує одну визначену методику розрахунку, автоматизує екологічну звітність підприємства та має вузьке направлення, оскільки орієнтується на кінцевого користувача, яким є підприємство у визначеній галузі. Такі модулі не дозволяють оцінити ситуацію комплексно для прийняття ефективного рішення на рівні міста, району чи області.

Комплексний же підхід потребує зовсім іншого архітектурного принципу. Архітектура системи комплексного моніторингу повинна враховувати велику кількість різнорідних підсистем, гнучкий набір експертів та необхідність проведення розрахунків за різними методиками. У такому випадку розбиття на структурні одиниці повинно бути за принципом «завдання або блок моніторингу = модуль або підсистема» та «загальні функції програмної системи = модуль або підсистема».

Під завданням моніторингу у даному контексті будемо розуміти такі поняття:

- спостереження за факторами впливу на навколишнє середовища;

- оцінювання фактичного стану довкілля (за різними напрямками, а не за одним критерієм);
- прогнозування стану навколишнього середовища і його оцінювання;
- визначення обсягу антропогенної дії на навколишнє середовище;
- встановлення факторів і джерел забруднення навколишнього природного середовища;
- виявлення критичних та екстремальних ситуацій, що порушують екологічну безпеку;
- оцінка якості життя населення та визначення ризиків для здоров'я.

Під блоками моніторингу будемо розуміти: «Спостереження за довкіллям», «Оцінювання фактичного стану довкілля», «Прогнозування стану довкілля», «Оцінювання прогнозованого стану довкілля» [21].

У даному випадку немає розділення на методики розрахунку або підсистеми моніторингу, оскільки, наприклад, завдання «оцінювання фактичного стану довкілля» передбачає, що задіяні усі підсистеми моніторингу.

Такий підхід дозволяє проводити комплексний моніторингу стану довкілля та без значних доопрацювань коду додавати нових експертів та розрахункові, аналітичні, моделюючі модулі в систему.

Опис структури системи комплексного моніторингу.

Для реалізації системи КЕЕЕМ було запропоновано особливий модульний підхід, що відповідає принципам гнучкості коду та уніфікованості структури, а також дозволяє швидко та легко додавати нових експертів та модулів в систему.

Загальна структура КЕЕЕМ складається з двох типів модулів (рис. 9):

- модулі загального користування (відповідають формулі «загальні функції програмної системи = модуль або підсистема»);
- спеціалізовані модулі (відповідають формулі «завдання або блок моніторингу = модуль або підсистема»).

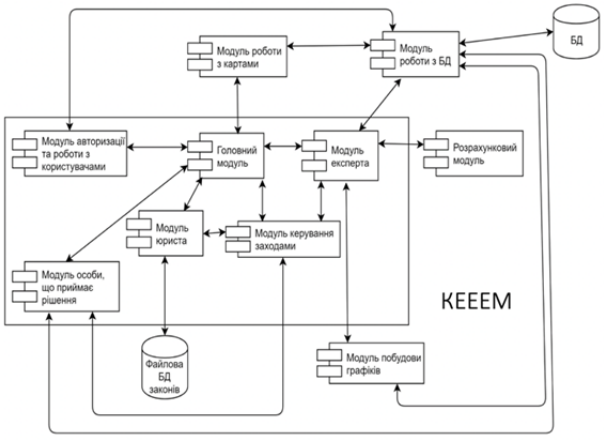


Рис. 9. Модульна структура системи КЕЕЕМ

До модулів загального користування відносяться:

- головний модуль по суті є контейнером, для усіх вікон системи та організує інтерфейс взаємодії з користувачем через пункти меню;
- модуль авторизації та роботи з користувачами дозволяє адміністратору реєструвати нових користувачів та актуалізувати їх дані, забезпечує вхід користувача до системи та відкриття робочого місця відповідно до типу та прав експерта;
- модуль роботи з БД реалізує функції взаємодії з базою даних, тобто збереження, редагування, видалення та вибірка даних (модуль не орієнтується на конкретну структуру та формат БД);
- модуль експерта організує загальний інтерфейс роботи експерта с набором розрахункових формул та їх параметрів, він не проводить розрахунки, а лише дозволяє для поточного експерта обирати формули з набору формул та вводити дані, необхідні для розрахунків. Модуль зв'язаний з розрахунковим модулем, оскільки передає введені дані для розрахунку та відображає отримані результати. Додавання нової методики або нового різновиду експерту у систему не вимагає перероблення цього модулю.

До спеціалізованих модулів відносяться:

- модуль роботи з картами забезпечує взаємодію користувача з картою, відображення елементів та нанесення нових об'єктів на карту (модуль також не має прив'язки до конкретного експерту, типу карти, а містить набор загальних функцій для всіх можливих дій над картами) – цей модуль використовується на всіх етапах моніторингу, зв'язаних з візуалізацією зібраних даних та результатів розрахунку;
- модуль побудови графіків дозволяє відобразити інформацію на різних типах графіків за гнучким набором показників в залежності від потреб експерта – як елемент аналізу є незамінним інструментом під час оцінки стану довкілля (модуль також немає прив'язки до експерту або методики, він містить набір різноманітних можливостей статистичного графічного аналізу);
- модуль керування заходами дозволяє користувачу додавати нові заходи та актуалізувати інформацію про існуючі;
- розрахунковий модуль забезпечує проведення аналізу ситуації в залежності від наявного аналітичного функціоналу кожного експерта – цей єдиний елемент системи, що потребує значних змін при додаванні нових експертів або нової методики розрахунків, але для простоти внесення змін він також розділений на модулі, кожен з яких реалізує одну методику або набір методик для одного експерта;
- модуль юриста є спеціалізованим модулем, який включає в себе не тільки стандартні механізми пошуку по законодавчій базі (функція юридичного супроводження експертів), а й механізми прив'язки законодавчих документів до задачі та юридичну оцінку законності запропонованих заходів;

• модуль аналітика (особи, що приймає рішення) дозволяє користувачу проаналізувати заходи та сформувати програму вирішення задачі.

Перевагою вищеописаного підходу до побудови структури проекту заключається в тому, що наприклад для додання нового експерту нам необхідно лише додати інформацію про експерта в таблицю експертів та додати розрахунки по методикам в розрахунковий модуль, всі інші модулі, наприклад, модулі для роботи з картою, проведення розрахунків та відображення результатів, побудова графіків та додавання заходів, залишаються незмінними.

Висновки. У роботі розроблена система комплексного еко-енерго-економічного моніторингу для ефективного прийняття управлінських рішень для забезпечення високої якості життя та здоров'я населення і сталого розвитку району, міста й області. Система КЕЕЕМ дозволяє проводити моніторинг експертами різного профілю, а саме, еколог, енергетик, економіст, лікар, юрист та аналітик. Такий набір експертів охоплює всі важливі аспекти екологічного, економічного та соціального розвитку населення. Запропонована модульна архітектура системи є універсальною та легкою для модернізації, при додаванні нових функціональних можливостей не вимагає перероблення усього комплексу, а лише одного модуля – розрахункового, інші модулі потребують мінімальних змін, або взагалі не змінюються. Отримані результати знайшли своє практичне та наукове застосування під час проведення наукових досліджень та підготовки спеціалістів по комп'ютерним наукам та інформаційним технологіям, а також фахівців по екологічній безпеці.

Література

1. Моніторинг та прогнозування генетичного ризику в Україні (матеріали наукових досліджень за програмою «ГРАНІТ» 1999 року) / В. Г. Сліпченко та ін.; За заг. ред. В. Г. Сліпченка. 2-ге вид., випр. І доповн. К. : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2005. 408 с.
2. Система экологического мониторинга окружающей среды «СЭМОС». *Веб-сайт ООО Предприятие «ЛиДа инж.».* URL: http://ligaoao.ru/eco/semos (дата звернення: 04.03.2021).
3. Апаратно-програмний комплекс моніторингу «АКІАМ». *Веб-сайт Українського інституту науково-технічної експертизи та інформації.* URL: http://www.uintei.kiev.ua/transfer/offer.php?slang=ua&offid=1302 (дата звернення: 04.03.2021).
4. Программные продукты. *Веб-сайт НПП «Логос-Плюс».* URL: https://lpp.ru/catalog/ (дата звернення: 04.03.2021).
5. Экологический программный комплекс РОСА. *Веб-сайт ООО Предприятие «ЛиДа инж.».* URL: http://www.ecolida.ru/product.html (дата звернення: 04.03.2021).
6. Караєва Н. В., Підберезна О. Ю. Інформаційні засоби аналізу еколого–економічної діяльності підприємств енергетичної галузі. *Сучасні підходи до управління підприємством*: збірник наукових праць VI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 23 квітня 2015 р. Черкаси : видавець Чабаненко Ю. А., 2014. С. 97-102.
7. Программные средства серии «Эколог». *Веб-сайт НПК «АТМОСФЕРА».* URL: http://www.atmosferanpk.ru/page6.htm (дата звернення: 04.03.2021).
8. Компьютерные программы для экологов. *Веб-сайт научно-производственное предприятие «ЛОГУС».* URL: http://www.logus.ru/catalog/index.php (дата звернення: 04.03.2021).
9. Всю екологічну інформацію в Україні буде зведено в єдину електронну базу «Відкрите довкілля». *Офіційний портал міністерства захисту довкілля та природних ресурсів.* URL: https://mepr.gov.ua/news/32870.html (дата звернення: 04.03.2021).
10. ГИС-экология. Паспортизациия и мониторинг. *Веб-сайт групи компаній «НЕОПЛАНТ».* URL: http://www.neolant.ru/gis-ecology/ (дата звернення: 04.03.2021).
11. Капустин В. Г. ГИС-технологии в географии и экологии: ArcView GIS в учебной и научной работе (практическое руководство для студентов и преподавателей географо-биологического факультета). Учебное пособие. 2-е изд. Урал.гос.пед.ун-т. Екатеринбург, 2012. 202 с.
12. Комплекс программ «Экология». *Веб-сайт ОАО «Конструкторское бюро системного программирования».* URL: http://www.kbsp.by/applications3.html (дата звернення: 04.03.2021).
13. Правова підтримка бізнесу. *Веб-сайт групи компаній «ПАРУС».* URL: http://parus.ua/ua/267/ (дата звернення: 04.03.2021).
14. Экология. *Веб-сайт ТОВ «ЛІГА ЗАКОН».* URL: Режим доступу: https://jurliga.ligazakon.net/sfery-praktiki/ekologicheskoe-pravo (дата звернення: 04.03.2021).
15. КонсультантПлюс. *Веб-сайт групи компаній «ПАРУС».* URL: http://www.consultant.ru/ (дата звернення: 04.03.2021).
16. ГАРАНТ – Законодательство. *Веб-сайт групи компаній «ПАРУС».* URL: http://www.garant.ru/ (дата звернення: 04.03.2021).
17. Богомолов В. Ю., Козачек А. В., Хорохорина И. В., Суворова Ю. А., Копылова Е. Ю. Информационные технологии в сфере экологической безопасности: учебное пособие под. науч. ред. канд. пед. наук, доцента А. В. Козачека. Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. 88 с.
18. Про систему прогнозування генетичного ризику впровадження нових технологій та забруднення навколишнього середовища: *Указ Президента України* від 17.01.1995 № **53/95.** URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/53/95#Text (дата звернення: 04.03.2021).
19. Модули расчета по методикам. *Веб-сайт бази даних kurs.znate.ru.* URL: https://kurs.znate.ru/docs/index-149876.html?page=2 (дата звернення: 04.03.2021).
20. Перелік програмних продуктів в галузі охорони атмосферного повітря. *Офіційний портал Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів.* URL: https://mepr.gov.ua/content/perelik-programnih-produktiv-v-galuzi-ohoroni-atmosfernogo-povitrya.html (дата звернення: 04.03.2021).
21. Екологічний моніторинг: підручник / В. Г. Сліпченко, О. В. Коваль, Л. Г. Полягушко, О. Є. Круш, О. М. Беспала. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. 304 с.

R e f e r e n c e s

1. Monitoring and forecasting of genetic risk in Ukraine (materials of scientific research under the program "GRANIT" in 1999) / V. G. Slipchenko and others; For the general ed. V. G. Slipchenko. 2nd ed. K.: IPC Publishing House "Polytechnic", 2005. 408 p.
2. SEMOS environmental monitoring system. *Website of LiDa Eng.* URL: http://ligaoao.ru/eco/semos (access date: 04.03.2021).
3. AKIAM hardware and software monitoring complex. *Website of the Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information.* URL: http://www.uintei.kiev.ua/transfer/offer.php?slang=ua&offid=1302 (access date: 04.03.2021).
4. Software products. *Logos-Plus NPP website.* URL: https://lpp.ru/catalog/ (access date: 04.03.2021).
5. ROSA environmental software package. *Website of LiDa Eng.* URL: http://www.ecolida.ru/product.html (access date: 04.03.2021).
6. Karaeva N. V., Pidberezna O. Y. Information tools for analyzing the environmental and economic activities of energy companies. *Modern approaches to enterprise management:* a collection of scientific papers of the VI All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation, April 23, 2015. Cherkasy: publisher Chabanenko Yu. A., 2014. P. 97-102.
7. Software series "Ecologist". *Website of NPK "ATMOSPHERE".* URL: http://www.atmosferanpk.ru/page6.htm (access date: 04.03.2021).
8. Computer programs for environmentalists. *Website of the research and production enterprise "LOGUS".* URL: http://www.logus.ru/catalog/index.php (access date: 04.03.2021).
9. All environmental information in Ukraine will be consolidated into a single electronic database "Open Environment". *Official portal of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources.* URL: https://mepr.gov.ua/news/32870.html (access date: 04.03.2021).
10. GIS ecology. Certification and monitoring. *Website of the NEOPLANT group of companies.* URL: http://www.neolant.ru/gis-ecology/ (access date: 04.03.2021).
11. Kapustin VG GIS-technologies in geography and ecology: ArcView GIS in educational and scientific work (practical guide for students and teachers of the Faculty of Geography and Biology). Textbook. 2nd ed. Ural.gos.ped.un-t. Yekaterinburg, 2012. 202 p.
12. Complex of programs "Ecology". *Website of JSC "System Bureau of System Programming".* URL: http://www.kbsp.by/applications3.html (access date: 04.03.2021).
13. Legal support of business. Website of the PARUS group of companies. URL: http://parus.ua/ua/267/ (access date: 04.03.2021).
14. Ecology. *Website of LIGA ZAKON LLC.* URL: Access mode: https://jurliga.ligazakon.net/sfery-praktiki/ekologicheskoe-pravo (access date: 04.03.2021).
15. ConsultantPlus. *Website of the PARUS group of companies.* URL: http://www.consultant.ru/ (access date: 04.03.2021).
16. GUARANTOR - Legislation. *Website of the PARUS group of companies.* URL: http://www.garant.ru/ (access date: 04.03.2021).
17. Bogomolov V. Yu., Kozachek A. V., Khorokhorina I. V., Suvorova Yu. A., Kopylova E. Yu. Information technologies in the field of ecological safety: a textbook under. scientific ed. Cand. ped. Sciences, Associate Professor A. V. Kozachek. Tambov: Publishing Center FGBOU VO “TSTU”, 2019. 88 p.
18. On the system of forecasting the genetic risk of the introduction of new technologies and environmental pollution: Decree of the President of Ukraine of 17.01.1995 № 53/95. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/53/95#Text (access date: 04.03.2021).
19. Calculation modules by methods. URL: https://kurs.znate.ru/docs/index-149876.html?page=2 (access date: 04.03.2021).
20. List of software products in the field of air protection. *Official portal of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources.* URL: https://mepr.gov.ua/content/perelik-programnih-produktiv-v-galuzi-ohoroni-atmosfernogo-povitrya.html (access date: 04.03.2021).
22. Ecological monitoring: textbook / VG Slipchenko, OV Koval, LG Polyagushko, OE Krush, OM Bespala. Kyiv: Igor Sikorsky KPI, Publishing House “Polytechnic”, 2018. 304 p.

Slipchenko V.G., Poliahushko L.G., Krush O.E. The system of complex eco-energy-economic monitoring to optimize management decisions (region, district and city)

The article described the issue of creating the system of complex eco-energy-economic monitoring for effective management decisions to ensure a high quality of life and health of the country’s population. The development of this system is relevant because the complex monitoring of the region will allow assessing and minimizing the adverse health effects of the population who live near contaminated sites and may be exposed to chemical and / or radiological pollutants. The system allows monitoring the region, district, and city by experts of different profiles, namely, ecologist, power engineer, economist, doctor, lawyer, and analyst. So, the system allows to explore a complete picture of the situation in the region, regardless of its scale. In article considered the functionality and the algorithm of interaction between themselves and with the system of proposed set of experts. This set of experts covers all important aspects of the ecological, economic, and social development of the country’s population.

An analysis and classification depending on the functional of the modern software used in the field of environmental monitoring and its impact on the economic and social condition of the person was carried out. The proposed architecture of the system is created by principle of modularity and flexibility that are fundamental when developing modern software. The principle of splitting modules can be described by such rules: "Task or monitoring unit = module or subsystem" and "General functions of a software system = module or subsystem". Therefore, when we need to add new functionality, it does not require the modification of all complex system, but only one module - the calculation module, the rest of the modules (working with the map, displaying calculation results, building graphs, working with events and resources etc.) undergo minimal changes or remain unchanged at all.

The results obtained are practical and scientific application in conducting scientific research and training specialists in computer science and information technology, as well as specialists in environmental safety of the country.

Key words: *complex eco-energy-economic monitoring, system architecture, software module, experts, decision-making.*

Сліпченко Володимир Георгійович – д.т.н., проф., професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем теплоенергетичного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ) ddpolytechnic2016@gmail.com

Полягушко Любов Григорівна – к.т.н., доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем теплоенергетичного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ) liubovpoliagushko@gmail.com

Круш Ольга Євгенівна – провідний інженер кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем теплоенергетичного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ), segroupccte@gmail.com

Стаття подана 23.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-21-25

УДК 621.314

СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ

Бєлоха Г.С., Шевченко І.С.

FREQUENCY CONVERTER IN THE SYSTEM ENERGY GENERATION WIND TURBINES

Bielokha H.S., Shevchenko I.S.

Сучасний регульований електропривод як постійного так і змінного струмів має у своєму складі перетворювачі, які є нелінійним, вони спотворюють криву вхідного струму, що є неприпустимим з точку зору якості електроенергії. Застосування силових активних фільтрів дозволяє формувати в мережі живлення струм синусоїдальної форми, при цьому не має потреби змінювати існуючу систему електропривода. Силовий активний фільтр під'єднаний до мережі та навантаження паралельно. Схема запропонованого фільтру складається з трифазного моста на повністю керованих транзисторах з зворотними діодами. На його виході конденсатор. Система керування вентилями фільтру релейна. У статті розглянуто систему керування активним фільтром незалежно від навантаження та принципи формування струму споживаного з мережі: регулювання за відхиленням, таке регулювання найбільш бажане в тих системах керування електроприводом в яких неможливо або важко технічно здійснювати вимірювання струму та напруги якірної обмотки двигунів постійного струму або статорної обмотки асинхронних двигунів; регулювання за збуренням, для більш точного регулювання, та комбіноване регулювання. За допомогою цифрового моделювання в програмі Matlab проведено дослідження принципів формування завдання на струм мережі живлення та виконаний аналіз струмів на вміст гармонік струму споживаного з мережі та струму споживаного нелінійним навантаженням. Отримані осцилограми підтверджують працездатність силового активного фільтру, струм споживаний з мережі синусоїдальний та синфазний напруги живлення. Гармонійний аналіз для різних значень потужності показав, що запропонований силовий активний фільтр гармонік забезпечує високу якість споживаного струму мережі, показники якості задовольняють умовам представлених у міжнародних стандартах на якість електроенергії (THD<5%).

Ключові слова: *силовий активний фільтр, релейне керування, електропривод*

Вступ. Згідно з вимогами пред'явленими до якості електроенергії всі показники якості повинні перебувати в межах, обумовлених в державних та міжнародних стандартах [1,2].

Проблема якості електроенергії тісно пов'язана з надійністю і довговічністю різного роду навантаження.

Характерною особливістю систем електропостачання сучасних великих промислових підприємств є велика питома вага навантажень, вольт-амперна характеристика яких нелінійна.

До нелінійних навантажень відносяться вентильні перетворювачі, установки електрозварювання, електродугові печі, газорозрядні лампи і силові трансформатори.

Нелінійне навантаження споживає з мережі несинусоїдальний струм, який призводить до спотворення кривої напруги живлення та впливає на роботу під'єднаних до неї споживачів. Разом з цим, нелінійне навантаження промислових підприємств є споживачем реактивної потужності.

Сучасний регульований електропривод змінних та постійних струмів неможливо уявити без одного з основних його елементів - силового напівпровідникового перетворювача, який забезпечує формування та регулювання напруги або струму електродвигунів.

Протягом досить тривалого періоду часу в якості трифазних перетворювачів застосовувалися або некерований діодний випрямляч, або тиристорний перетворювач.

Існує декілька рішень для обмеження поширення і впливу гармонік в електричних мережах: використання пасивних фільтруючих пристроїв, використання активних фільтруючих пристроїв, використання активних випрямлячів для корекції коефіцієнта потужності мережі.

Якщо з різних міркувань небажано змінювати систему електропривода, то найкращим рішення э використання силових активних фільтрів [3,4].

Мета роботи – дослідження роботи активного силового паралельного фільтру з релейною систе-

мою керування, та способи регулювання та формування струму мережі в системах керування електроприводом.

Матеріали досліджень. Функціональна схема запропоновано активного силового паралельного фільтру [5] з навантаженням у вигляді трифазного некерованого випрямляча представлена на рисунку 1. Навантаження RL імітує якірний ланцюг електропривода постійного струму.

Для підключення та роботи активного фільтра необхідно в існуючу систему електропривода вводити датчики струму та напруги якірної обмотки, якщо вони не були передбачені в системі керування.

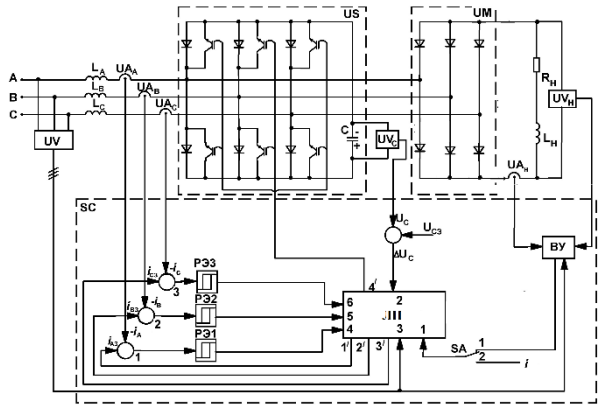


Рис. 1. Функціональна схема

До складу трифазної системи входить паралельний активний фільтр (ПАФ) (на схемі US), виконаний за трифазною мостовою схемою на IGBT - транзисторах і підключений до мережі через формуючі дроселі L_A, L_B, L_C і датчики споживаних з мережі струмів UA_A, UA_B, UA_C, випрямляч UM, виконаний за трифазною мостовою схемою, датчик напруги на конденсаторі UV_C, блок датчиків напруги мережі UV, датчик напруги UVн на навантаженні і система управління SC. Система управління забезпечує формування, споживаних з мережі, струмів синусоїдальної форми.

Система керування релейна, завдяки такому принципу управління досягається мала чутливість джерела до дії різних збурень, а також гранична швидкодію у відпрацюванні заданих сигналів.

Принцип роботи пристрою можна пояснити, розглядаючи незалежно два контури: контур відпрацювання заданих синусоїдальних струмів $i_{Аз}$, $i_{Вз}$, $i_{Сз}$, споживаних з мережі, та контур навантаження.

Перед початком роботи необхідно, щоб конденсатор ПАФ був заряджений до напруги $U_C > U_{мл}$, де $U_{мл}$ - амплітудне лінійна напруга мережі живлення. Попередній заряд конденсатора С проводиться при відключенні випрямляча UM. Логічне пристрій, при цьому, задає амплітуду фазних струмів, які споживаються з мережі. При досягненні заданої напруги $U_{Сз}$ на конденсаторі С, логічний пристрій забезпечує відключення зарядного пристрою.

Для забезпечення працездатності двох контурів необхідно, щоб виконувався баланс потужностей: споживаної потужності з мережі $P_с$ і потужності навантаження $P_н$:

$$P_с = kP_н,$$

де k - коефіцієнт, що враховує втрати в активному фільтрі.

Забезпечення балансу потужностей здійснюється відповідним завданням амплітуди $I_{mз}$ фазних струмів, які споживаються з мережі, тобто регулюванням $P_с$. Слід також зазначити, що якщо не виконується баланс потужностей, то напруга на конденсаторі буде змінюватися (зменшуватися або збільшуватися) в залежності від знака розбалансу потужності. Тому в даному пристрої можливі (забезпечуються логічним пристроєм) такі варіанти формування величини амплітуди заданих фазних струмів, які споживаються з мережі:

- з умови відхилення напруги на конденсаторі ПАФ від заданого значення (регулювання по відхиленню, ключ SA в положення 2), таке регулювання найбільш бажане в тих системах керування електроприводом в яких неможливо або важко технічно здійснювати вимірювати струм та напругу якірної обмотку для двигунів постійного струму або статорної обмотки асинхронних двигунів (рис. 2а); визначається відхилення ΔU_C, яке надходить на вхід логічного пристрою (регулятор напруги конденсатора), на виході якого формується сигнал пропорційний необхідної амплітуді $I_{mз}$.

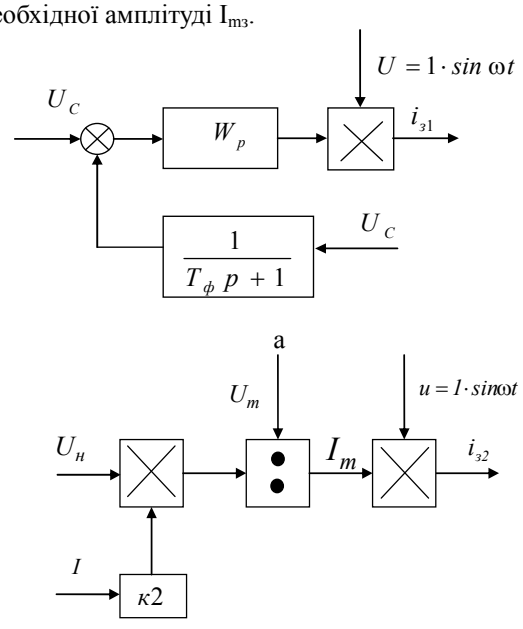


Рис. 2. Структурні схеми формування $i_з$ по відхиленню (а) U_C від середнього заданого значення і з обчисленням $I_{зт}$ (б) за умови виконання балансу потужності

- з умови забезпечення рівності $P_с = kP_н$ (регулювання по збуренню потужності навантаження, ключ SA в положення 1) (рис. 2.б); в обчислюваль-

ному пристрої обчислюється потужність на навантаженні (обурення) за сигналами, що надходять з датчиків UA_H струму навантаження і датчика UVн напруги на навантаженні, а потім визначається амплітуда струмів споживаних з мережі.

- одночасним забезпеченням першого і другого умов (регулювання по відхиленню і збуренню).

При одночасному регулюванні (формуванні) $i_з$ по відхиленню і обуренню струм визначається

$$i_з = \alpha_1 i_{з1} + \alpha_2 i_{з2}$$

де α1 и α2 – вагові коефіцієнти за відповідним контуром регулювання.

Сигнали з блоку датчиків напруги UV надходять на третій вхід ЛП. З цих сигналів формуються сигнали синусоїдальної форми одиничної амплітуди, що збігаються по фазі з фазними напругами мережі. Сигнал різниці між сигналом завдання на величину напруги на конденсаторі $U_{Cз}$ і фактичним напругою U_C надходить на сьомий вхід ЛП. Залежно від того з яким знаком буде цей сигнал він буде додаватися до сигналу $I_{нз}$ або відніматися, збільшуючи або зменшуючи його.

В результаті сигнали, що надходять з першого, другого і третього виходів ЛП, будуть пропорційні струмів завдання $i_{Aз}$, $i_{Bз}$, $i_{Cз}$, які повинні споживатися з мережі, і будуть також збільшуватися (якщо потужність на вході джерела P_c буде менше, ніж вимагає навантаження $P_н$) або зменшуватися, якщо Pc> $P_н$. Зміна струмів $i_{Aз}$, $i_{Bз}$, $i_{Cз}$ припиниться як тільки настане рівність $P_c = P_н$.

Примусове формування струмів синусоїдальної форми, споживаних з мережі, відбувається таким чином. Розглянемо на прикладі однієї з фаз (наприклад, фази А). Як тільки дійсний струм в дроселі L_A стане менше, ніж заданий струм $i_{Aз}$, на виході сумматора 2 з'явиться позитивний сигнал помилки. Якщо він перевищує ширину петлі гістерезису релейного елемента РЕ1, то останній переключається і на виході (4 /) ЛП з'являються імпульси які відкриють IGBT - транзистори ПАФ (US). Конденсатор С при цьому з'єднується послідовно з дроселем L~~A~~ так, що під дією напруги U_C струм в дроселі починає збільшуватися. Як тільки дійсний струм перевищить заданий струм $i_{Aз}$ на величину ширини петлі гістерезису РЕ1, останній знову переключиться і на виході (4 /) ЛУ з'являться імпульси, які закриють проводили струм IGBT - транзистори. В результаті напруга конденсатора включається в ланцюг дроселя L_A зустрічно струму в ньому, що призводить до його зменшення і т.д. Коливання струму i_A відбуваються щодо синусоїди струму $i_{Aз}$. Аналогічні процеси формування струмів відбувається в фазах В і С.

Результати досліджень. На цифровій моделі у Matlab було проведено моделювання.

Отримані результати у вигляді осцилограм представлені на рис. 3 при комбінованому регулюванні. На ньому представлено струми ПАФ, навантаження та мережі живлення.

На рисунку 4 представлені фазні струми та напруга мережі при різних видах регулювання. Також представлена напруга конденсаторів..

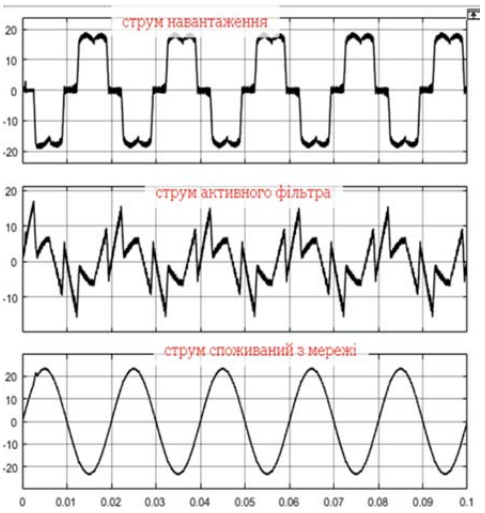


Рис. 3. Струми САФ, навантаження та мережі живлення ($P_н$=3кВт)

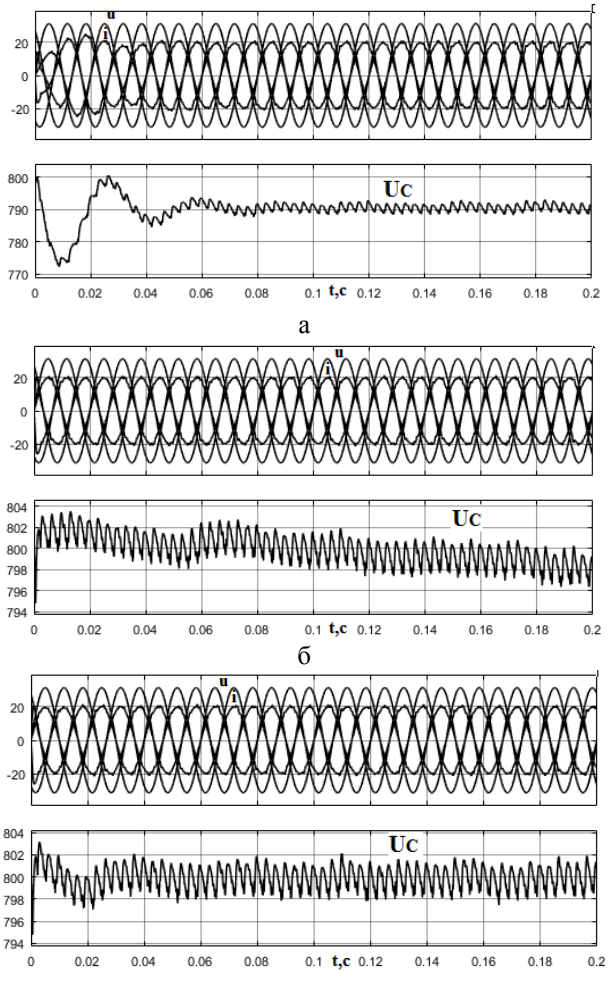
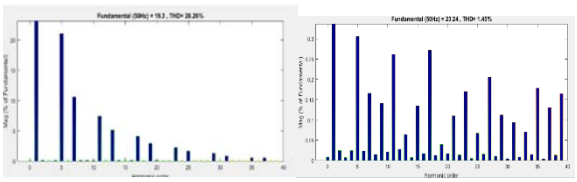


Рис. 4. Робота системи з регулювання по відхиленню (а), по збуренню (б) та комбінована (в)

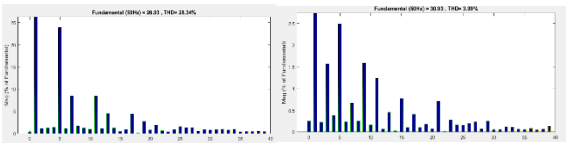
У випадку регулювання по відхиленню струм мережі має більш довший перехідний процес з встановлення струму мережі і є ймовірність при більших зміненнях навантаження, напруга конденсатора зменшиться нижче амплітудного значення напруги мережі, та зірветься релейний режим. Регулювання по збуренню дає найменші значення тривалості перехідного процесу, але через те що втрати в перетворювачі враховуються постійним коефіцієнтом можливо розряд конденсатора . Кращим є варіант з комбінованим керування.

Проведено аналіз гармонік струму мережі без активного фільтру (рис.5а) та з використанням САФ (рис 5б) для потужності 3 кВт для потужності навантаження та 1,5 кВт (рис 6). THD струму без САФ дорівнює 28%, з САФ THD у межах 1.45-4%, що у межах норми.



а б

Рис. 5. Гармоній склад струму мережі без ПАФ (а) та з ПАФ (б) для потужності 3кВт



а б

Рис. 6. Гармоній склад струму мережі без ПАФ (а) та з ПАФ (б) для потужності 3кВт

Висновки. Систему керування активним фільтром гармонік можна формувати незалежно від системи керування електроприводом. При формування струму мережі за керуванням по відхиленню не треба додатково встановлювати датчики напруги та струму навантаження. Менший перехідний процес можна спостерігати при керуванню по збуренню. Але такий спосіб керування потребує враховувати втрати у активному фільтрі. Кращим є варіант з комбінованим керування.

Гармонійний аналіз показав, що запропонований активний фільтр забезпечує хорошу якість споживаної енергії. THD істотно менше 5% встановлених стандартом.

Література

1. CEI, 61000-1-1 : Electromagnetic compability (EMC), Part 1 : General, section 1 : application and interprettion of fundemantal definitions and terms, 2001.
2. IEEE-519. ШЕЕ Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems,.W.: JSC, 1992.,65 p.
3. Riad, Toufouti & Zoubir, Chelli. (2015). Hysteresis Control for Shunt Active Power Filter under Unbalanced Three-Phase Load Conditions. Journal of Electrical and Computer Engineering. 2015/03/01
4. Reduction of THD in Single Phase PAF With PSD Method for Reference CurrentGeneration International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) Volume-1, Issue-5, June 2012. 31-34 pp
5. Высокоэффективные источники электропитания: Монография / Ю. П. Самчелеев, В. Г. Дрючин, Г. С. Белоха, Н. И. Андреева.Алчевск: ДонГТУ, 2013. – 219 с.

References

1. CEI, 61000-1-1 : Electromagnetic compability (EMC), Part 1 : General, section 1 : application and interprettion of fundemantal definitions and terms, 2001.
2. IEEE-519. ШЕЕ Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems,.W.: JSC, 1992.,65 p.
3. Riad, Toufouti & Zoubir, Chelli. (2015). Hysteresis Control for Shunt Active Power Filter under Unbalanced Three-Phase Load Conditions. Journal of Electrical and Computer Engineering. 2015/03/01
4. Reduction of THD in Single Phase PAF With PSD Method for Reference CurrentGeneration International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) Volume-1, Issue-5, June 2012. 31-34 p
5. Vysokoeffektivnyye istochniki elektropitaniya: Monografiya / Yu. P. Samcheleyev, V. G. Dryuchin, G. S. Belokha., N. I. Andreyeva.Alchevsk: DonGTU. 2013. 219 p

Bielokha H.S., Shevchenko I.S. Methods for regulating the network current in electric drive control systems with an active filter

Converter and rectifier are largely used in modern electric AC and DC drive systems leading to an increase of the higher harmonics pollution in the network. The intensive use of nonlinear converter has increased the demand for harmonics suppression and reactive power compensation. The use of passive and active filters solves the problem of non-linear loads. The designed shunt active power filter with hysteresis current control is a three-phase voltage source inverter, connected in parallel with the network. There is a constant voltage capacitor at the output. It is the power supply for the active filter. The load is an uncontrolled diode three-phase bridge rectifier with RL load. The use of active filters solves the problem of non-linear loads. The hysteresis current control principle ensures maximum response speed and accuracy of the specified signal processing. The switching frequency changes along with the current waveform. In this paper has demonstrated and confirmed the effectiveness of the proposed control method a shunt active filter. This paper presents methods of regulating the current in the shunt active power filter in the electrical drive control systems. The article discusses the active filter control system regardless of the load control system. The principles of the formation of the amplitude value of the current consumed from the network are presented: regulation by deviation; disturbance regulation and combined regulation. In this study, dynamic simulation and control of an active power filter is done using MATLAB/Simulink. Simulation results show that the input current reach the desired operating values, the current of load and current filter. The results simulation are presented in this here to show the effectiveness of the proposed control strategy and principles of the formation

of the network current. Active power filter is electromagnetically compatible with the network. The total harmonic distortion (THD) of current in network 1,5%, which meets the standards international for the quality of electricity (IEEE 519 standards). The total harmonic distortion of current nonlinear load is 30%.

Keywords: *power active filter, relay control, electric drive*

Бєлоха Г.С. – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, pointage13@gmail.com

Шевченко І.С. – к.т.н., професор кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля ,

Стаття подана 13.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-26-29

УДК 621.3

ЩОДО КЛАСИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Голубєва С.М., Морнева М.О.

THE ISSUE OF ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERTERS' CLASSIFICATION

Golubieva S.M., Morneva M.O.

У статті розроблена класифікація електромеханічних перетворювачів (ЕМП), в основу якої покладено принцип електромеханічного зв'язку, що має чотири різновиди за функціональним призначенням і одинадцять різновидів класифікаційних параметрів ЕМП. В результаті дослідження одержана таблиця, в якій присутні практично всі відомі на сьогоднішній день ЕМП. Відповідно до класифікаційної таблицею все електромеханічні перетворювачі розбиті по горизонталі на енергетичні, виконавчі, вимірювальні і одноякірні перетворювачі, кожен з яких також поділяється за функціональними ознаками. По вертикалі таблиця розбита на ряд класифікаційних параметрів.

Ключові слова: *електромеханічні перетворювачі, класифікація, електричні машини, електромеханічний зв'язок.*

Вступ. Розвиток тієї чи іншої галузі науки і техніки ґрунтується на результатах досліджень, зборі та аналізі фактів, які упорядковуються і систематизуються (класифікуються).

Електромеханічні перетворювачі (ЕМП) енергії широко застосовуються в промисловості, на транспорті і в побуті, практично майже повністю витіснивши інші види перетворювачів. Для вивчення широкої гами конструкцій електромеханічних перетворювачів, а число їх типів за окремими оцінками перевищує 800 ... 1000 одиниць, доцільно мати розвинену класифікацію цих перетворювачів.

В даний час ЕМП класифікуються за рядом ознак. Розвиток систем управління ЕМП і впровадження в них досягнень перетворювальної техніки призвело до необхідності коригування і доповнення існуючих класифікаційних ознак.

Таким чином, класифікація ЕМП, обумовлена, в першу чергу, збільшенням їх кількості та функцій, стає вимушеною необхідністю.

На жаль, в навчальній і науковій літературі неможливо докладно описати таку кількість перетворювачів при розумному обсязі друкованого видання. Тому більшість авторів обмежується лише кількома видами і типами перетворювачів, даючи обмежену класифікацію, що не охоплює весь спектр електромеханічних перетворювачів.

Питаннями класифікації ЕП в різний час займалися: Андрєєв В.П., Богословський А.П., Китаенко Г.І., Попов В.К., Сабінін Ю.А., Сандлер А.С., Сіверс П.Л., Фрейдзон І.Р., Чиликин М.Г. та ін.

Мета дослідження полягає в спробі створення найбільш загальній класифікації ЕМП, що включає прийнятний для досліджень діапазон класифікаційних ознак, найбільш повно характеризують їх індивідуальні особливості.

Результати дослідження. Існують різні варіанти класифікації електромеханічних перетворювачів. З них найбільш широкого поширення набули такі:

1. В [1] наведена таблиця основних семи видів електричних машин, серед яких згадані статичний перетворювач - трансформатор, асинхронна і синхронна машини, три колекторні машини (постійного струму, однофазного і трифазного струмів) і трифазний колекторний каскад [2].

2. В [3] наведено класифікацію індуктивних перетворювачів енергії за функціональним призначенням, тобто увазі перетворення струмів або перетворення змінного (постійного) струмів в механічну енергію і назад (вісім різновидів), з них власне до електромеханічних перетворювачів відноситься п'ять різновидів, а три - до електричних перетворювачів: трансформатор, випрямляч (інвертор) і перетворювач постійного струму [2].

3. В [3] наведено класифікацію ЕМП по найбільш суттєвій ознаці - типу електромеханічного зв'язку між первинним елементом (статором) і вторинним (ротором) ЕМП. При цьому під типом електромеханічного зв'язку розуміються в першу чергу комплекси параметрів, що мають істотне значення для реалізації взаємного перетворення електричної і механічної енергій.

Існують, звичайно, й інші напрямки класифікації [4], які можуть бути деталізовані, наприклад, за

різними конструктивними елементами, зокрема, обмоткам – традиційної і змінної геометрії [5]. Крім того, окремим (але в загальному, відомим) напрямком є класифікація режимів (S1 ... S7).

Для систематизації знань по електромеханічним перетворювачам і методичному забезпеченню навчального процесу авторами розроблена узагальнена класифікація електромеханічних перетворювачів, що дозволяє в якійсь мірі ліквідувати існуючий класифікаційний пробіл.

Відповідно до класифікаційної таблиці (табл. 1) все електромеханічні перетворювачі поділені по горизонталі на чотири види за функціональним призначенням на **енергетичні, виконавчі, вимірювальні і одноякірні перетворювачі**, кожен з яких також поділяється за функціональними ознаками. Наприклад, енергетичні перетворювачі поділяються на генератори і двигуни, виконавчі - на звичайні, малоінерційні і періодичної дії. Вимірювальні перетворювачі поділяються на вимірювачі частоти обертання, положення, кута повороту, моменту, прискорення, градієнта. Перетворювальні пристрої підрозділяються на перетворювачі напруги, частоти, роду струму, потужності і обертові трансформатори.

По вертикалі таблиця розділена на ряд класифікаційних параметрів. Перший з них відображає принцип дії перетворювача, другий - спосіб створення силової взаємодії, що підрозділяється на параметричні постійні магніти для індуктивних або електрети (для ємнісних перетворювачів), гістерезисний (для магнітних матеріалів і діелектриків), посередній і перетворюючі (для електромагнітних систем), третя ознака визначає тип руху рухомої частини перетворювача і всього перетворювача в цілому. Четверта ознака характеризує конструктивні особливості нерухомої частини перетворювача. П'ята - характеризує агрегатний стан рухомої частини перетворювача і конкретизує конструктивні особливості твердотільних рухомих частин, шоста ознака характеризує рід електричного струму перетворювача, сьома - фазність перетворювача. Восьма - наявність контактних пристроїв, що пов'язують рухому частину перетворювача з нерухомою. Дев'ята - зв'язок швидкості переміщення рухомої частини перетворювача зі швидкістю переміщення електромагнітного поля нерухомої частини. Десята - спосіб створення зрушеного за часом додаткового магнітного потоку. Одинадцята - агрегатний стан речовини або фазові переходи, які використовуються для охолодження нерухомою і рухомою частин перетворювача. Дванадцята - виконання перетворювача за ступенем захисту. Тринадцята - режим роботи перетворювача.

Класифікація електромеханічних перетворювачів приведена в табл.

Таблиця

Класифікація електромеханічних перетворювачів

Класифікаційні параметри			Електромеханічні перетворювачі																	
			Енергетичні		Виконавчі			Вимірювальні						Перетворювальні						
			генератор	двигун	звичайні	малоінерційні	періодичної дії	частоти обертання	положення	кута повороту	моменту	прискорення	градієнта	напруги	частоти	роду струму	потужності	оберт. трансформатори		
1			2		3			4						5						
1	індуктивні			•			•			•							•			
	ємнісні																			
	магнітострикційні																			
	пьезо																			
	комбіновані																			
2	параметричний						•													
	гістерезисний																			
	безпосередній																			
	перетворювальний			•						•							•			
3	обертальний			•			•			•							•			
	лінійний																			
	коливальний																			
	коловоротні																			
	кочення																			
	процесійний																			
	комбіноване																			
4	циліндричний			•			•			•							•			
	дуговий																			
	площинний																			
	торцевий (дисковий)																			
	барабанний																			
	конусний																			
	кульовий																			
	комбінований																			
5	твердотільний	одновитковий		•																
		багатовитковий								•							•			
		масивний					•													
		двошаровий																		
		складовий																		
		з індукційними елементами																		
	рідинний																			
	плазмовий																			
6	постійний						•										•			
	змінний			•						•										
	імпульсний																			
	універсальний																			
7	однофазний									•							•			
	двофазний																			
	трифазний			•																
	багатофазний						•													
8	контактний																•			
	безконтактний			•			•			•										
9	синхронний						•			•										
	асинхронний			•																
10	індуктивний																•			
	ємнісний																			
	біфілярний																			
11	статор	газове		•			•			•							•			
		рідинне																		
		на фазових переходах																		
		комбіноване																		
	ротор	газове		•			•			•							•			
		рідинне																		
		на фазових переходах																		
		комбіноване																		
12	незахищене																			
	захищене			•													•			
	закрите						•			•										
	вибухозахисне																			
13	S1			•			•			•							•			
	S2																			
	S3																			
	S4																			
	S5																			
	S6																			
	S7																			
	тяговий																			
Традиційна назва перетворювача			Трифазний АД с кз ротором		Кроковий двигун з активним ротором			Однофазний безконтактний сельсин						Електромашинний підсилювач поперечного поля						

Відповідно до пропонованої класифікації звичайна трифазна синхронна електрична машина з короткозамкненим ротором за функціональним призначенням може бути класифікована як енергетичний електромеханічний перетворювач, з уточненням - двигун. За принципом дії вона відноситься до індуктивних. За способом створення силового поля - до перетворювальних (з електромагнітним перетворенням). За типом руху рухомої частини - до обертових. По конструкції нерухомої частини - до циліндричних. По агрегатному стані рухомої частини - до твердотілих, з уточненням - одновиткових. За родом струму перетворювача - до перетворювачів змінного струму. За 7-ю ознакою - трифазний, за 5-ю - безконтактний, за 9-ю - асинхронний, по 11-ому - охолоджуваного потоком газу (повітря), по 12-ому - захищеного виконання, по 13-ому - тривалого режиму роботи. Належність до певного класифікаційного ознакою позначається мітками у відповідних графах класифікаційної таблиці, які зв'язуються між собою сполучними лініями.

Деякі традиційно класифіковані ознаки не введені в пропоновану систему, так як вони визначаються додатковими вимогами до електромеханічного перетворювача. Наприклад, безпазова конструкція якоря машини постійного струму є умовою досягнення масогабаритних показників, ступінь насиченості магнітної системи перетворювача частоти обертання (тахогенераторів) визначається діапазоном вимірюваних частот обертання і класом точності вимірювального перетворювача. Кігтеподібна форма магнітної системи ротора визначається частотою струмів обмотки статора, тобто найчастіше масогабаритними показниками при заданої потужності і частоті обертання. Не введена в класифікаційні ознаки і "**зворотність**" перетворювача, тобто рухливість зовнішньої або внутрішньої частини перетворювача.

Електромеханічні перетворювачі для гіроскопів також не знаходять свого безпосереднього визначення за класифікаційними ознаками, так як повинні класифікуватися за функціональним призначенням. Або як вимірювальні для визначення положення в системах навігації, або як енергетичні двигуни в системах орієнтації космічних апаратів.

Певну класифікаційну складність представляють однофазні асинхронні машини, так як строго однофазними вони є в робочому режимі. У пусковому режимі вони є двофазним, причому існують різні способи і конструкції для створення другої фази, тобто другого, зрушеного в часі магнітного потоку. Тому ці машини пропонується класифікувати як однофазне-двофазні із зазначенням способу створення додаткового магнітного потоку за десятою ознакою. Безумовно, пропонована класифікація не є ідеальною.

Висновки. Розроблена класифікація ЕМП, що відрізняється від відомих прийнятним для досліджень діапазоном класифікаційних ознак, найбільш повно характеризують індивідуальні особливості.

Висловлює систему, притаманну відображеного дійсному стану ЕМП, що зумовлюють їх зафіксовані властивості і відносини, організацію передумов для коректного прогнозування основних напрямків їх розвитку. Запропонована класифікація, будучи природною динамічної класифікацією, виконаної за істотними видоутворюючими ознаками, є в розгорнутому вигляді картину сучасного стану ЕМП, сприяє формуванню більш обґрунтованого підходу до розвитку теорії та практики, стимулює розвиток теоретичних аспектів досліджень.

Література

1. Петров Г.Н. Электрические машины / Г.Н. Петров // В 3-х частях. ч.1. Введение. Трансформаторы: учеб. для вузов. - М.: Энергия, 1974. – 2407 с.
2. Литвиненко А.М. Классификация электромеханических преобразователей / А.М. Литвиненко // Известия вузов. Электромеханика, 2010.- №2. - С. 77-80.
3. Иванов -Смоленский А.В. Электрические машины / А.В. Иванов-Смоленский // Учеб. для вузов. В двух томах. Т. 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 532 с.
4. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии / И.П. Копылов // М.: Энергия, 1973 - 400с
5. Литвиненко А.М. Обмотки измеряемой геометрии в электроприводе роботов / А.М. Литвиненко // Электричество. 1985. - № II. - С. 60 – 63.

References

1. Petrov G.N. Elektricheskie mashiny / G.N. Petrov // V 3-h chastyah. ch.1. Vvedenie. Transformatory: ucheb. dlya vuzov. - M.: Energiya, 1974. – 2407 s.
2. Litvinenko A.M. Klassifikaciya elektromekhanicheskih preobrazovatelej / A.M. Litvinenko // Izvestiya vuzov. Elektromekhanika, 2010.- №2. - S. 77-80.
3. Ivanov -Smolenskij A.V. Elektricheskie mashiny / A.V. Ivanov-Smolenskij // Ucheb. dlya vuzov. V dvuh tomah. T. 2. M.: Izdatel'skij dom MEI, 2006. - 532 s.
4. Kopylov I.P. Elektromekhanicheskie preobrazovateli energii / I.P. Kopylov // M.: Energiya, 1973 - 400s
5. Litvinenko A.M. Obmotki izmeryaemoj geometrii v elektroprivode robotov / A.M. Litvinenko // Elektrichestvo. 1985. - № II. - S. 60 – 63.

Golubieva S.M., Morneva M.O. The issue of electromechanical energy converters' classification

The classification of electromechanical converters (EMC), who often use in different branches of industry, based on the principle of electromechanical communication, which has four varieties depending on functional purpose and eleven varieties of classification parameters of EMC, is developed in the article.

There are various options for classifying electromechanical converters. The main types of EMC can be performed within the framework of the so-called generalized electrical machine - an electromechanical converter with two sets of windings - on the stator and rotor. At the same time, with a stationary rotor, the machine has the features of a transformer, with short-circuited rotor windings - an asynchronous machine, when the rotor windings are powered from direct current, with sinusoidal voltages on the stator, a synchronous machine is obtained, and when the stator is powered from direct voltage sources, and the rotor windings from commutator -

DC machine. If, in the latter case, the stator windings are supplied with alternating voltage, an alternating current collector machine is realized. EMC classification by the type of windings in combination with the type of magnetic circuit (smooth, serrated, claw-like, eccentric, flexible) is unnecessarily cumbersome. There are, of course, other directions of classification, which can be detailed, for example, according to various structural elements. In addition, a separate (but generally known) direction is t he classification of modes (S1, S2 ... S7).

According to the research–based information a table with almost all currently known EMCs was obtained. In accordance with the classification table, all electromechanical converters are divided into power, executive, measuring and single-armature converters horizontally, each of which is also subdivided by functional characteristics. The table is divided into a number of classification parameters vertically. Some traditionally classified features are not included in the proposed system, as they are determined by additional requirements for the electromechanical converter.

Keywords: *electromechanical converters, classification, electrical machines, electromechanical coupling.*

Голубєва С.М. – старший викладач кафедри електрообладнання та автоматики водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, glbvvnu@gmail.com

Морнева М.О. – доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, morneva@gmail.com

Стаття подана 17.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-30-34

УДК 62-83

MODELING OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE MAIN MOTION OF THE ROLLING CAGE AS A MULTI-MASS ELECTROMECHANICAL SYSTEM

Shevchenko I.S., Rudniev Y.S., Romanchenko J.A.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ ПРОКАТНОЇ КЛІТІ ЯК БАГАТОМАСОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Шевченко І.С., Руднєв Є.С., Романченко Ю.А.

The model of rolling stand of a thick-plate rolling mill 3000 has been designed in the work in order to determine the oscillations frequencies that occur during operation, the effect of their amplitude on the dynamic deviations of the speed of the working body from the specified one. Presented results of the research dynamic to rolling cage 3000 at presentation her as seven masses electromechanic system. Shown influence clearance in mechanical issue on dynamic of the mechanism. The research by the method of mathematical modeling in the design and operation of mechanical equipment is substantiated. The design diagram of mechanical part of the electromechanical system is presented. Using the simulation results it was confirmed that the influence of internal viscous friction in shafting on the oscillation damping is not significant in relation to the damping properties of electric drive. Therefore, in the first approximation, it can be ignored. The electric drive of the rolling stand was considered as a TP-D system with speed and current regulators at their standard settings to the modular optimum. To reduce the magnitude of the elastic moments in the kinematic chain of the stand the armature current intensity generator in the electric drive is used. Simulation of the processes was carried out in Simulink of the MATLAB package. The stand model is designed according to design scheme and reflects the branching into two channels with their combination through an elastic element – the material that is rolled. Based on real geometry and taking into account the properties of material the stiffness of shafts of mechanical transmissions were calculated. The model was set to a rolling program with a variable speed – in order to compensate the thickness difference, which corresponds to modern technological trends. Comparing the simulation results, it was found that the presence of a gap provokes the appearance of self-oscillations, the damping of which in a real mechanical system will occur due to damping properties of the shafts. The damping of oscillations takes place due to the damping properties of the electric drive. The appearance of a gap in the spindles leads to an increase in the system vibration frequency (70-80 Hz).

Keywords: *rolling cage, springy viscous element, mechanical fluctuations.*

Introduction. The design and operation of mechanical equipment requires finding the real maximum values of the forces (moments) arising in the kinematic chain, their dependence on various factors (acceleration-deceleration, elements stiffness, clearance values, etc.). Almost the only method for researching such processes is mathematical modeling.

Objective. The work is devoted to the design of a rolling stand model of 3000 thick-plate rolling mill in order to determine the oscillation frequencies that arising during operation, the effect of their amplitude on the dynamic deviations of speed of working body from the specified speed.

Research results. The equipment of finishing mill stand includes (Fig. 1): DC electric motor 1; protective gear clutch 2, gear stand 3; hinges 4 from the side of the gear stand; spindle shafts 5, spindle joints 6 from the stand side; couplings of 7 spindle blades; support 8 and work 9 rolls. Between the working rolls there is a strip 10, which is rolled.

The design diagram of the mechanical part of the electromechanical system is shown in Fig. 2. Mechanical inertias of single parts, which are expressed by the moments of inertia J_j (j = I, II, III, IV, V, VI) are shown by rectangles, the areas of which are proportional to these inertias. The kinematic connection between inertias are shown by elastic-dissipative elements in the form of a parallel connection of t stiffness ($C_{ке}$) and scattered (dissipation $\delta_{ке}$) coefficients. The first one are determined by the ratio of elastic moments in such elements to their deformation, and the latter's are determined by the level of losses in them in the presence of a deformation rate.

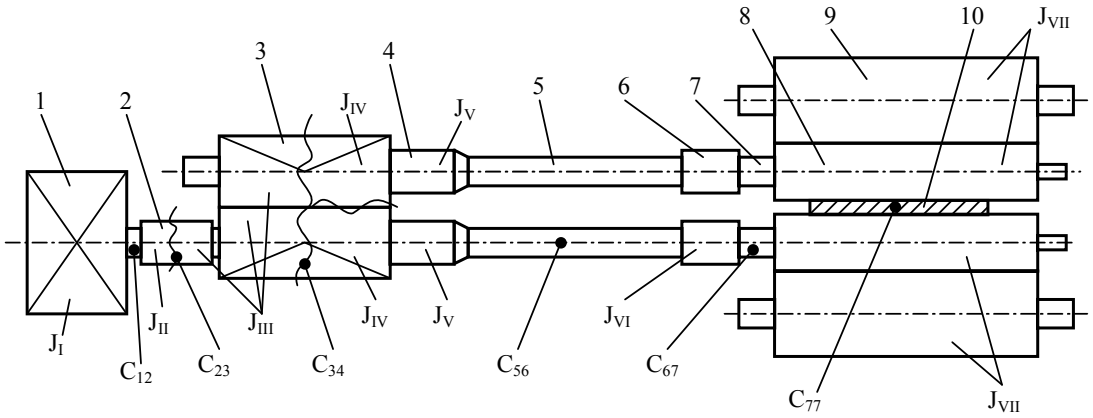


Fig. 1. Main line of finishing stand

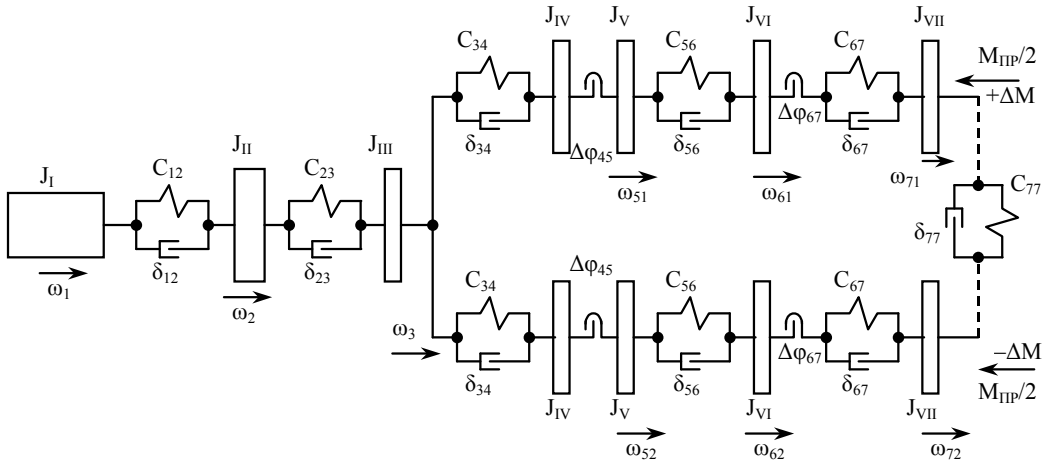


Fig. 2. Design diagram of mechanical part of the stand

The scattering coefficients are determined by the logarithmic damping decrement $\lambda_{вт}$

$$\delta_{ке} = 1 - e^{-2\lambda_{вт}}. \quad (1)$$

The size of the latter for metal (steel) elements is much smaller $\lambda_{вт} < 0{,}1$

$$\lambda_{вт} = \ln(A_1 / A_2), \quad (2)$$

A_1, A_2 – are two consecutive values of oscillation amplitude in shafting, separated by one period,

$$T_{ке} = \Omega_{ке} / 2\pi, \quad (3)$$

$\Omega_{ке}$ – own circular frequency of oscillations, 1/s.

When structural schemes are used to analyze the dynamics of a system, then the viscous friction coefficient in shafting $\beta_{ке}$ is introduced in them:

$$\beta_{ке} = \frac{2\lambda_{вт} C_{ке}}{\Omega_{ке}\sqrt{4\pi^2 + \lambda_{вт}^2}}. \quad (4)$$

Since the elements of the kinematic chain (shafts, spindles) are distributed masses, then the approaches proposed in [1] were used to bring the latter (J_j) to concentrated ones.

The influence of internal viscous friction in shafting on the oscillation damping is not significant in relation to the damping properties of the electric drive itself. Therefore, in the first approximation, it can be ignored, which was also confirmed by the simulation results.

On the design diagram $\Delta\varphi_з$ makes it possible to take into account possible clearances in the coupling of spindle blades, as well as in the hinges on the side of gear stand. The stiffness coefficient C_{77} of the rolled strip takes into account the interaction influence of rolls with each other in case of an uneven distribution of the rolling moment $M_{пр}$ between them [2].

The electric drive of the rolling stand was considered as a TP-D system with speed and current regulators at their standard settings to the modular optimum. To reduce the magnitude of the elastic moments in the kinematic chain of the stand the armature current intensity generator in the electric drive is used.

Simulation of the processes was carried out in Simulink of the MATLAB package. The stand model that taking into account the features of electric drive and elastic properties of the kinematic links is shown in Fig. 3. The model is designed according to design scheme and reflects the branching into two channels with their combination through an elastic element – the material that is rolled. The actual drive system is folded into the Subsystem EP subsystem. Creating of a gap in the kinematic connection of the hinge-spindle ($\Delta\varphi_{67}$) is implemented by blocks of insensitive Dead Zone1, Dead Zone2. In modeling, the internal dissipation of elastic elements was not taken into account – the coefficients β_{ij} were taken to be zero.

Following values of iinertia J1=67500 kgm^2; J2=8700 kgm^2; J3=950 kgm^2; J45=700 kgm^2; J6=450 kgm^2; J7=4075 kgm^2.

Based on real geometry and taking into account the properties of material the stiffness of shafts of mechanical transmissions were calculated.

The oscillation frequencies of elastic elements with such parameters are:

$$f_{ij} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C_{ij}(J_i + J_j)}{J_i J_j}}$$

$$f_{12} = 54{,}17\ \text{Гц};\ f_{23} = 132{,}54\ \text{Гц};\ f_{3(45)} = 392{,}4\ \text{Гц};$$
$$f_{(45)6} = 117{,}77\ \text{Гц};\ f_{67} = 250\ \text{Гц}.$$

The simulation results are shown in Fig. 4. It shows the graphs of coordinates in transient processes: set speed (ω_z); mismatch between ω_z and speed of the drive end of the roll $\Delta\omega=\omega_z-\omega_7$; the electromagnetic torque of the engine (M_e) and the total torque (M_c) of the load during rolling; moment in one of the spindles (M_{56}).

The model was set to a rolling program with a variable speed – in order to compensate the thickness difference, which corresponds to modern technological trends.

Taking into account the gap, its value was set to $\Delta\varphi_{67} = 0{,}004$ radians. Comparing the results in Fig. 4,a and Fig. 4,b, we see that, without taking into account the gaps, the damping of oscillations occurs due to damping properties of the engine. The presence of the gap provokes the appearance of self-oscillations, the damping of which in a real mechanical system will occur due to the damping properties of the shafts.

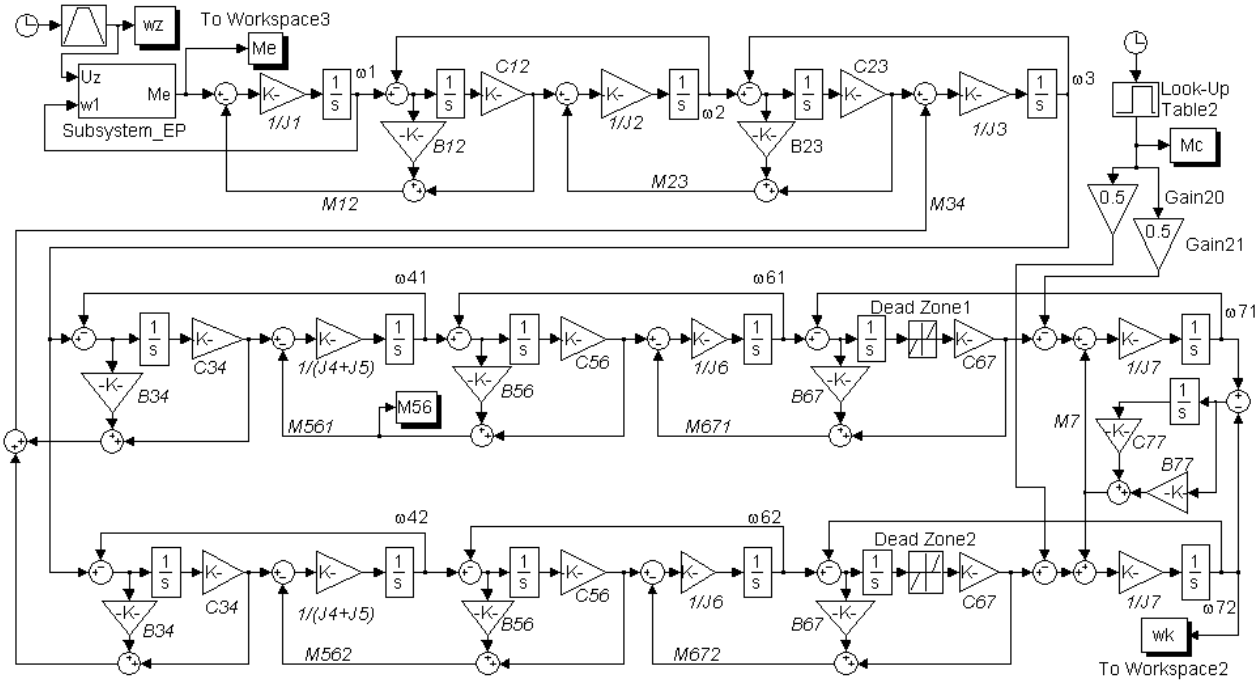
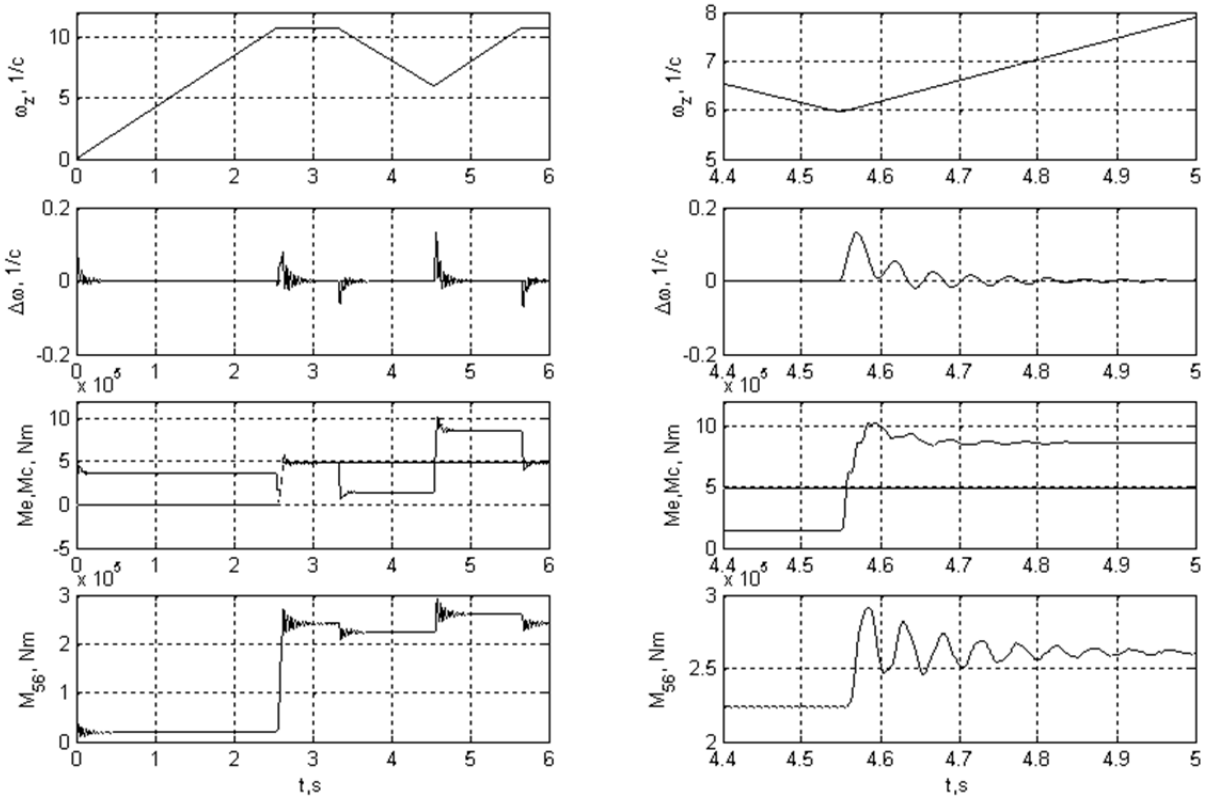
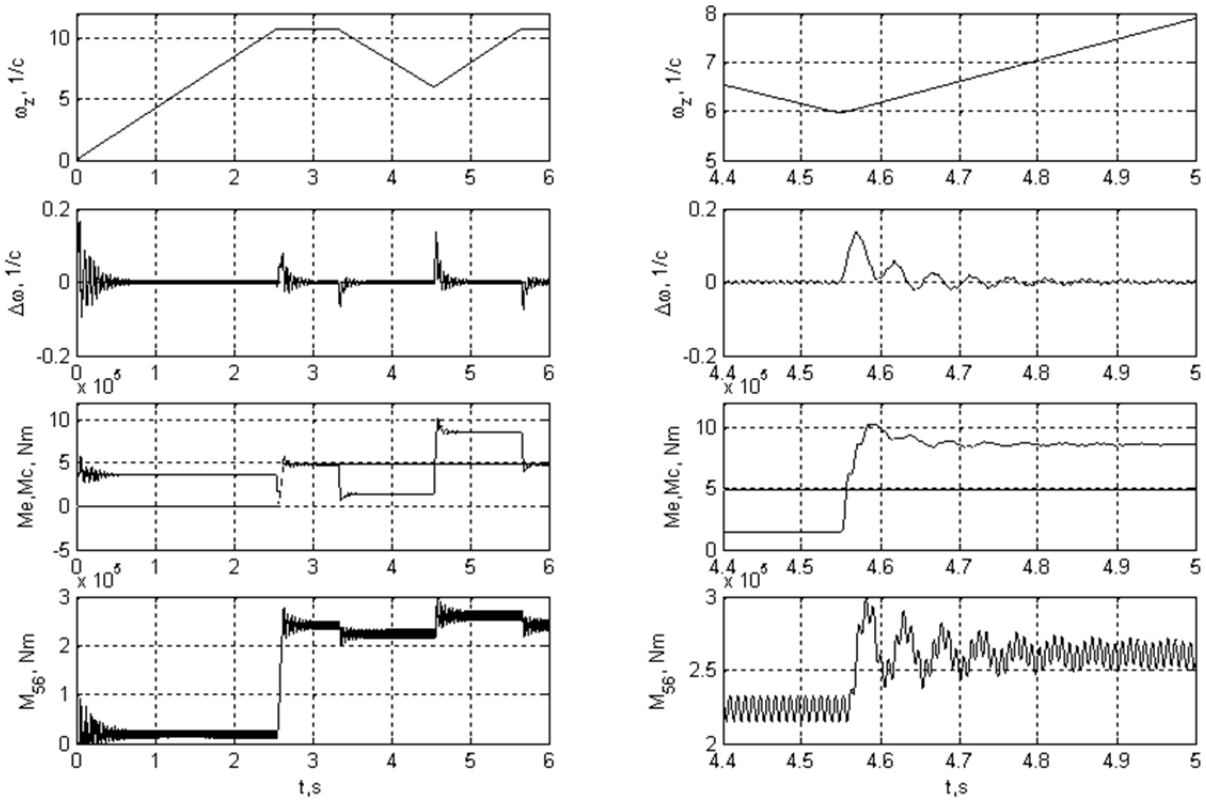


Fig. 3. The structure of model in Simulink



a



b

Fig. 4. Simulation results:
a – without taking into account the gap; b – taking into account the gap

Conclusions. Based on the simulation results, it can be stated:

– the maximum value of the dynamic misalignment between the set and real speed of the rolls does not exceed 2% and it disappears at a strip length less than 1m;

– oscillation processes in the spindle lead to an increase of moment in them $M_{56} = (1,4 \div 1,6)M_H$. This is due to the imposition of the reflected elastic deformation wave on the main one, it is short-term and does not require an increase of the engine power, but only affects the durability of mechanical equipment of the stand. To reduce the influence of these phenomena, it is necessary to reduce the gaps in kinematic chain of drive, for example, by replacing Hooke's hinges with roller ones;

– the frequency of oscillations in the mechanical chain reaches 10 Hz, which corresponds to the data of source [3]. The damping of oscillations takes place due to the damping properties of the electric drive;

– the appearance of a gap in the spindles leads to an increase in the system vibration frequency (70-80 Hz).

References

1. Vul'fson I.I. Vvedenie v dinamiku mehanizmov s uchetom uprugosti zven'ev. Uch. pos. – L.: LPI, 1977.
2. Morozov D.I., Andrejeva N.I., Shevchenko I.S. Modeljuvannja elektropryvodu kliti prokatnogo stana jak bagatomasovoi' elektromehanichnoi' systemy // Visnyk KrNU imeni Myhajla Ostrograds'kogo. № 3(56) /2009, chastyna 2, p. 13-17.
3. Brovman M.Ja. Dinamicheskie nagruzki pri prokatke tolstyh listov // Intensifikacija proizvodstva listovoj stali: Temat. otrasl. sb. – M.: Metallurgija, 1988. – p.14-20.

Шевченко І.С., Руднєв Є.С., Романченко Ю.А. Моделювання електроприводу головного руху прокатної кліті як багатомасової електромеханічної системи

У статті розроблено модель прокатної кліті товстолистового прокатного стана 3000 з метою визначення частоти коливань, що виникають при роботі, вплив їх амплітуди на динамічні відхилення швидкості робочого органу від заданої. Обґрунтовано дослідження методом математичного моделювання при проектуванні та експлуатації механічного обладнання. Наведена розрахункова схема механічної частини електромеханічної системи. Підтверджено за допомогою результатів моделювання, що вплив внутрішнього в'язкого тертя у валопроводах на загасання коливань не суттєвий по відношенню до демпфуючих властивостей самого електроприводу. Тому у першому наближенні його можна не враховувати. Електропривод прокатної кліті розглядався як система ТП–Д з регуляторами швидкості та струму при стандартних налагодженнях їх на модульний оптимум. Для зменшення величини пружних моментів у кінематичному ланцюзі стана в електроприводі використано задавач інтенсивності струму якоря. Моделювання процесів проводилось у середовищі Simulink пакету MATLAB. Модель кліті побудована за розрахунковою схемою та відображає розгалуження на два канали з поєднанням їх через пружний елемент – матеріал, що прокатується. Жорсткості валів механічних передач розраховувалися виходячи з реальної геометрії з врахуванням властивостей матеріалу. В модель задавалася програма прокатки зі змінною швидкістю – з метою компенсації різнотовщинності, що відповідає сучасним технологічним тенденціям. Порівнюючи результати моделювання встановлено, що наявність зазору провокує появу автоколивань, загасання яких в реальній механічний системі буде відбуватися за рахунок демпфуючих властивостей валів. Поява зазору в шпинделях призводить до збільшення частоти коливань системи (70-80 Гц).

Ключові слова: *прокатна кліть, пружньов'язкий елемент, механічні коливання.*

Шевченко І.С. – к.т.н., професор кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, shevchenko_is@snu.edu.ua
Руднєв Є.С. – к.т.н., в.о. завідувача кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, rudnev_es@snu.edu.ua
Романченко Ю.А. – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, romanchenko_ja@snu.edu.ua

Стаття подана 12.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-35-39

УДК 681.5.015

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЛІ

Асманкіна А.А., Лорія М.Г., Целіщев О.Б.

BUILDING COMPLEX ENERGYINDEPENDENCE MANAGEMENT SYSTEM

Asmankina A.A., Loriia M.G., Tselishchev O.B.

Оптимізація використання вичерпних джерел енергії та перехід до відновлювальних набирає обертів в усьому світі. Особливо перспективними наразі стають схеми спільного використання ґрунтових теплових насосів разом із сонячними тепловими панелями (геліоколекторами) та вітрогенераторами. Це дозволяє підвищити частку використання відновлюваної енергії з навколишнього природного середовища в загальному енергоспоживанні. З сучасними досягненнями технологій почала відбуватися відкритість ресурсів, котрі раніше були поза досягненням у використанні будь-ким, крім мілітаризованої сфери. З приходом відкритості існування нових технологій прийшла ера мікромініатюризації та спрощення виробництва елементів, з яких вони побудовані. Для людства постала нова задача – навчитися використовувати відновлювані джерела енергії у повсякденному житті. З'явилась потреба у знаходженні самого підходу використання цих джерел, на ряду з тими, що ми звикли використовувати.

В результаті проведеного аналізу була підтверджена доцільність використання як відновлювальних джерел енергії, так і централізованих та не відновлювальних. Але постало нове питання – як забезпечити систему більш доступним обладнанням та уніфікованими деталями.

У статті розглянута доцільність створення комплексу енергозабезпечення будівлі, здатного працювати дистанційно і незалежно від прямих енергоресурсів, що призведе до значного підвищення рівня захищеності від нестабільності температурних перепадів і перепадів в електричній мережі. Також метою є оптимізація системи енергозабезпечення будівлі. Були розглянуті методи регресійно-кореляційної побудови математичної моделі за результатом експерименту, досліджені побудовані криві емпіричних та експериментально отриманих показників енергозберігаючою комплексної системи будівлі, приведений тепловий баланс та логічно-структурна схема оптимізації.

Ключові слова: *комплекс, енергоефективність, відновлювальні джерела енергії, децентралізований, сонячні панелі, вітрогенератор, котел, тепловий насос, тепло, регресія, експеримент.*

Вступ. Одним з головних завдань сучасності — максимально зберегти природні ресурси для нащадків.

Згідно зі статистикою, з усіх видів енергії, яку ми споживаємо в побуті, 70% затрачається на обігрів приміщень, 15% енергії — на приготування їжі, 10% енергії споживає побутова техніка і ще 5% спрямовується на освітлення. Звичайно, цифри усереднені й багато в чому залежать від площі будинку або квартири, системи опалення, кухонної плити тощо, проте вони дають розуміння того, що використання кожним енергоефективної техніки та систем приладів дозволяє досягати суттєвих результатів із підвищеним ККД використовуваної енергії. А отже – жити, зберігаючи навколишнє середовище. [1]

Пропонується створення системи, яка дозволить підвищити оптимізацію подання енергії в будівлю. Поєднання декількох джерел енергії та забезпечення їх керованим перемиканням дасть збільшений ККД і оптимальне використання окремих видів енергії, які потребують збереженню.

Огляд літератури. У роботі [2] пропонується використати автономну систему електрозабезпечення з використанням дизель-генераторної системи. Дизель-генераторна установка (ДГУ) – це електромеханічний пристрій, що складається з дизельного двигуна, електрогенератора і схеми управління.

Але є ряд недоліків у використанні ДГУ:

Габарити. Дизельні генератори – це достатньо велика по вазі і розмірам техніка, яка вимагає залучення спецтехніки для транспортування або переміщення.

Установки великої потужності вимагають пристрої окремої системи вентиляції і рами, що несе, для їх безпечної роботи в приміщенні.

Використання дизель-генератором можливо лише під навантаженням від 40 % потужності.

Під час роботи установки в режимі холостого ходу відбувається інтенсивний знос внутрішніх вузлів і деталей.

Вимогливість до якості палива.

Порівняно висока вартість генератора. [3]

У роботі [4] розроблено методику поєднання різних джерел відновлювальної енергії малої потуж-

ності. Розробив методику вибору джерел для локальних систем електрозабезпечення. Досліджені особливості електропостачання споживачів малої потужності, віддалених від мереж централізованого електропостачання, на прикладі селищних освітніх установ (СОУ). Наявність СОУ є обов'язковою умовою освоєння і стійкого розвитку видалених територій. Проаналізовані схеми передачі і розподілу електроенергії від енергосистеми до кінцевих електроприймачів СОУ. Встановлені великої протяжність ліній 10(6) кВ (до 50 км.) і низькі коефіцієнти завантаження трансформаторів 10(6) /0,4 кВ (від 0,3 і нижче), що визначає високий рівень втрат електроенергії в цих елементах (за статистикою відповідно 34 і 26%). Висновком своєї роботи автор вважає, що ефективним вирішенням проблем низької якості електропостачання енерговіддалених (автономних) споживачів є вживання відновлювальних джерел живлення.

Розглянуті роботи дали поштовх розробити оптимальну систему, котра буде мати більшу захищеність від зовнішніх факторів (відключення, здороження, тощо), більше зрозумілою для користувача, завдяки даним, що отримаються з контролюючих датчиків, ефективнішою, завдяки системі джерел енергії. [5]

Мета та задача. Метою роботи є створення комплексу енергозабезпечення будівлі, здатної працювати дистанційно і незалежно від прямих енергоресурсів, що призведе до значного підвищення рівня захищеності від нестабільності температурних перепадів і перепадів в електричній мережі. Також метою є оптимізація системи енергозабезпечення будівлі.

Головною задачею є створення комбінованої системи та розробка математичної моделі її роботи.

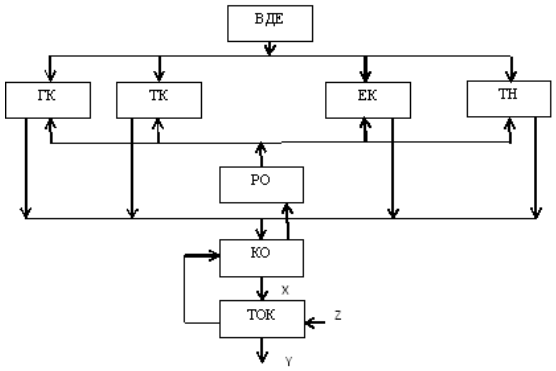


Рис.1. Блок-схема комплексу енергозбереження будівлі з використанням відновлюваних джерел енергії ВДЕ

На рис.1 зображена блок-схема комплексу енергозбереження будівлі, де енергія від відновлюваних джерел енергії поступає на всі джерела теплової енергії (газовий котел ГК, твердопаливний котел ТК, електрокотел ЕК, тепловий насос ТН), які передають сигнал об'єкту керування ОК про свою доцільність у використанні, в залежності від зовнішніх параметрів будівлі. [6] В свою чергу технологічний об'єкт керування ТОК (будівля) задає необхідні параметри об'єкту керування, який передає регулюючому органу сигнал про вибір оптимального джерела теплової енергії.

Основний матеріал. Для створення ефективної системи необхідно розробити математичну модель, в даному випадку, побудувати та проаналізувати експериментальну статистичну модель будівлі з використанням комбінованої системи енергозбереження. Комбінована система енергозбереження відноситься до маловивчених та складних, але є можливість її експериментального дослідження, то статичні та динамічні характеристики отримують експериментальним шляхом, який відноситься до най вірогідніших. [7, 8] Вибір метода експериментального дослідження діючого об'єкта визначається: характером поставленої задачі, умовами проведеного досліду, допустимими за технологічними вимогами, відхиленнями досліджуваної величини, характером експлуатаційних збурень та ін. За цього отримати необхідний матеріал можна шляхом пасивного та активного експерименту.

Перед постановкою експерименту щодо визначення характеристик комплексної системи енергозбереження виконується відповідна підготовка та планування експерименту. [9] Були визначені допустимі межі відхилень цих параметрів, а також рівень природних шумів. На основі попереднього вивчення системи розроблена структурно-логічна схема зі всіма логічно-обґрунтованими внутрішніми прямими та перехресними зв'язками.

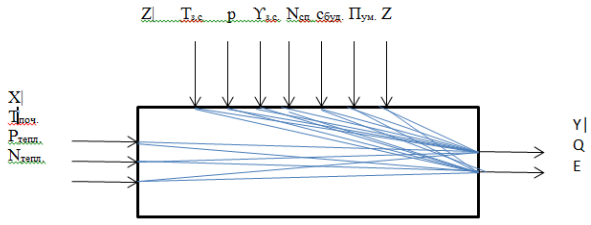


Рис. 2. Структурно логічна схема енергоефективної системи, де X – вхідні параметри, Y – вихідні, Z – збурюючи

В нашому випадку вхідними параметрами є - початкова температура ($T_{поч}$), кількість теплоти($N_{тепл.}$), що надходить до приміщення, вид джерел енергії (газове, електричне опалення, тепловий насос чи твердопаливний котел) та кількість джерел енергії($N_{тепл.}$). Вихідними параметрами будуть кількість отриманої теплоти (Q) та надлишкова енергія E. При цьому є ряд збурюючи параметрів, які впливають на процес: тиск (p), температура ($T_{з.с.}$), вологість зовнішнього середовища ($Y_{з.с.}$),кількість споживачів тепла ($N_{сп}$), теплоізоляція будівлі ($c_{буд}$), погодні умови ($П_{ум}$), форс мажорні ситуації (вєєрне відключення, тимчасове припинення постачання джерел енергії) (Z). [10]

Загальне рівняння теплового балансу має вигляд:

$$dq_1 + dq_2 + dq_3 + dq_4 = dq_V + dq\,, \qquad (1)$$

де dq_1 – кількість тепла, яке поступає з потоком газового котла;

dq_2 – кількість тепла, яке поступає з потоком твердопаливного котла;

dq_3 – кількість тепла, яке поступає з потоком електричного котла;

dq_4 – кількість тепла, яке поступає з потоком теплового насоса;

dq_V – кількість тепла, яке отримали для опалення будівлі;

dq – надлишкова кількість тепла.

Баланс кількості тепла, котра уводиться в ТОК з матеріальними потоками, та кількість тепла, котра створюється в ньому за рахунок відповідних фізико-хімічних перетворень, дорівнює кількості тепла, яке виводиться з цього об'єкта матеріальними потоками та через поверхню комбінованої системи.

Запишемо рівняння теплового балансу в технологічних змінних.

Для тримірного температурного поля диференціальне рівняння теплопровідності за аналогією можна записати у вигляді

$$\tau_P \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} = a\nabla^2 T. \qquad (2)$$

Рівняння отримане для випадку, коли джерело тепла має безмежну теплову потужність зі ступінчастою вхідною функцією, тобто$T_{вх} = \mathrm{T}_0 = const$. Для того, щоби привести рівняння до гіперболічної форми приймається, що добуток $c_P\rho$ дуже малий, яким можна знехтувати. Тому приводиться до такого хвильового гіперболічного рівняння:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = w^2\nabla^2 T. \qquad (3)$$

Якщо фізичні чи фізико-хімічні процеси неперервні, то у загальному вигляді залежність

$\mathrm{y_i} = \int(\mathrm{x}_j, z_k)$ може бути описана неперервною i у всіх точках диференційованою функцією.

В зв'язку з тим, що у реальному процесі завжди існують некеровані та неконтрольовані змінні, результат експерименту є випадковою величиною. Тому в разі обробки експериментальних даних отримуються так звані вибіркові коефіцієнти регресії b_0, b_i, b_j, $b_{u,i}$, $b_{\vartheta j}$, b_{ii}, b_{jj}, які відповідно є оцінками теоретичних коефіцієнтів β_0 , β_i , β_j , β_{ui} , $\beta_{\vartheta j}$, β_{ii} , β_{jj}. Рівняння регресії, отримане на основі експерименту, запишемо так:

$$\bar{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{j=1}^{m} b_j z_j + \sum_{\substack{u,i=1 \\ u\neq i}}^{n} b_{u,i}\, x_u x_i + \sum_{\substack{\vartheta,j=1 \\ \vartheta\neq j}}^{m} b_{\vartheta,j}\, z_\vartheta z_j + \sum_{i=1}^{n} b_{ii}\, x_i^2 + \sum_{j=1}^{m} b_{jj}\, z_j^2 + \cdots \qquad (4)$$

де β_0 – вільний член рівняння регресії; β_i , β_j – лінійні складові рівняння; $\beta_{u,i}$, $\beta_{\vartheta,j}$ – коефіцієнти взаємозв'язків; β_{ii} , β_{jj} – квадратичні складові.

Коефіцієнти рівняння визначаються методом найменших квадратів із умови

$$\Phi = \sum_{k=1}^{N}(\mathrm{y_k} - \overline{\mathrm{y_k}})^2 = min, \qquad (5)$$

де N – *об'єм вибірки.*

Під час виконання експерименту отримують серію даних, які записують у відповідні таблиці, а потім переносять на площину *xy* або *zy* і дістають так зване кореляційне поле. [11-15]

Таблиця

Значення показників отриманих в результаті дослідження експериментальної установки

№ зп	t, хв	P	tзк	tгє	tз кап
1	0	5	19,5	17,25	-11,13
2	0,01	6	36,88	17,63	-38
3	0,05	6,2	46,5	18,88	-25,75
.					
.					
.					
N	0,4	9,2	79,88	31,5	-20,38

Найважливішим показником є температура у гарячій ємності.

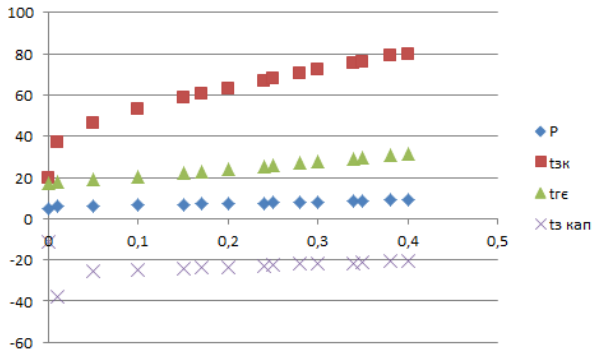


Рис. 3. Кореляційне поле дослідів

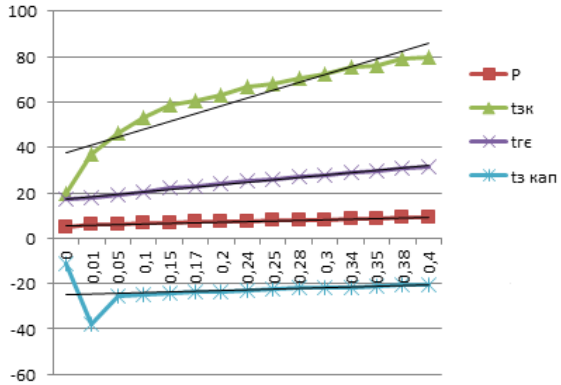


Рис. 4. Емпіричні та теоретичні лінії регресії знятих показників

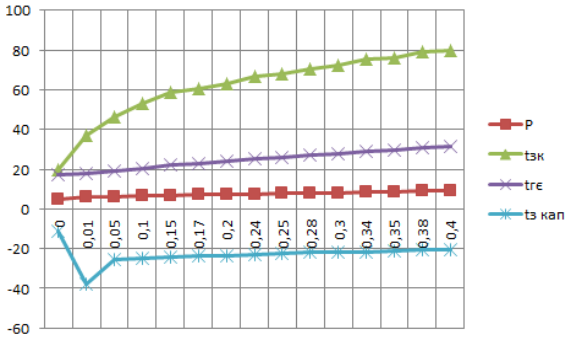


Рис. 5. Емпіричні та теоретичні лінії регресії поділені на ділянки |Δx|

Після обробки зібраних показників була побудована експериментальна лінія регресії та знайдені середні значення показників, які були потрібні для знаходження коефіцієнта кореляції. Знайдений коефіцієнт належить до проміжку [0;1] та є ознакою сильної кореляції.

Висновки. Розроблена та досліджена модель комплексу енергозбереження будівлі, здатної працювати дистанційно і незалежно від прямих енергоресурсів, що призведе до значного підвищення рівня захищеності від нестабільності температурних перепадів і перепадів в електричній мережі. Пропрацьовано методи керування всієї системи комплексу та визначено оптимальні критерії.

Була розроблена комбінована система та розроблена математична модель її роботи. Побудовані теоретичні та емпіричні криві, що дозволило зробити математичний аналіз коефіцієнта кореляції.

Література

1. Перспективи відмови від традиційних джерел енергії на користь альтернативним [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: https://saee.gov.ua/.
2. Обухов С. Г. Повышение эффективности комбинированных автономных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : спец. 05.14.02 / С. Г. Обухов ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИН), Кафедра электроснабжения промышленных предприятий (ЭПП) ; науч. конс. Б. В. Лукутин. — Томск, 2013. — 41 с. : ил.
3. Сравнительный анализ схем автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики. // Промышленная энергетика. – 2012. – №7. – С. 46–51.
4. Підвищення ефективності локальних систем електрозабезпечення з поновлюваними джерелами енергії : дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / . – Нижній Новгород, 2013. – 165 с.
5. Метеоцентр [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: http://meteocenter.net/.
6. Бевз С. М. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / С. М. Бевз. – Київ: Нац. акад. наук України, 2007. – 560 с. – (Українські енциклопедичні знання). – (Підприємство "Укренергозбереження".).
7. Мінфін [Электронный ресурс] / . – Режим доступа: http://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/dt/2017-12
8. Самойлов Д.В. Расчет величины поступления теплоты от солнечной радиации на поверхность Земли. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. -20с.
9. Целіщєв О.Б. Математичне моделювання технологічних об’єктів: підруч./ О.Б. Целіщєв, П.Й.Єлісєєв, М.Г. Лорія, І.І. Захаров – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту, 2011. – 421с.
10. Стенцель Й.І. Автоматика та автоматизація хіміко-технологічних процесів. Навч. посібник – Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім В.Даля, 2004. – 376 с.
11. Стенцель Й.І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування. Навч.посібник - К.: УМК ВО, 1993. – 325 с.
12. Технические средства автоматизации химических производств /В.С. Балакирев, Л.А. Барский и др. – М.: Химия, 1991. -272 с.
13. Стенцель Й.І., Целіщев О.Б., Лорія М.Г. Вимірювання в хімічній технології. Підручник /Під ред. проф. Стенцеля Й. І. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2007. – 480 с.
14. Стенцель Й. І. Компютерні системи автоматизації виробництва синтетичного аміаку [Текст] /Й. І. Стенцель, О. В. Поркуян, Т. Г. Сотнікова, К. А. Літвінов. Підручник. – Сєвєродонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2020. – 353 с.
15. Schobert H. H. Energy and Society, an Introduction / H. H. Schobert. – Taylor and Francis. – New York. – 2002.

References

1. Perspektyvy vidmovy vid tradytsiinykh dzherel enerhii na koryst alternatyvnym [Elektronnyi resurs]. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: https://saee.gov.ua/.
2. Obukhov S. H. Povыshenye эffektyvnosty kombynyrovannыkh avtonomnыkh system эlektrosnabzhenyia s vozobnovliaemыmy ystochnykamy эnerhyy : avtoreferat dyssertatsyy na soyskanye uchenoi stepeny doktora tekhnycheskykh nauk : spets. 05.14.02 / S. H. Obukhov ; Natsyonalnыi yssledovatelskyi Tomskyi polytekhnycheskyi unyversytet (TPU), Эnerhetycheskyi ynstytut (ЭNYN), Kafedra эlektrosnabzhenyia promыshlennыkh predpryiatyi (ЭPP) ; nauch. kons. B. V. Lukutyn. — Tomsk, 2013. — 41 s. : yl.
3. Sravnytelnыi analyz skhem avtonomnыkh эlektrostantsyi, yspolzuiushchykh ustanovky vozobnovliaemoi эnerhetyky. // Promыshlennaia эnerhetyka. – 2012. – №7. – S. 46–51.
4. Pidvyshchennia efektyvnosti lokalnykh system elektrozabezpechennia z ponovliuvanymy dzherelamy enerhii : dys. kand. tekhn. nauk : 05.09.03 / . – Nyzhnii Novhorod, 2013. – 165 s.
5. Meteotsentr [Elektronnyi resurs]. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: http://meteocenter.net/.
6. Bevz S. M. Enerhoefektyvnist ta vidnovliuvani dzherela enerhii / S. M. Bevz. – Kyiv: Nats. akad. nauk Ukrainy, 2007. – 560 s. – (Ukrainski entsyklopedychni znannia). – (Pidpryiemstvo "Ukrenerhozberezhennia".).
7. Minfin [Эlektronnыi resurs] / . – Rezhym dostupa: http://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/dt/2017-12
8. Samoilov D.V. Raschet velychynы postuplenyia teplotы ot solnechnoi radyatsyy na poverkhnost Zemly. – M.: Yzdatelstvo MHTU ym. N.Э. Baumana, 2006. -20s.
9. Tselishchiev O.B. Matematychne modeliuvannia tekhnolohichnykh obiektiv: pidruch./ O.B. Tselishchiev, P.I.Ielisieiev, M.H. Loriia, I.I. Zakharov – Luhansk: Vydvo Skhidnoukr. nats. un-tu, 2011. – 421s.

10. Stentsel Y.I. Avtomatyka ta avtomatyzatsiia khimiko-tekhnolohichnykh protsesiv. Navch. posibnyk – Luhansk: vyd-vo Skhidnoukr. nats. un-tu im V.Dalia, 2004. – 376 s.
11. Stentsel Y.I. Matematychne modeliuvannia tekhnolohichnykh obiektiv keruvannia. Navch.posibnyk - K.: UMK VO, 1993. – 325 s.
12. Tekhnycheskye sredstva avtomatyzatsyy khymycheskykh proyzvodstv /V.S. Balakyrev, L.A. Barskyi y dr. – M.: Khymyia, 1991. -272 s.
13. Stentsel Y.I., Tselishchev O.B., Loriia M.H. Vymiriuvannia v khimichnii tekhnolohii. Pidruchnyk /Pid red. prof. Stentselia Y. I. – Luhansk: Vyd-vo SNU im. V.Dalia, 2007. – 480 s.
14. Stentsel Y. I. Kompiuterni systemy avtomatyzatsii vyrobnytstva syntetychnoho amiaku [Tekst] /I. I. Stentsel, O. V. Porkuian, T. H. Sotnikova, K. A. Litvinov. Pidruchnyk. – Sievierodonetsk: Vyd-vo SNU im. V. Dalia, 2020. – 353 s.
15. Schobert H. H. Energy and Society, an Introduction / H. H. Schobert. – Taylor and Francis. – New York. – 2002.

Asmankina A.A., Loriia M.G., Tselishchev O.B. Building complex energyindependence management system

Optimization of the use of exhaustive energy sources and passing to renewal collects turns in the whole world. Especially perspective now the charts of the general use of soil thermal pumps become together with sun thermal panels (geliokolektors) and windgenerators. It allows to promote part of the use of refurbishable energy from a natural environment in a general energy consumption. With modern achievements of technologies the openness of resources which before were out of achievement in the use by somebody began to take place, except for the militarized sphere. At the complex going near providing of building energy, for example, of heat, examine the thermal inertance of building, amount of floors, finding azimuth above all things, calculation power of equipment, and others like that. With arrival of openness of existence of new technologies the era of mikrominiaturisation and simplification came productions of elements, which they are built from. A new task appeared for humanity – to learn to use refurbishable energy sources in everyday life. A requirement appeared in finding of approach of the use of these sources, on a row with those, that we got used to use. As a result of the conducted analysis there was the confirmed expedience of the use both renewal sources energies and centralized and not renewal. But a new question appeared – how to provide the system more accessible equipment and compatible details.

In the article the considered expedience of creation of complex of energy of building, able to work remotedly and regardless of direct energyresource, that will result in the considerable increase of level of protected from instability of temperature overfalls and overfalls in an electric network. Also a purpose is optimization of the system of energy of building. There were the considered methods of regresion-korellation construction of mathematical model after the result of experiment, the investigational are built curves of empiric and the experimentally got indexes energykeeping complex system of building, the thermal balance is resulted and logically structural chart of optimization.

Keywords: *a complex, energyindependence, renewal energy sources, decentralizes, sun panels, windgenerator, caldron, heat-pump, warm, regression, experiment.*

Асманкіна Анастасія Анатоліївна – аспірант кафедри електронних апаратів, ст. лаборант кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, asmankina@ukr.net

Лорія Марина Геннадіївна – д.т.н., проф. кафедри електронних апаратів та кафедри комп'ютерно-інтегрованних систем управління, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля

Целіщев Олексій Борисович – д.т.н**.,** проф., проректор з наукової роботи Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля

Стаття подана 17.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-40-48

УДК 004.89:620.91

ПОДАННЯ ЗНАНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМАМИ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Моркун В.С., Котов І.А., Сердюк О.Ю., Гапоненко І.А.

KNOWLEDGE REPRESENTATION IN INTELLIGENT AUTOMATION SYSTEMS FOR CONTROL OF POWER SYSTEMS OF THE MINING AND METALLURGICAL COMPLEX UNDER UNCERTAINTY

Morkun V.S., Kotov I.A., Serdiuk O.Y., Haponenko I.A.

У статті розглянута проблема урахування невизначеності інформації для побудови баз знань в системах підтримки рішень оперативного керування режимами електроенергетичних систем. Обґрунтовано, що формулювання логіки управління проводиться, переважно, на рівні якісних уявлень і понять. Останні можуть бути формалізовані у вигляді логіко-лінгвістичних моделей, які повинні розглядатися з точки зору теорії нечітких множин і лінгвістичних змінних. Проведено аналіз існуючих підходів до подання та обробки нечітких знань про керування енергосистем гірничо-металургійного комплексу. Обґрунтовано підхід до подання інкорпорації різних форм репрезентації професійних онтологій на базі нечіткої логіки. Методи дослідження полягають у використанні апарату нечіткої логіки, формальних мов, теорії систем штучного інтелекту і систем підтримки рішень. Реалізовано програмний комплекс системи підтримки рішень для автоматизації диспетчерського оперативного керування нормальними і аварійними режимами енергосистеми гірничо-металургійного комплексу. Запропонована схема впровадження системи підтримки прийняття рішень в середу діючої автоматизованої системи диспетчерського керування енергосистем. Розроблено нову структуру компонування ядра системи підтримки прийняття рішень.

***Ключові слова**: граматика, лінгвістична змінна, онтологія, енергосистема, метаправило, фазифікація*

Вступ. Сьогодні стають все більш складними завдання автоматизації керування сучасними енергосистемами гірничо-металургійного комплексу у відповідності до ускладнення їх структур і бізнес-процесів. Багато технологічних і бізнес-процесів неможливо формалізувати математичним апаратом прийнятного обсягу або в прийнятний час. Завдання керування складними об'єктами в чому вирішуються на основі накопиченого досвіду керівника – особи, що приймає рішення (ОПР). Методи, які використовуються ОПР, є приблизними і спираються на знання в конкретній професійній сфері.

Особливого значення набуває оперативне керування складними технічними об'єктами в темпі реальних технологічних процесів. При аварійних або кризових ситуаціях гострота проблеми оперативного керування значно наростає. В таких ситуаціях ОПР не в змозі адекватно реагувати в темпі розвитку процесу. Головними причинами такого становища є надзвичайно великий обсяг інформації, що вимагає безпомилкової оцінки за мінімальний час, і психологічний тиск на ОПР внаслідок підвищеної відповідальності. Виникає проблема інтелектуальної автоматизації керування. Для досягнення максимального ефекту керування в якості засобів автоматизації використовуються системи підтримки прийняття управлінських рішень (СППР). Основною платформою, на яку спираються СППР, є бази знань (БЗ) професійних областей. Отже, є актуальною задача розробки і впровадження в контури автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСКТП) уніфікованої, інтегральної моделі представлення професійних онтологій.

Постановка проблеми. Моделі форм подання знань і відповідних їм онтологій дозволяють синтезувати і використовувати бази знань в будь-яких професійних областях.

Результат суб'єктивізму джерел знань проявляється у вигляді їх імовірнісного характеру, ненадійності, недостовірності, нечіткості. Важливою проблемою при управлінні складними динамічними системами є формалізація невизначеності, неточності і недостовірності вихідної інформації для прийняття рішень. Ця обставина природно призводить до неточності і недостовірності вироблюваних управлінських рішень. Тому разом з інкорпорацією різних

форм представлення знань в практичних СППР обов'язково повинне вирішуватися завдання обліку чинників недостовірності і неповноти вихідних лінгвістичних характеристик проблемної ситуації [1, 2].

Отже, необхідна розробка механізмів фазифікації моделей знань в рамках ієрархії онтологій знань. Ієрархія онтологій спирається на модель нижнього рівня атомарних висловлювань, що утворюють концептуальний тезаурус. У зв'язку з цим, урахування невизначеності семантичних концептів є базовим завданням при формуванні моделей нечіткості всіх рівнів ієрархії онтологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В області побудови систем підтримки управлінських рішень великий внесок внесли вітчизняні та зарубіжні вчені – Башликов А. А., Венделін А. Г., Геловані В. А., Євланов Л. Г., Заде Л. А., Ларічев О. І. , Любарський Ю. Я., Лорьер Ж. Л., Люггер Дж. Ф., Поспєлов Г. С., Поспєлов Д. А., Саати Т., Самойлов В. Д., Таунсенд К., Терелянскій П. В. , Тиугу Е. Х., Ульман Дж., Уотермен Д., Фішберн П. К., Форсайт Ф., Чавчанідзе В. В. та багато інших. Зокрема, значний внесок в розвиток теорії і практики використання нечітких знань внесли Заде Л. А., Башмаков І. А., Берштейн Л. С., Борисов А. Н., Ісідзука М., Карелін В. П., Коровін С. Я., Ротштейн А.

Будь-які подання знань в більшості випадків реалізуються в лінгвістично вільних формах і конче пов'язані з необхідністю урахування суб'єктивізму джерел цих знань [3].

Нечітко-множинний підхід застосовується в умовах неповноти інформації про досліджувані явища чи об'єкти. Нечітка логіка дозволяє формалізувати нечіткі експертні знання, які зазвичай виражаються у вигляді висловлювань в термінах природної мови або професійного сленгу. Формалізація нечітких висловлювань ґрунтується на введенні понять нечіткої і лінгвістичної змінних, нечіткого безлічі і нечіткого відносини [4 - 8].

Як висновок, можна констатувати, що в розглянутих роботах пропонується розглядати дані концепти як лінгвістичні змінні, значеннями яких є терми нечітких значень з характеристиками їх недостовірності [9].

Мета статті. Для постановки мети роботи необхідно визначити структуру та функціональний сценарій функціонування СППР. В роботі було поставлено і вирішено конкретне оперативне завдання по контролю аварійної ситуації і автоматичної генерації керуючих диспетчерських рішень в енергосистемі гірничо-металургійного комплексу. Результатом циклу роботи СППР повинні бути нормативно-інструктивні концепти професійних онтологій диспетчерського керування. СППР повинна передбачати її використання в складі автоматизованих систем контролю і керування електроенергетичних комплексів для автоматизації процесу прийняття рішень під час оперативних перемикань схем, регулювання рівнів напруги і перетоків потужності в електроенергетичних системах в нормальних і аварійних режимах в умовах невизначеності.

Для впровадження СППР повинні бути визначені можливі точки впровадження СППР в тракти передачі даних комплексу автоматизованої системи диспетчерського керування (АСДК). Передбачається, що точками впровадження ядра СППР в середу АСДК можуть бути: блок автоматизованих робочих місць, блок технологічної мережі обміну даними, блок збору даних і телеуправління. Комплекс АСДК + СППР підвищує ступінь автоматизації комп'ютерної підтримки прийняття рішень і якість процесу керування в умовах невизначеності, а саме, виключаються помилки керуючого персоналу під час оперативних перемикань схеми, регулювання рівнів напруги, розподілу величин генерації і перетоків потужності в ЕЕС, що забезпечує зниження збитків від невірних або несвоєчасних управлінських рішень в аварійних ситуаціях.

Виходячи із сформульованої мети, в роботі поставлені наступні завдання:

– розробити математичні моделі фазифікації тезауруса атомарних концептів;

– розробити математичні моделі застосування метаправил, як модуля нечіткого управління базою знань;

– розробити модель СППР, яка передбачає використання в складі автоматизованих систем контролю і управління електроенергетичних комплексів і може застосовуватися для автоматизації процесу прийняття рішень в умовах невизначеності;

– реалізувати програмний комплекс системи підтримки рішень для автоматизації диспетчерського оперативного управління нормальними і аварійними режимами енергосистеми гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності;

– розробити нову схему компонування БЗ і блока логічного висновку (БЛВ);

– розробити схему впровадження СППР в середу діючої АСДК енергосистем.

Результати досліджень. Введемо загальний підхід до фазифікації концептів БЗ, спираючись на відомі методики [9 - 11]. Будемо вважати множину всіх концептів (атомарних лексичних одиниць)

$$S = \{s_k \mid k = 1, n_s\} \tag{1}$$

множиною-універсумом лінгвістичних змінних [10, 12, 13]. Тобто

$$\forall (s_k \mid s_k \in S) : s_k =< \beta_k, T_k, X_k, G, M >, \tag{2}$$

де β_k – найменування k-ой лінгвістичної змінної;

T_k – терм-множина лінгвістичної змінної, що представляє собою множину найменувань нечітких значень лінгвістичної змінної;

X_k – область визначення (універсум) нечітких значень лінгвістичної змінної β_k;

G – синтаксична процедура генерування в заданому контексті нових значень лінгвістичної змінної β;

M – семантична процедура формування нечіткої множини.

Однак, в заданому окремому контексті професійної області − c_i, $c_i \in C$ − для підмножини $S^{Ci} \subset S$ лінгвістичних змінних можна також виділити підмножину концептів, що утворюють терм-підмножину нечітких значень − $S^{Ci}{}_T \subset S$ − для кожної лінгвістичної змінної з підмножини S^{Ci}. Тоді лінгвістичну змінну пропонується представляти у наступному вигляді:

$$\forall S^{C_i} \exists S_T^{C_i} (S^{C_i} \subset S, S_T^{C_i} \subset S, S^{C_i} \bigcap S_T^{C_i} = \varnothing): \\ < s_k^{C_i}, S_T^{C_i}, X_k, G, M >, \quad (3)$$

де $S^{Ci}{}_k \in S^{Ci}$.

У даній формальній системі елементи терм-підмножини $S^{Ci}{}_T$ можуть розглядатися як ідентифікатори підмножини значень, що характеризують предметну область завдання. Отже, підмножина термів $S^{Ci}{}_T$ може розглядатися в якості множини значень лінгвістичної змінної $S^{Ci}{}_k$ і, отже, утворює клас її значень або тип. Тому, слідуючи, наприклад, синтаксису мови програмування С, можна записати

$$S^{Ci}{}_T \quad S^{Ci}{}_k; \quad (4)$$

У свою чергу, як було зазначено раніше, $S^{Ci}{}_T \subset S$ − терм-підмножина нечітких значень лінгвістичної змінної і $s^{Ci}{}_k \in S^{Ci} \subset S$

$$S_T^{C_i} = \{ s_{Tk}^{C_i} \mid j = 1, m_T \}, \quad (5)$$

де $s^{Ci}{}_{Tk}$ − нечітка змінна.

Відповідно до визначення нечіткої змінної стосовно розробленої моделі БЗ напишемо [10, 13 – 16]

$$s_{Tk}^{C_i} =< \alpha, X, \{ x \mid \mu_A(x) \} > . \quad (6)$$

В даному вирази прийнято, що в практичній системі застосовується операція іменування (ідентифікації) нечітких змінних

$$O_{id} : s_{Tk}^{C_i} \to \alpha. \quad (7)$$

Якщо ж в якості імен нечітких змінних використовувати їх лексичні вирази, то

$$s_{Tk}^{C_i} =< s_{Tk}^{C_i}, X, \{ x \mid \mu_A(x) \} > . \quad (8)$$

Прийнята в роботі схема фазифікації тезауруса атомарних висловлювань на основі формалізму лінгвістичної змінної і її нечітких значень − нечітких змінних − для урахування невизначеності семантичних концептів приведена на рис. 1.

Виходячи з прийнятої моделі урахування невизначеності елементів множини тезауруса, як базового рівня еволюції онтологій БЗ, розробимо математичні моделі урахування невизначеності для всіх рівнів ієрархії знань.

У загальному випадку рівень атомарних концептів є підмножина нечітких змінних, які можуть бути узагальнені лінгвістичними змінними [10]

$$s_{Tk}^{C_i} = \{ s_{Tk1}^{C_i} \mid \mu_X(s_{T1}^{C_i}), s_{Tk2}^{C_i} \mid \mu_X(s_{T2}^{C_i}), ..., s_{Tkn}^{C_i} \mid \mu_X(s_{Tn}^{C_i}) \}, \quad (9)$$

$$s_{Tk}^{C_i} = \{ (s_{Tkj}^{C_i} \mid \mu_X(s_{Tj}^{C_i})) \mid j = 1, n \},$$

$$s_{Tk}^{C_i} =< O_{id}(s_k^{C_i}), S_T^{C_i}, X_k, G, M > .$$

Для фазифікації тезауруса атомарних концептів шляхом побудови функцій приналежності можуть використовуватися існуючі методи [10, 14].

Розглянемо розробку моделі фазифікації подання онтологій рівня метазнань в умовах невизначеності. Про метаправила можна говорити, як про модулі нечіткого управління по відношенню до БЗ.

Іншими словами, повинне вирішуватися основне завдання про можливість застосування метаправила в умовах невизначеності. Ця обставина вимагає введення в структуру метаправила модуля порогової чутливості або активізації метаправила. Невизначеність консеквента метаправила цікава не точним результатом, а граничним значенням сигналу для запуску метаправила. Для вирішення питання про запуск метаправила агреговані вхідні величини нечітких сигналів повинні фільтруватися вихідною пороговою функцією чутливості метаправила – MR.

Так як на вхід метаправила подаються не концепти з їх невизначеністю, а стани БЗ і інтелектуальної системи в цілому з можливістю їх виникнення, то в рамках прийнятої концепції метаправил пропонується інтерпретувати показники невизначеності вхідних умов як імовірнісні характеристики. На основі наведених міркувань можна зробити висновок про можливість застосування до моделювання метаправил апарату гібридних нечітких нейронних мереж [14, 17 - 20]. В [17] відзначається, що «при деяких припущеннях можна представити систему нечіткого прийняття рішень шляхом використання багатошарової мережі з прямим розповсюдженням сигналу». Таким чином, реалізується фундаментальне положення про те, що метазнання грають когнітивне-керуючу роль інтелектуальної системи по відношенню до БЗ.

Зробимо конструювання метаправила, як модуля нечіткого управління в термінах штучної нейронної мережі (ШНМ). Загальний вираз для метапродукції

$$MR : \overset{n}{\underset{i=1}{Lop}} S_{MRi} \to O_{KBj}. \quad (10)$$

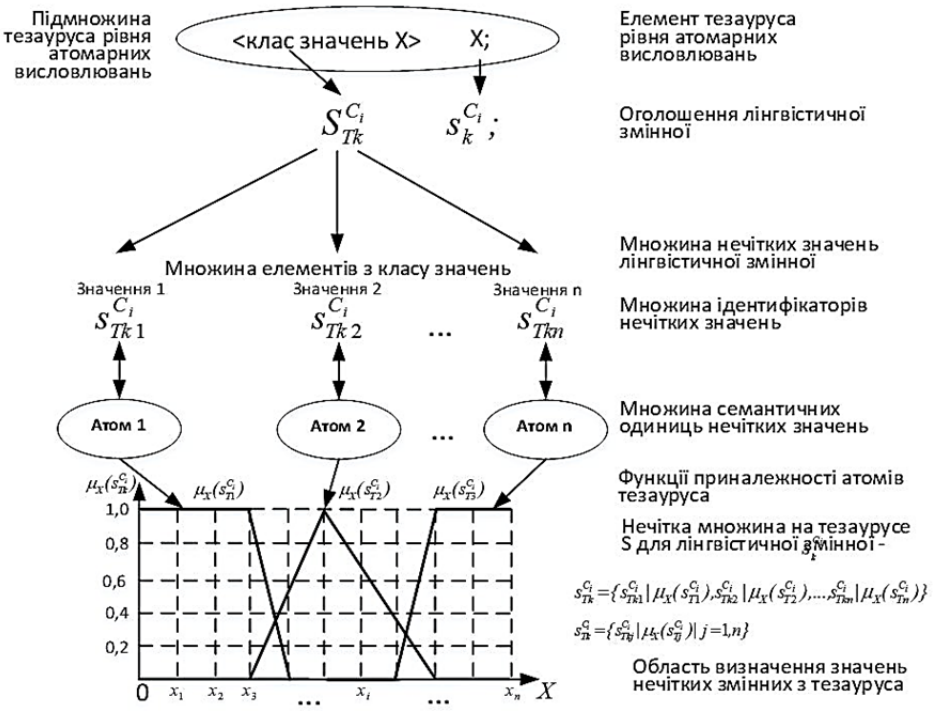


Рис. 1. Схема фазифікації тезауруса атомарних концептів

У якості логічної операції *Lop* будемо розглядати тільки операцію І, так як продукції типу АБО можуть бути розбиті на групи І-правил. В якості концептів S_{MRi} розглядаються сигнали, які характеризуються нечіткими значеннями. Отримаємо загальну функціональну схему метаправила у вигляді нечіткого нейрона типу І, що наведена на рис. 2.

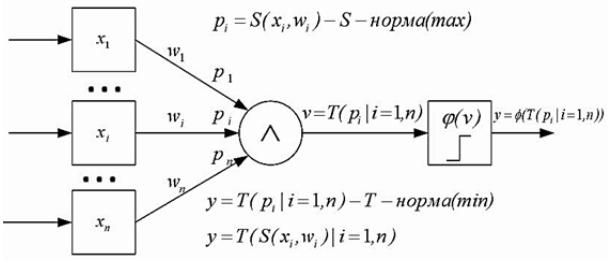


Рис. 2. Модель метаправила у вигляді І-нейрона

Застосуємо модель І-нейрона для конструювання метаправила у вигляді модуля нечіткого управління. Введемо в модель функції належності [17]. За основу візьмемо правило нечіткої імплікації Ларсена для продукції виду $A \to B$

$$\mu_{A\to B}(x,y) = \mu_R(x,y) = \mu_A(x)\mu_B(y), \quad R \subseteq X \times Y.$$

Так як

$$\mu_{A_1\times A_2\times\ldots\times A_n}(x_1,x_2,\ldots,x_n) = \mu_{A_1}(x_1),\mu_{A_2}(x_2),\ldots,\mu_{A_n}(x_n),$$

$$x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \ldots, x_n \in X_n.$$

і за визначенням імплікації для нечітких множин

$$B = A \circ R = A \circ (X \to Y),$$

то, отже,

$$\mu_B(y) = \sup_{x\in X}\{T(\mu_{A'}(x), \mu_{A\to B}(x,y))\}, \qquad (11)$$

$$sup = s \Leftrightarrow s \in S_X \wedge \forall y \in S_X : s \le y,$$

$$S_X = \{ y \in M \mid \forall x \in X : x \le y \}.$$

Якщо Т-норму уявити добутком, то (11) можна відобразити так

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1,x_2,\ldots,x_n\in X}\{\mu_{A'}(x)\mu_{A\to B}(x,y)\}, \qquad (12)$$

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1,x_2,\ldots,x_n\in X}\{\mu_B(y)\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i'}(x_i)\mu_{A_i}(x_i)\}.$$

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1,x_2,\ldots,x_n\in X}\{\mu_{A_1'}(x_1)\ldots\mu_{A_n'}(x_n)\mu_{A_1}(x_1)\ldots\mu_{A_n}(x_n)\mu_B(y)\},$$

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1,x_2,\ldots,x_n\in X}\{\mu_{A'}(x)\mu_A(x)\mu_B(y)\},$$

Супремум забезпечується в разі $\mu_A(x)=1$. Тоді (12) можна представити у вигляді (13)

$$\mu_{\bar{B}}(y) = \mu_B(y)\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i}(\bar{x}_i)\}. \qquad (13)$$

Дефазифікація $\mu_B(y)$ виконується одним з відомих методів.

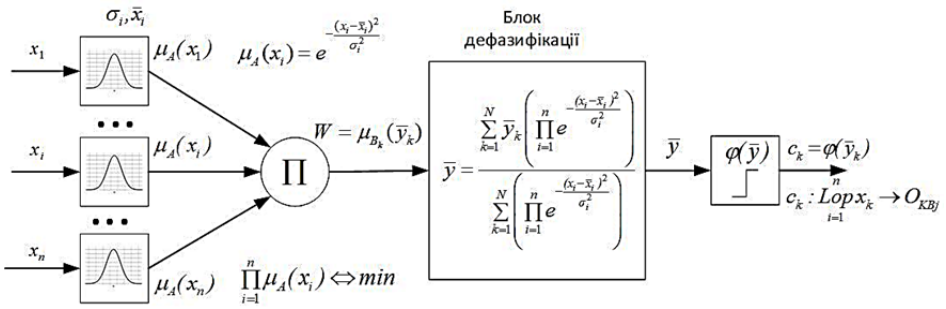


Рис. 3. Метаправило, як модуль нечіткого управління базою знань

На основі отриманих формальних моделей розробимо функціональну модель метаправила, як модуля нечіткого управління базою знань, наведену на рис. 3. В якості апроксимуючої форми нечіткої множини, наприклад, приймемо функцію Гауса, як форму нормального розподілу для ймовірнісної інтерпретації невизначеності вхідних подій метаправила.

Блок дефазифікації побудований на основі методу середнього центру − Centre Average Defuzzification (CAD). За основу прийнятий вираз

$$\overline{y} = \frac{\sum_{k=1}^{N} \overline{y}_k \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_{ki}}(\overline{x}_i) \right)}{\sum_{k=1}^{N} \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_{ki}}(\overline{x}_i) \right)}. \qquad (14)$$

Отримані математичні моделі для запропонованої в роботі моделі онтологій БЗ дозволяють будувати нечіткі СППР в різних професійних областях.

Універсум функції інтерпретації нечітких метаправил може бути представлений як бінарне відношення метаправил, які інтерпретують і інтерпретованих.

$$\tilde{F}^{MR} : R \subseteq \{(MR_{2j}^{C_i} \mid \mu_X(MR_{2j}^{C_i})) \mid j = \overline{1,n}\} \times \qquad (15)$$
$$\times \{(MR_{1k}^{C_i} \mid \mu_X(MR_{1k}^{C_i})) \mid k = \overline{1,m}\},$$

$$\tilde{F}^{MR} : \tilde{R}_2^{MRC_i} R \tilde{R}_1^{MRC_i}.$$

Для *k*-ой функції інтерпретації метазнань

$$\tilde{f}_k^{MR} : Op(\tilde{R}_n^{MR} \circ \tilde{R}_{n-1}^{MR} \circ \ldots \circ \tilde{R}_2^{MR} \circ \tilde{R}_1^{MR}, I_j) \rightarrow \qquad (16)$$
$$\rightarrow (\tilde{R}_j^{MR}, I_j) \mid \tilde{f}_j^{MR} \in \tilde{F}^{MR},$$

$$\tilde{f}_k^{MR} : r^{MR} \subseteq \{ \overset{n}{\underset{j=1}{\circ}} (\tilde{R}_{2j}^{MRC_i} \mid \mu_X(R_{2j}^{MRC_i}))\} \times$$
$$\times (\tilde{R}_1^{MRC_i} \mid \mu_X(R_1^{MRC_i})),$$

$$\tilde{f}_k^{MR} : \tilde{R}_2^{MRC_i} r^{MR} \tilde{R}_1^{MRC_i}.$$

З урахуванням невизначеності метаправил R^{MRCi} формальна модель інкорпорації матиме такий вигляд:

$$O_{KB_{MR}} = < \bigcup_{i=1}^{n_C} \{ \bigcup_{k=1}^{n_S} (\tilde{S}_{MRk}^{c_i} \mid \mu_X(S_{MRk}^{c_i})) \cup \bigcup_{k=1}^{n_O} F_k^{c_i}(\tilde{P}(G_s) \mid \mu_X(P(G_s))),$$
$$\tilde{A}(G_s) \mid \mu_X(A(G_s)), M_\Sigma)\}, F(\tilde{R}(БЗ)), \tilde{F}^{MR} > . \qquad (17)$$

Онтологія розділяє підмножини метаправил по їх ролі в інтерпретації. Згідно формальної онтологічної моделі, прийнятої в рамках єдиної інкорпорації подання знань, кожне метаправило має інтерпретуватися як мінімум одним іншим метаправилом. Семантика даної відносини метаправил полягає в тому, що метаправила можуть розглядатися як функції, що викликаються з інших функцій.

Операція агрегації реалізується як композиція метаправил. В рамках конкретного завдання метаправила можуть належати як під

множині $\overset{n}{\underset{j=1}{\circ}} \tilde{R}_{1j}^{MR}$, так і $\tilde{R}_2^{MRC_i}$.

Для оцінки ефективності розроблених моделей можна спиратися на висновки з [14, 21]. Зокрема, в теоремі Ванга (L.-X. Wang) [21] про універсальний апроксиматор доведено, що для нечіткої задачі, побудованої на нечітких продукціях, що використовують гаусові функції приналежності, композиції входів у вигляді добутку, імплікації Ларсена (Larsen), центроїдну дефазифікацію, може бути побудована нечітка експертна система, близько апроксимуюча задану нечітку задачу. Тому, побудовані математичні моделі онтологій з урахуванням невизначеності можуть бути використані в якості БЗ для побудови СППР.

На основі отриманих математичних і структурно-логічних моделей розроблений програмний комплекс автоматизації керування енергосистемами гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності.

Розглянемо роботу СППР при контролі конкретної аварійної ситуації. Відключення в ремонт ПЛ 150кВ Л-81 (ПС Павлоградська-330 – ПдТЕС-330). Аварійне відключення ПЛ 330кВ Л-234 (ПС Павлоградська-330 – ПдТЕС-330). Аварійний режим характеризується зниженням напруги на СШ 150кВ ПС Павлоградська-330 і перевантаженням по струму ПЛ 150кВ Л-82 (ПС Павлоградська-330 – ПдТЕС-330). Перетоки потужності по автотрансформаторам зазна-

чених підстанцій перевищують допустимі рівні навантаження в аварійних режимах, пов'язаних з відключенням ПЛ 330кВ Л-234 (ПС Павлоградська-330 – ПдТЕС-330).

Ставиться завдання відстеження зазначеного аварійного режиму, автоматичної роботи тригерів для сенсорних точок, запуска логічного висновку і формування строгих режимних рекомендацій для оперативного персоналу. Основні установки програмного комплексу наступні. Принципова схема електричної мережі 330кВ АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі» з параметрами літа 2020 року. Для мережі обрані сенсорні точки і контрольовані параметри режиму. Контрольований тип аварійної ситуації призводить до зниження напруги на 2СШ 150кВ ПС Павлоградська-330 до 113,7кВ (76% від Uн) і зростання струму по ВЛ 150кВ Л-82 до 1339А (162% від $I_н$).

При роботі програмного комплексу реєструються аварійні викиди контрольованих параметрів, спрацьовують відповідні їм тригери, і запускаються транзакції.

Результатом циклу роботи СППР є нормативно-інструктивні матеріали диспетчерського управління, отримані з рівнів професійних онтологій БЗ, а також рекомендації керуючих коригувальних впливів, їх величин і напрямків зміни. Програмна панель с результатами обробки аварійної ситуації показана на рис. 4.

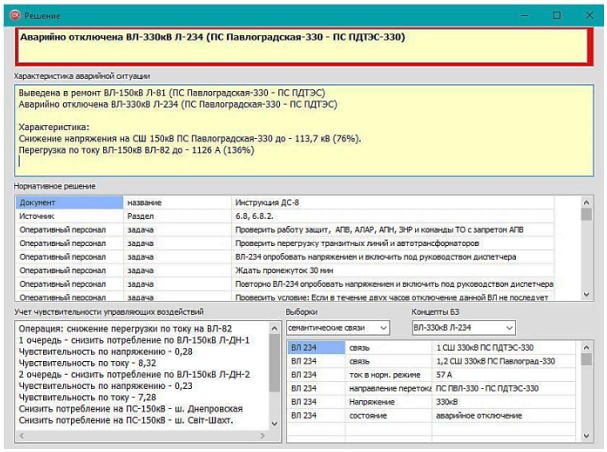


Рис. 4. Панель прийнятих рішень і вибірки БЗ

На основі аналізу результатів тестування розробленого програмного комплексу СППР можна зробити висновок про те, що СППР відповідає всім вимогам, сформульованим у роботі, функціонує відповідно до розроблених структурно-логічних моделей і підтверджує їх практичну працездатність в промислових умовах.

Розроблена СППР, яка побудована на основі інкорпорації уніфікованих професійних онтологій, передбачає її використання в якості інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень в складі автоматизованих систем контролю і управління електроенергетичних комплексів і може застосовуватися для автоматизації процесу прийняття рішень під час оперативних перемикань схем, регулювання рівнів напруги і перетоків потужності в електроенергетичних системах в нормальних і аварійних режимах. Тому ставиться завдання впровадження СППР в комплекс апаратно-програмних засобів діючої АСДК енергосистем. Для реалізації стикування комплексу СППР з блоками АСДК повинна бути врахована специфіка функціонування СППР.

Запропонована нова структура компонування ядра СППР. Відмінною особливістю розробленої СППР є наявність блока апаратно-програмних тригерів, блока транзакцій метаправил, блока інтерпретатора транзакцій метаправил, блока онтологій, а також нової схеми компонування БЗ і БЛВ. В основу нової структури ядра СППР покладено об'єднання механізму логічного висновку у вигляді метазнань і бази знань онтологій, одночасна інкорпорація і еволюційна сумісність різних форм подання знань в єдиній БЗ онтологій, прив'язка метазнань логічного висновку до тригерів запуску, пов'язаних з подіями об'єктів управління ЕЕС. Запуск і процес логічного висновку ставляться в безпосередню і пряму відповідність станам об'єктів управління. При цьому ліквідується залежність способу функціонування СППР від специфіки професійної області. Узагальнена структурна схема розробленої СППР з новою компоновкою ядра БЗ приведена на рис. 5. На відміну від класичної схеми пропонується замінити блок логічного висновку інтерпретатором потоку метаправил.

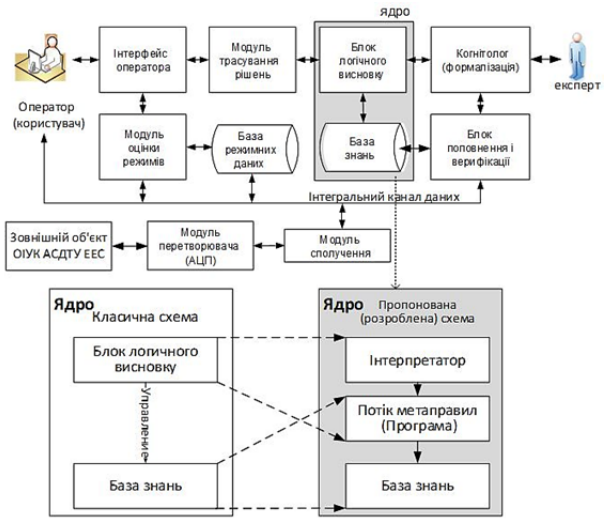


Рис. 5. Укрупнена блокова схема СППР з новою компоновкою ядра БЗ

З огляду на компоновку ядра СППР, визначені її можливі точки впровадження в тракти передачі даних комплексу АСДК, показані на рис. 6. Для цієї мети було враховано безліч архітектурних рішень АСДК [22 – 29].

В отриманій зв'язці АСДК + СППР завдання автоматизації прийняття рішень і управління режимами ЕЕС вирішується тим, що комплекс включає блок збору даних і телеуправління, пов'язаний з блоком інформаційних підсистем ОІУК, який через блок збору і відображення інформації взаємодіє з

блоком технологічної мережі обміну даними, до якого, в свою чергу, підключені блок сховищ оперативних і ретроспективних даних, блок АРМ, блок ПО систем телеуправління і пов'язані з ними блоки ядра СППР.

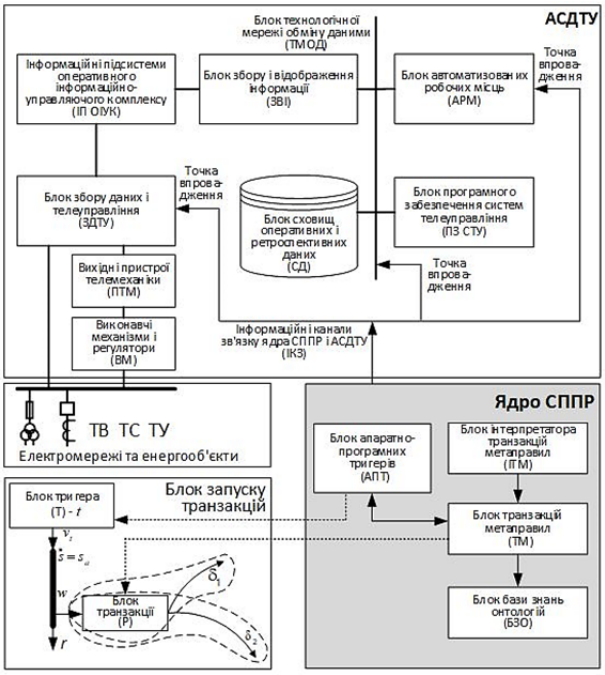


Рис. 6. Деталізована схема включення блока ядра СППР в тракти передачі даних комплексу АСДК енергосистеми

Висновки. Реалізовано програмний комплекс системи підтримки рішень для автоматизації диспетчерського оперативного керування нормальними і аварійними режимами енергосистеми в умовах невизначеності. Визначено структуру та функціональний сценарій роботи СППР. Поставлено і вирішено конкретне оперативне завдання по контролю аварійної ситуації і автоматичної генерації керуючих диспетчерських рішень. Результатом циклу роботи СППР є нормативно-інструктивні концепти професійних онтологій диспетчерського управління, а також величини і напрямки управляючих дій на основі матриць чутливості.

В результаті отриманих математичних і структурно-логічних моделей, а також проведених успішних тестів розробленого програмного забезпечення можна констатувати, що вирішені наступні завдання поставлені в роботі:

– розроблені математичні моделі фазифікації тезауруса атомарних концептів;

– розроблені математичні моделі застосування метаправил, як модуля нечіткого управління БЗ;

– розроблена модель СППР, яка передбачає використання в складі автоматизованих систем контролю і управління електроенергетичних систем гірничо-металургійних комплексів, яка може застосовуватися для автоматизації процесу прийняття рішень в умовах невизначеності;

– реалізовано програмний комплекс системи підтримки рішень для автоматизації диспетчерського оперативного керування нормальними і аварійними режимами енергосистеми гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності;

– розроблена нова схема компонування БЗ і блока логічного висновку;

– розроблено схему впровадження СППР в середу діючої АСДК енергосистеми гірничо-металургійного комплексу.

Основною перевагою запропонованого підходу є досягнення універсалізму в побудові і використанні бази знань. Відзначимо деякі основні позитивні риси використання нечіткої логіки в системах прийняття рішень при управлінні складними технічними системами. Перш за все, не потрібно занадто великої кількості правил. Перевагу отримує паралельна обробка правил. Суперечливість правил в базі знань не має такого жорсткого характеру, як при двійковій логікі. Всі зазначені обставини наближають нечітку базу знань до образу мислення людини – ОПР.

Розроблені моделі, підходи і методики інваріантні по відношенню до конкретних професійних галузей і мають універсальність. Розроблена модель дозволяє будувати СППР в різних професійних областях, використовуючи єдиний підхід і методологію. Це дає можливість повторного використання раніше розроблених блоків інтелектуальних систем в нових програмах. В кінцевому підсумку, впровадження таких СППР в практику ліквідації кризових ситуацій в енергосистемах гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності.

Пропонований в роботі підхід не пов'язаний з конкретною професійною областю і тому може розглядатися як універсальний. Однак, передбачається, що базовою з можливих областей застосування пропонованого механізму автоматизації оперативного протиаварійного керування режимами електроенергетичних систем гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності.

Основний напрямок подальших досліджень полягає в уніфікації розроблених моделей для різних професійних областей.

Література

1. Акимов В.А., Жарёнов А.Б. Неопределенность в прогнозировании и планировании. Общенаучный аспект/ Инф. сб. ЦСИ ГЗ. – М.: ДГЗ МЧС России – № 28 – 2006. - С. 97-104
2. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. - М.: Наука, Гл. редакция физ.-мат. лит. – 1990.
3. Асаи К., Ватада Д., Иваи С. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно − М.: Мир – 1993 − 368 с.
4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир – 1976.
5. Сеченов М. Д. , Щеглов С. Н. Анализ неформальных моделей представления знаний в системах принятия решений // Известия ЮФУ. – Технические науки, 2010. - №7.

6. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука – 1990.
7. Берштейн Л.С., Карелин В.П., Целых А.Н. Модели и методы принятия решений в интегрированных интеллектуальных системах. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ – 1999 – 278 с.
8. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь – 1989.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. — М.: Радио и связь – 1982 − 432 с.
10. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH − СПб.: БХВ-Петербург − 2005 − 736 с.
11. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети − М.: Горячая линия-Телеком – 2007 − 284 с.
12. Zadeh L. Fuzzy Sets // Information and Control − 1965 − Vol. 8 − P. 338 − 353.
13. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений − М.: Мир – 1976 − 167 с.
14. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие − М.: Издательство Физико-математической литературы − 2001 − 224 с.
15. Малышев Н.Г., Бернштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. — М.: Энергоиздат − 1991 — 136 с.
16. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. − М.: Горячая линия – Телеком – 2007 − 288 с.
17. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского − М.: Горячая линия Телеком − 2006 − 452 с.
18. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика− 2-е изд., стереотип.− М.: Горячая линия-Телеком − 2002 − 382 с.
19. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / А.В. Колесников; под ред. А.М. Яшина − СПб.: СПбГТУ – 2001 − 711 с.
20. Yan H.H. et al. Power system security assessment using a hybrid expert system/neural network architecture // Proc. of IEEE. ISCS. New York. 1992. P. 1713-1716.
21. Wang L.-X. Fuzzy systems are universal approximators // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems − San Diego − 1992 − p. 1163-1169
22. Кириленко О.В., Прихно В.Л., Черненко П.О. Розробка ієрархічного оперативно_керуючого комплексу та впровадження його в енергооб'єднанні України // О.В. Кириленко, В.Л. Прихно, П.О. Черненко – К.: Наука та інновації – 2008 – Т.4 – № 6 – С. 12–25.
23. Рубаненко О.Є., Рубаненко О.О., Кравцов К.І. Розробка та дослідження структури системи автоматичного керування нормальними режимами електроенергетичних систем // О.Є. Рубаненко, О.О.Рубаненко, К.І. Кравцов – Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – №4 – 2012 – С. 40 – 45
24. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин – М.:«Машиностроение» – 2009 – 176 с.
25. Титов Н., Прохватилов В., Кривоносов А., Левенец Н., Бородин Д., Гальперин М.И. Модернизация оперативно-информационного комплекса АСДУ Днепропетровских электрических сетей // «Современные технологии автоматизации». Электроэнергетика – №1 – 2006 – С. 28 – 33
26. Автоматизированная система диспетчерского управления на основе комплексов технических средств «Алгоритм», оперативно-информационного управляющего комплекса «Kvadrant». Техническое решение. – СПб.: ЗАО «Алгоритм» – 2013 – 65 с.
27. Чичёв С.И. Модель автоматизированной системы технологического управления электросетевым комплексом 6 – 220 кВ ПАО «МОЭСК» – М.: Издательский дом «Спектр» – 2017 – 228 с.
28. Головко С.В., Турпищев Ш.А., Рогов А.В., Аникеев А.В. Автоматизированное рабочее место диспетчера электрических сетей // Вестник Астраханского государственного технического университета – Астрахань: АГТУ – №1(67) – 2019 – С. 23 – 29.
29. Бурикін О.Б., Кравцов К.І., Кулик В.В. Автоматизація оптимального керування потоками потужності в електроенергетичних системах на основі критеріального методу // Вінниця: Вісник Вінницького політехнічного інституту. Енергетика та електротехніка – №2 – 2007 – С. 66 – 71.

References

1. Akimov V.A., Zharyonov A.B. Neopredelennost v prognozirovanii i planirovanii. Obshenauchnyj aspekt / Inf. sb. CSI GZ. – M.: DGZ MChS Rossii – № 28 – 2006. - C. 97-104
2. Melihov A.N., Bershtejn L.S., Korovin S.Ya. Situacionnye sovetuyushie sistemy s nechetkoj logikoj. - M.: Nauka, Gl. redakciya fiz.-mat. lit. – 1990.
3. Asai K., Vatada D., Ivai S. Prikladnye nechetkie sistemy: Per. s Yapon./ K. Asai, D. Vatada, S. Ivai i dr.; pod redakciej T. Terano, K. Asai, M. Sugeno − M.: Mir – 1993 − 368 c.
4. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennyh reshenij. – M.: Mir – 1976.
5. Sechenov M.D., Sheglov S.N. Analiz neformalnyh modelej predstavleniya znanij v sistemah prinyatiya reshenij // Izvestiya YuFU. – Tehnicheskie nauki, 2010. - №7.
6. Melihov A.N., Bershtejn L.S., Korovin S.Ya. Situacionnye sovetuyushie sistemy s nechetkoj logikoj. – M.: Nauka – 1990.
7. Bershtejn L.S., Karelin V.P., Celyh A.N. Modeli i metody prinyatiya reshenij v integrirovannyh intellektualnyh sistemah. – Rostov n/D: Izd-vo RGU – 1999 – 278 c.
8. Borisov A.N., Alekseev A.V., Merkureva G.V. i dr. Obrabotka nechetkoj informacii v sistemah prinyatiya reshenij. – M.: Radio i svyaz – 1989.
9. Kofman A. Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv: Per. s franc. — M.: Radio i svyaz – 1982 − 432 c.
10. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH − SPb.: BHV-Peterburg − 2005 − 736 c.
11. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Nechetkie modeli i seti − M.: Goryachaya liniya-Telekom – 2007 − 284 c.
12. Zadeh L. Fuzzy Sets // Information and Control − 1965 − Vol. 8 − P. 338 − 353.
13. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoj peremennoj i ee primenenie k prinyatiyu priblizhennyh reshenij − M.: Mir – 1976 − 167 c.
14. Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Yu. Nechetkaya logika i iskusstvennye nejronnye seti: Ucheb. posobie − M.: Izdatelstvo Fiziko-matematicheskoj literatury − 2001 − 224 c.
15. Malyshev N.G., Bernshtejn L.S., Bozhenyuk A.V. Nechetkie modeli dlya ekspertnyh sistem v SAPR. — M.: Energoizdat − 1991 — 136 c.

16. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB. − M.: Goryachaya liniya – Telekom – 2007 − 288 c.
17. Rutkovskaya D., Pilinskij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy: Per. s polsk. I.D. Rudinskogo − M.: Gorya-chaya liniya – Telekom − 2006 − 452 c.
18. Kruglov V.V., Borisov V.V. Iskusstvennye nejronnye seti. Teoriya i praktika − 2-e izd., stereotip.− M.: Goryachaya liniya-Telekom − 2002 − 382 c.
19. Kolesnikov A.V. Gibridnye intellektualnye sistemy. Teoriya i tehnologiya razrabotki / A.V. Kolesnikov; pod red. A.M. Yashina − SPb.: SPbGTU − 2001 − 711 c.
20. Yan H.H. et al. Power system security assessment using a hybrid expert system/neural network architecture // Proc. of IEEE. ISCS. New York. 1992. P. 1713-1716.
21. Wang L.-X. Fuzzy systems are universal approximators // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems − San Diego − 1992 − p. 1163-1169
22. Kirilenko O.V., Prihno V.L., Chernenko P.O. Rozrobka iyerarhichnogo operativno-keruyuchogo kompleksu ta vprovadzhennya jogo v energoob'yednanni Ukrayini // O.V. Kirilenko, V.L. Prihno, P.O. Chernenko – K.: Nauka ta innovaciyi – 2008 – T.4 – № 6 – C. 12–25.
23. Rubanenko O.Ye., Rubanenko O.O., Kravcov K.I. Rozrobka ta doslidzhennya strukturi sistemi avtomatichnogo keruvannya normalnimi rezhimami elektroenergetichnih sistem // O.Ye. Rubanenko, O.O.Rubanenko, K.I. Kravcov – Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. Tehnichni nauki – №4 – 2012 – C. 40 – 45
24. Chichyov S.I., Kalinin V.F., Glinkin E.I. Informacionno-izmeritelnaya sistema centra upravleniya elektricheskih setej / S.I. Chichyov, V.F. Kalinin, E.I. Glinkin – M.:«Mashinostroenie»– 2009 – 176 c.
25. Titov N., Prohvatilov V., Krivonosov A., Levenec N., Borodin D., Galperin M.I. Modernizaciya operativno-informacionnogo kompleksa ASDU Dnepropetrovskih elektricheskih setej // «Sovremennye tehnologii avtomatizacii». Elektroenergetika – №1 – 2006 – C. 28 – 33
26. Avtomatizirovannaya sistema dispetcherskogo upravleniya na osnove kompleksov tehnicheskih sredstv «Algoritm», operativno-informacionnogo upravlyayushego kompleksa «Kvadrant». Tehnicheskoe reshenie. – SPb.: ZAO «Algoritm»– 2013 – 65 c.
27. Chichyov S.I. Model avtomatizirovannoj sistemy tehnologicheskogo upravleniya elektrosetevym kompleksom 6 – 220 kV PAO «MOESK» – M.: Izdatelskij dom «Spektr»– 2017 – 228 c.
28. Golovko S.V., Turpishev Sh.A., Rogov A.V., Anikeev A.V. Avtomatizirovannoe rabochee mesto dispetchera elektricheskih setej // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta – Astrahan: AGTU – №1(67) – 2019 – C. 23 – 29.
29. Burikin O.B., Kravcov K.I., Kulik V.V. Avtomatizaciya optimalnogo keruvannya potokami potuzhnosti v elektroenergetichnih sistemah na osnovi kriterialnogo metodu // Vinnicya: Visnik Vinnickogo politehnichnogo institutu. Energetika ta elektrotehnika – №2 – 2007 – C. 66 – 71.

Morkun V.S., Kotov I.A., Serdiuk O.Y., Haponenko I.A. Knowledge representation in intelligent automation systems for control of power systems of the mining and metallurgical complex under uncertainty

The article considers the problem of taking into account the uncertainty of information for the construction of knowledge bases in decision support systems for operational management of power systems. It is substantiated that the formulation of control logic is carried out mainly at the level of qualitative ideas and concepts. The latter can be formalized in the form of logical-linguistic models, which should be considered in terms of the theory of fuzzy sets and linguistic variables. An analysis of existing approaches to the presentation and processing of fuzzy knowledge about the management of power systems of the mining and metallurgical complex. The approach to the representation of the incorporation of various forms of representation of professional ontologies on the basis of fuzzy logic is substantiated. The main concepts and formal linguistic models of fuzzification of the representation of the evolution of the incorporation of ontologies of all levels in the context of semantic concept uncertainty have been developed. All the obtained formal linguistic models of concept fuzziness correspond to the structures of forms of knowledge representation. A formal linguistic model has been developed for accounting for the fuzzy meta-rules as modules for fuzzy management of the knowledge base based on the fuzzy neuron model. Fuzzification principles are implemented when performing operations on knowledge base concepts. Models of ontologies of all levels of the knowledge base have been developed, taking into account the fuzzy representation of the semantics of concepts. Research methods include the use of fuzzy logic, formal languages, artificial intelligence systems theory and decision support systems. The software complex of the decision support system for automation of dispatch operational management of normal and emergency modes of the power system of the mining and metallurgical complex is implemented. The scheme of introduction of the decision support system in the environment of the operating automated system of dispatching management of power systems is offered. Possible points of implementation of the decision support system in the data transmission paths of the complex of the automated dispatch control system have been determined. The points of introduction of the core of the software complex into the environment of the power system control system are the block of automated workstations, the block of the technological data exchange network, the block of data collection and telecontrol. A new structure of the core of the decision support system has been developed.

Keywords*: grammar, linguistic variable, ontology, power system, meta-rule, fuzzification*

Моркун Володимир Станіславович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, E-mail: morkunv@gmail.com

Котов Ігор Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра моделювання та програмного забезпечення, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича. 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, E-mail: rioexito@gmail.com

Сердюк Олександра Юріївна – асистент, кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича. 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, E-mail: o.serdiuk@i.ua

Гапоненко Ірина Анатоліївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу науки і досліджень, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича. 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, E-mail: irinagaponenko44@gmail.com

Стаття подана 06.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-49-52

УДК 519.806:004.681

КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Дегтярьова Л.М., Вакуленко Ю.В., Одарущенко О.Б.

CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF COMPONENT ELEMENTS OF INFORMATION PROTECTION SYSTEMS

Degtyaryova L.M., Vakulenko Y.V., Odarushchenko O.B.

В статті виконано аналіз підходів до вибору і побудови систем контролю технічного стану систем захисту інформації. Система контролю повинна обробляти інформацію про ступінь працездатності контрольованої системи на підставі вимірювання змінних процесів. Ця система може мати два види контролю: динамічний та статистичний, кожен з яких має власні дії, що визначаються двома факторами: часом контролю і достовірністю контролю.

Ключові слова: *динамічна система, технічний захист інформації, загрози інформаційної безпеки, інформаційні процеси.*

Постановка проблеми. Широке застосування комп'ютерної техніки в системах зв'язку, автоматизованих інформаційних системах, наукових дослідженнях та інших сферах життєдіяльності людини в даний час є пріоритетним спрямуванням, але останнім часом актуальними стає проведення так званих інформаційних атак або війн. Серед визначенні головних завдань захисту інформації, визначенні суб'єктів інформаційних процесів, класифікації основних можливих загроз безпеки, визначенні рівнів вразливості інформаційних систем, визначенні джерел інформації, ознайомленні з особливостями джерел загроз, дослідженні способів та напрямів захисту та цілей захисту. Вимогами до забезпечення захисту інформації в системі контролюється цілісність програмних та технічних засобів захисту інформації [1]. Технічний захист інформації забезпечується організаційними, нормативно-правовими та технічними заходами, методами і засобами для забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності інформації, яка циркулює в інформаційно-телекомунікаційних системах. Ефективність технічного захисту інформації може бути досягнута лише за умови застосування відповідних засобів забезпечення технічного захисту інформації різноманітного рівня складності.

Саме загрози технічного спрямування, які пов'язані з використанням різноманітних фізичних, апаратних і програмних та їх сполуки (програмно-апаратних методів та засобів), призводять до збитків, що потенційно можуть отримати власники інфотелекомунікаційних ресурсів завдяки процесам несанкціонованого доступу (спотворення, витоку, знищення) до інформації.

Мета статті полягає у розвитку теорії комплексної безпеки складних систем, а саме технічного стану складових елементів систем захисту інформації.

Основна частина. Основи стратегії захисту інформації включають необхідність використання двох термінологічних понять: стратегія технічного захисту інформації і стратегія безпеки інформації, яка захищається [2, 3].

Аналізуючи роботи [2-7, 9, 10] з позиції використання засобів технічного захисту інформації, можна зазначити, що великим мережам властиві наступні відмінні риси та проблеми, вирішення яких вимагають аналізу для розробки алгоритму вирішення цих проблем:

велика мережа має складну структуру, яка може бути побудована хаотично;

різниця швидкості передачі даних на різних ділянках великих телекомунікаційних мереж створює серйозні проблеми при розробці та використанні систем безпеки;

використання апаратно-технічних мережевих пристроїв з власними характеристиками продуктивності, базовими технологіями, відношенням до конкретних апаратних платформ, які можуть бути впровадженні в інформаційну структуру мережі;

наявність фахівців високої кваліфікації, які спроможні вирішувати специфічні проблеми під час моделювання ситуацій, пов'язаних з сумісністю різних платформ і версій операційних систем, засобів і технологій прикладного програмного забезпечення

при виконанні завдань з забезпечення питань політики безпеки;

вирішення проблем інформаційної безпеки часто надають другорядне значення в порівнянні з іншими проблемами, які розв'язуються в процесі створення і розвитку великої мережі;

можливість уникнути або звести до мінімуму ймовірність виникнення тимчасових інтервалів зупинки деяких компонентів системи безпеки, які потенційно можуть бути реалізовані на базі різнорідних апаратно-технічних засобів або елементів системи, географічно віддалених один від одного.

Згідно класифікації засобів технічного захисту інформації, яка проводиться за ознаками [8]:

– функціональним призначенням засобів ТЗІ щодо захисту інформації від загроз витоку технічними каналами та загроз спеціального впливу на засоби обробки інформації, оцінки ефективності ТЗІ та виявлення закладних пристроїв;

– показниками функціонального призначення засобів ТЗІ;

– особливостями конструктивного виконання.

Рис. Модель використання технічних засобів захисту інформації

При аналізі систем захисту інформації необхідно враховувати, що це складна система, яка складається з підсистем з багатьма функціями: власне системи захисту, системи контролю (засоби автоматичного контролю) і системи підтримки прийняття рішення.

Велика кількість пристроїв, що входять до складу обчислювальної системи, і їх складність вимагають суттєвого скорочення часу контролю, як кожного пристрою так окремих його складових завдяки використанню засобів автоматизованих системи контролю. Скорочення інтервалу часу, відведеного на проведення контролю, під час контролю викликає виникнення перехідного режиму у роботі пристрою, що підлягає контролю, і, крім того, самі вимірювані процеси зазнають значних змін. Система контролю повинна викликати інформацію про ступінь працездатності контрольованої системи на підставі опрацювання даних процесів, що змінюються. Саме це є завданням динамічного контролю, а саме сукупності дій, спрямованих на визначення технічного стану системи, пристроїв або вузлів за результатами вимірювання сигналів, які будуть змінюватись в часовому інтервалі проведення контролю.

При цьому слід зазначити, що системи контролю стану систем захисту і самі системи захисту є динамічними.

На противагу цьому статичним контролем вважається сукупність дій, спрямованих на визначення технічного стану системи, пристроїв і/або вузлів за результатами фіксації даних перевірки, які є практично постійними протягом часового інтервалу під час контролю сигналів контрольованого об'єкта.

В цьому контексті поняття динамічної та статичної системи цілком протилежні. У статичній системі попередній стан системи і попередня зміна вхідних сигналів не впливають на миттєві значення вихідних сигналів, і які залежать тільки від відповідних миттєвих значень вхідних сигналів. На відміну від статистичної системи, поведінка динамічної системи залежить як від миттєвих значень вхідних сигналів, так і від стану системи, обумовленого попередніми змінами вхідних і вихідних сигналів.

Динамічна система - математична модель деякого об'єкта, процесу або явища, які можуть бути представлені як система, для якої описані деякі стани, коли динамічна система описує поведінку цього процесу як послідовність переходів з одного стану в інший.

Сукупність усіх допустимих станів динамічної системи утворює її фазовий простір. Таким чином, система в якості своїх базових параметрів повинна спиратись на початковий стан і закон, за яким вона переходить з одного стану в інший.

Спираючись на попередні визначення можна зазначити, що математична модель динамічної системи повинна враховувати як попередні значення своїх параметрів, так і їх зміну в будь-який час існування системи, у фіксований період діяльності, власне, в період обслуговування системи безпеки інформаційної системи та її складових. Отже, представлення динамічної системи у вигляді математичної моделі містить змінні початкового стану системи і змінні, що характеризують перетворений стан, враховуючи взаємозалежність змінних:

- фіксований інтервал часу та часові показники в будь-який момент часу (t_i) з вказаного інтервалу часу (T);

- миттєві значення вхідних сигналів (x);

- допустимі значення вхідних сигналів в певні моменти часу (x_t);

- миттєві значення вихідних сигналів (y);

- допустимі значення вихідних сигналів в певні моменти часу (y_t);

- стани системи (Ss);

- параметри системи (p);

- функція (закон), що відображається диференційним рівнянням ($D(y)$) і враховує значення вихідних сигналів: $D(y)=f(t, x, Ss, p)$.

Але досить часто складну систему важко або взагалі неможливо оцінити, враховуючи тільки один показник зі всього комплексу параметрів, які впливають на стан захищеності інформації. Досить часто ці показники можуть бути суперечливими, тобто по-

ліпшення системи за одними показниками призводить до її погіршення за іншими. У таких випадках необхідно або якимось чином об'єднати ці показники в один, узагальнений, або визначити один з них як основний - домінуючий, а решту розглядати як деякі специфічні обмеження. Зрозуміло, що таке завдання більш-менш добре вирішується, якщо ці показників ефективності мають чисельне значення і є математичні вирази для їх розрахунку.

Засоби підсистеми технічного захисту інформації дозволяють в деякій мірі оцінити ступінь забезпечення функціональних властивостей захищеності інформації застосованими засобами захисту або можливу ступінь забезпечення функціональних властивостей захищеної інформації засобами, які проектуються для запровадження, забезпечуючи достатні показники функціональних властивостей захищеності, а саме: цілісність, достовірність та доступність інформації. Величину потенційної шкоди, якої може зазнати інформація в системі можна оцінити, аналізуючи вартість часових характеристик процесів, пов'язаних з організацією та здійсненням контролю, тривалості затримки в наданні відповідних послуг з використання певного ресурсу або елементу системи захисту даних.

Висновки. Здійснення контролю роботи складових елементів динамічної системи захисту інформації полягає у формуванні вхідних сигналів, фіксації вихідних сигналів, і, користуючись отриманою інформацією, здійснення аналізу змін цих параметрів і, як слідство, встановлення рівня працездатності системи шляхом порівняння отриманих значень зафіксованих сигналів з їх допустимими значеннями. Ефективність використання певного підходу або математичного апарату обґрунтовується такими факторами: наявність або відсутність достатньо точної інформації щодо складу та характеристик елементів системи, представлення (тип або форма) вхідної і вихідної інформації, прилади або програмне забезпечення, які діють в межах єдиної системи захисту даних тощо.

Література

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 08.10.1997 № 1126 «Про затвердження Концепції технічного захисту інформації в Україні»
2. Хорошко В.А., Юрьев А.Н. Методологический подход к оптимальному выбору комплекса мероприятий по защите информации // Защита информации: Сб. науч. тр. К.: НАУ, 2001. С. 132-136.
3. Лахно В.А., Петров А.С., Скрипкина А.С. Построение дискретных процедур распознавания и поиска уязвимостей информации // Інформаційна безпека, 2010. № 2 (4). С. 5–13.
4. Хорошко В.А., Чекатков А.А. Методы и средства защиты информации. К. издательство Юниор, 2003. 504 с.
5. Безштанько В. Аналіз існуючих програмних засобів та методик оцінки стану інформаційної безпеки організації//Бизнес и безопасность, №1. 2007. с.32 – 35.
6. Єжова Л.Ф., Мачалін І.О., Невойт Я.В., Хорошко В.О. Управління інформаційною безпекою. К.: Вид. ДУІКТ, 2011.
7. Дегтярьова Л.М., Волошко С.В., Лоза В.В., Буланкіна А.О. Використання інформаційних технологій обробки даних в сучасних системах транспортної логістики//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, № 1(37)/2020. К: Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, 2020. с. 139-144
8. НД ТЗІ 1.5-002-2012 Класифікатор засобів технічного захисту інформації, затверджений наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 29.08.2012 № 472
9. Котенко И.В., Степашкин М.В., Чечулин А.А., Дойникова Е.В., Котенко Д.И. Инструментальные средства анализа защищенности автоматизированных систем //Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. Материалы XIX Общероссийской научно-технической конференции. 5-10 июля 2010 года /СПб.: Изд-во Политехнического университета. 2010. С. 115–116.
10. Федотов А. М. Информационная безопасность в корпоративной сети//Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. М.: ВИНИТИ, 2008. № 2. С. 88–101.

References

1. Postanova Kabinetu ministriv Ukrayiny vid 08.10.1997 № 1126 «Pro zatverdzhennya Kontseptsiyi tekhnichnoho zakhystu informatsiyi v Ukrayini»
2. Khoroshko V.O., Yur'yev A.N. Metodolohichnyy pidkhid do optymal′noho vyboru kompleksu zakhodiv shchodo zakhystu informatsiyi // Zakhyst informatsiyi: Zb. nauch. tr. K .: NAU, 2001. S. 132-136.
3. Lakhno V.A., Petrov A.S., Skrypkina A.S. Pobudova dyskretnykh protsedur rozpiznavannya i poshuku vrazlyvostey informatsiyi // Informatsiyna bezpeka, 2010. № 2 (4). S. 5-13.
4. Khoroshko V.O., Chekatkov A.A. Metody i zasoby zakhystu informatsiyi. K. vydavnytstvo Yunior, 2003. 504 s.
5. Bezshtan′ko V. Analiz isnuyuchikh prohramnykh ZASOBIV ta metodyk OTSINKY stanu informatsiynoyi bezpeky orhanyzatsyy // Byznes y bezopasnost′, №1. 2007. s.32 - 35.
6. Yezhova L.F., Machalin I.O., Nevoyt YA.V., Khoroshko V.O. Upravlinnya informatsiynoyu bezpeky. K .: Vyd. DUIKT, 2011 roku.
7. Dehtyar′ova L.M., Voloshko S.V., Loza V.V., Bulankina A.O. Vykorystannya informatsiynykh tekhnolohiy Obrobka danykh v SUCHASNYKH systemakh transportnoyi lohistyky // Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony, № 1 (37) / 2020. K: Natsional′nyy universytet oborony Ukrayiny imeni Ivana Chernyakhovs′koho, 2020. s. 139-144
8. ND TZI 1.5-002-2012 Klasyfikator ZASOBIV tekhnichnoho zakhystu informatsiyi, uchet nakazom administratsiyi Derzhspetszv'yazku vid 29.08.2012 № 472
9. Kotenko I.V., Stepashkin Stanislav Ivanovych M.V., Chechulyn A.A., Doynykova YE.V., Kotenko D.I. Instrumental′ni zasoby analizu zakhyshchenosti avtomatyzovanykh system // Metody i tekhnichni zasoby zabezpechennya bezpeky informatsiyi. Materialy KHIX Zahal′norosiys′koyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. 5-10 lypnya 2010 hoda / SPb .: Yzd-vo Politekhnichnoho universytetu. 2010. C. 115-116.

10. Fedotov A. M. Informatsiyna bezpeka v korporatyvniy merezhi // Problemy bezpeky ta nadzvychaynykh sytuatsiy. M .: VINITI, 2008. № 2. S. 88-101.

Degtyaryova L.M., Vakulenko Y.V., Odarushchenko O.B. Control of technical condition of component elements of information protection systems.

The article analyzes the approaches to the selection and construction of control systems for the technical state of information security systems. The control system should process information on the degree of operability of the controlled system based on the measuring changing processes. This system can have two types of control: dynamic and statistical, each of which has its own actions, which are determined by two factors: control time and control reliability. In the analysis information security systems, it is necessary to take into account that this is a complex system consisting of subsystems with many functions: the security system, the control system and the decision support system. It should be noted that the control systems for the state of protection systems and the protection systems themselves are dynamic.

A dynamic system is a mathematical model of some object, process or phenomenon, which can be represented as a system for which some states are described, when a dynamic system describes the behavior of this process as a sequence of transitions from one state to another.

Static control is mainly used to determine systems in which the amplitude or other parameters are constant.

The mathematical representation of a dynamic system, that contains variables of the initial state of the system and the variables characterizing the transformed state, taking into account the interdependence of the variables: a set of points in time, a set of instantaneous values of input signals, a set of permissible input signals, a set of output signals, a set of permissible output signals, set of system states and set of system parameters. The task of monitoring a dynamic system is to generate input signals, measure output signals based on these changes in parameters and the degree of system operability by comparing the obtained parameter values with their permissible values.

The efficiency of using a specific approach or mathematical apparatus is justified by the following factors: the presence or absence of sufficiently accurate information about the composition and characteristic of the system elements, the type or forms of input and output information, devices and software of a unified protection system.

Keywords: *dynamic system, technical protection of information, information security threats, information processes*

Дегтярьова Л.М. – доцент кафедри Інформаційних систем та технологій Полтавської державної аграрної академії;

Вакуленко Ю.В. – доцент, керівник Навчально-наукового інституту комунікаційних та інноваційних освітніх технологій Полтавської державної аграрної академії;

Одарущенко О.Б. – доцент кафедри Інформаційних систем та технологій Полтавської державної аграрної академії

Стаття подана 21.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-53-58

УДК 629.4

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ТЯГОВИХ І ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛОКОМОТИВА

Ковтанець М.В., Кузьменко С.В., Ноженко В.С,
Сергієнко О.В., Климаш А.О., Ковтанець Т.М.

WAYS TO IMPROVE TRACTION AND DYNAMIC PERFORMANCE OF A LOCOMOTIVE

Kovtanets M.V., Kuzmenko S.V., Nozhenko V.S.,
Sergienko O.V., Klimash A.O., Kovtanets T.M.

У статті проаналізовано, що серед факторів, які визначають умови взаємодії системи «колесо-рейка» враховуються як конструктивні особливості візків локомотивів, так і умови руху поїзда. Ходові якості локомотива у вертикальній площині визначаються в основному величиною статичного прогину і ступенем демпфірування ресорного підвішування, а на існуючих локомотивах української залізниці переважає ресорне підвішування з відносно низькою величиною статичного прогину. Тому для забезпечення необхідних динамічних показників при русі локомотива з великими швидкостями рекомендується зменшити величину жорсткості ресорного підвішування, особливо в буксовій ступені. За результатами проведеного теоретичного аналізу та дослідження ресорного підвішування локомотивів запропоновані технічні рішення по створенню ресорного підвішування високошвидкісного рухомого складу та пропонується кілька варіантів конструктивного виконання такого ресорного підвішування. При застосуванні запропонованих технічних рішень конструкції вдосконаленого ресорного підвішування спільна робота першого і другого ступенів ресорного підвішування дозволяє збільшити статичний прогин в 6,25 раз, що забезпечить створення високошвидкісного рухомого складу.

Ключові слова: *залізничний транспорт, тягові якості, динамічніка, ресорне підвішування, пружини, опори, статичний прогин.*

Вступ. Проблема взаємодії рухомого складу та залізничної колії відноситься до числа найважливіших у транспортній науці. Актуальність численних досліджень присвячених даній проблемі, обумовлена тим, що саме від процесів, які відбуваються в контакті взаємодії колеса і рейки, в цілому залежать безпека і техніко-економічні показники тягового рухомого складу залізниць (швидкість руху, втрати пов'язані з подоланням опору руху, знос коліс, рейок і т.д.).

В останні роки питання боротьби зі зносом колісних пар і рейок на вітчизняних залізницях було одним з найважливіших. Було обговорено і доповнено проект стратегічної програми, де передбачено шість пов'язаних між собою напрямів роботи, які враховують системний характер проблеми [1]. Серед факторів, що визначають умови взаємодії даної системи враховуються як конструктивні особливості візків локомотивів, так і умови руху поїзда (поздовжні і поперечні сили). В роботі [2] проаналізовано вплив технічного стану ходової частини локомотива на взаємодію коліс з рейками. Проведені дослідження показали, що при русі у кривій радіусом 300 м зниження зносу гребенів колісних пар і рейок найбільш ефективно реалізується лубрікацію бічних граней зовнішніх рейок, усуненням перекосу колісних пар в рамі візка, зниженням моменту опору повороту візка щодо кузова і поздовжньої жорсткості зв'язків букс колісних пар з рамою візка. У зв'язку з цим, подальше вдосконалення конструкцій екіпажів локомотивів спрямоване на поліпшення їх динамічних якостей, і як наслідок, зниження силового впливу на шлях та знос коліс і рейок, є актуальним завданням, яке має чималий практичний та наукових інтерес.

Також актуальною проблемою, що стоїть перед залізничним транспортом України, є оновлення рухомого складу та підвищення його швидкостей руху. Створення високошвидкісного рухомого складу є складною науково-технічною задачею, що пов'язано зниженням стабілізації при взаємодії коліс локомотива з рейками, збільшенням впливу на шлях, зниженням плавності ходу, підвищенням шуму і вібрації, що передається від шляху до складу. Перераховані несприятливі явища можливо усунути модернізацією ресорного підвішування. Від конструкції і параметрів ресорного підвішування залежать динамічні показники локомотива в прямих і кривих ділянках колії, тому створення ресорного підвішування з необхідними параметрами для

високошвидкісного рухомого складу є важливою та актуальною проблемою.

Аналіз досліджень і публікацій. Ходові якості локомотива у вертикальній площині визначаються в основному величиною статичного прогину і ступенем демпфірування ресорного підвішування. Демпфірування ресорного підвішування має підбиратися виходячи з величини статичного прогину, конструкційної швидкості і можливих критичних зон коливань.

На сучасних локомотивах переважає ресорне підвішування з відносно низькою величиною статичного прогину. Внаслідок цього резонансні швидкості за випадковим збігом власної частоти вертикальних коливань і частоти чергування стиків на рейках виявляються високими [3, 4], тому дуже велика роль створення в системах оптимального демпфера.

Чутливість ресорного підвішування до зміни демпфірування зростає при зменшенні статичного прогину. На швидкісному рухомому складі доцільно застосовувати 2 ступеневе ресорне підвішування, що дозволяє на першому місці збільшити статичний прогин, мінімізувати вплив на шлях, на другому ступені ресорного підвішування – забезпечити пружний поперечний і кутовий зв'язок. По ряду переваг перед іншими видами ресор (компактність, мала вага, стабільність характеристик, відсутність зони нечутливості, невимогливість в обслуговуванні) у першій ступені ресорного підвішування раціональніше застосовувати гвинтові пружини.

Для забезпечення необхідних динамічних показників при русі локомотива з великими швидкостями рекомендується зменшити величину жорсткості ресорного підвішування, особливо в буксовій ступені. За результатами проведеного теоретичного аналізу та дослідження ресорного підвішування локомотивів запропоновані технічні рішення по створенню ресорного підвішування високошвидкісного рухомого складу та пропонується кілька варіантів конструктивного виконання такого ресорного підвішування [5, 6, 7, 8].

Мета роботи. Розробити та запропонувати шлихи вдосконалення конструкції першого і другого ступенів ресорного підвішування локомотива для покращення його тягових і динамічних показників.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним з перспективних варіантів удосконалення ресорного підвішування (рис. 1) є подовження буксових пружини 1, встановлених в отворах нижньої 2 і верхньої 3 поверхонь рами візка, які зверху спираються на опорні поверхні стаканів 4, встановлені на верхній поверхні 3 рами візка, а знизу – на корпуси 5 букс.

Запропоноване ресорне підвішування локомотива працює наступним чином. Навантаження кузова з обладнанням і візка передається на подовжені буксові пружини 1, встановлені в отворах нижньої 2 і верхньої 3 поверхонь рами візка, через закріплені на верхній поверхні 3 рами візка стакани 4, а далі навантаження передається на корпуси 5 букс. Застосування запропонованої конструкції ресорного підвішування локомотива дозволяє знизити жорсткість і тим самим збільшити статичний прогин ресорного підвішування локомотива.

Для гвинтової пружини першого ступеня ресорного підвішування прогин розраховується за формулою [9]:

$$\Delta_{cm(I)} = \frac{8D^3Nn}{Gd^3} \qquad (1)$$

де N – робоче навантаження, Н;

G – модуль пружності при зсуві, МПа;

D, d – діаметри пружин і прутка, м;

n – число робочих витків пружин (без урахування тих частин витків, які є опорними).

З формули (1) випливає, що збільшення статичного прогину досягається збільшенням кількості робочих витків. Нижче представлена вдосконалена конструкція першого ступеня ресорного підвішування локомотива. Навантаження ваги кузова з обладнанням і візка передається на корпуси 5 букс через подовжені пружини 1, які встановлюються в отворах нижньої 2 і верхньої 3 поверхонь рами візка і впираються в стакани 4 (рис.1).

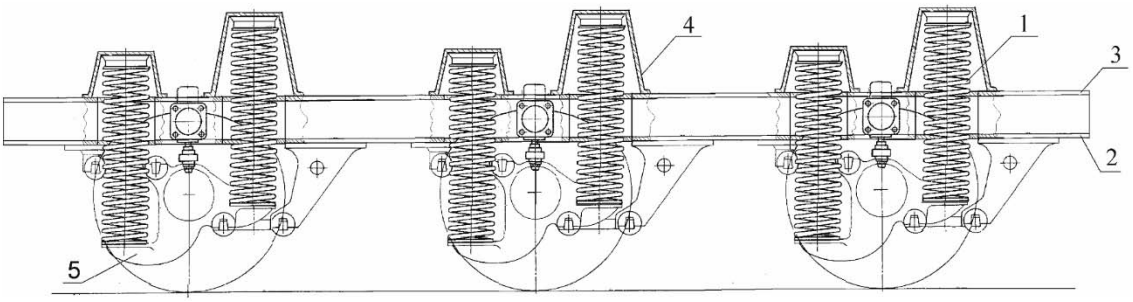


Рис. 1. Модернізоване ресорне підвішування локомотива (варіант 1):
1 – подовжена пружина, 2 – нижня поверхня рами візка,
3 – верхня поверхня рами візка, 4 – стакан, 5 – корпус букси

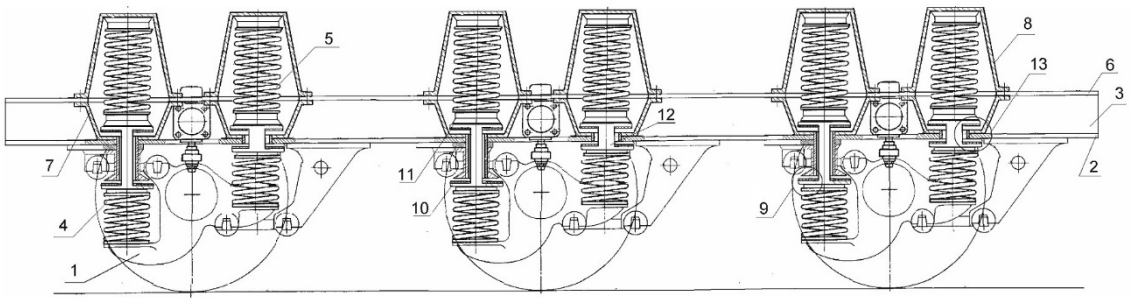


Рис. 2. Модернізоване ресорне підвішування локомотива (варіант 2):
1 – подовжена пружина, 2 – нижня поверхня рами візка,
3 – верхня поверхня рами візка, 4 – стакан, 5 – корпус букси

У першому ступені ресорного підвішування тепловоза 2ТЕ116 гвинтові пружини мають 4 робочих витка, а гвинтові пружини запропонованого ресорного підвішування – 18. З формули (1) випливає, що статичний прогин в удосконаленому ресорному підвішуванні першого ступеня (рис.1) збільшується в 4,5 рази.

Пропонується ще один варіант виконання буксового ресорного підвішування. У цьому випадку буксові пружини знизу і зверху рами візка з'єднані через циліндричні направляючі (рис. 2).

Навантаження кузова з обладнанням та візка передається на буксові пружини 4 та, за допомогою стаканів 7, 8, на встановлені у підкузовному просторі та в рамі 3 візка додаткові пружини 5 (рис. 2). Буксові пружини 4 та додаткові пружини 5, які закріплені на верхній поверхні 6 рами 3 візка, з'єднані циліндричними опорними проставками нижньою 11 опорною поверхнею з буксовою пружиною 4, а верхньою 10 – з додатковою пружиною 5. Точне переміщення по вертикальній прямій циліндричних опорних проставок, які виконані з пружними елементами 13, забезпечується циліндричними напрямними 9 Для компенсації напруження буксових пружин 3 та додаткових пружин 5 при стиснені, вони (буксові пружини 4 та додаткові пружини 5) виконані з протилежними напрямками навивання. Між циліндричними опорними проставками та нижньою поверхнею 2 рами 3 візка виконується зазор δ, який дорівнює:

$$\delta = f_{cm} \cdot k_{\partial \max} \qquad (2)$$

де $k_{\partial \max}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки;

f_{cm} – статичний прогин, МПа;

Далі навантаження кузова з обладнанням передається на корпуси 1 букс.

Може бути запропоновано ще ряд варіантів конструктивного виконання ресорного підвішування, які вирішують завдання зменшення його жорсткості.

На сучасних локомотивах 2ТЕ116, ТЕП150 та інших, у другому ступені ресорного підвішування широкого поширення набули гумометалеві опори (ГМО). Їх застосування значно спрощує конструкцію зв'язків кузова з візками. Вони мають малі габарити, сприяють більш рівномірному навантаженню рами візка, дозволяють здійснити поперечний і кутовий зв'язок кузова з візками з різними характеристиками. ГМО знижують шум і вібрацію, які передаються на кузов, проте вони не забезпечують достатній статичний прогин для високошвидкісного руху.

Тому в основу вдосконалення ресорного підвішування локомотива покладено подовження комбінованих бокових опор у вертикальній площині, що приведе до зниження жорсткості та тим самим збільшення статичного прогину ресорного підвішування локомотива. При такому рішенні навантаження надвізочної будови локомотива сприймається подовженими у вертикальній площині комбінованими боковими опорами 2 які встановлені на рамі візка 1 та обпираються на розміщені на рамі 3 кузова локомотива стакани 4. При русі у кривій подовжені у вертикальній площині комбіновані бокові опори 2 забезпечують плавне вписування у криві та створюють необхідні зусилля, які вертають раму 3 кузова локомотива в перше початкове положення.

Запропонована конструкція ГМО дозволяє знизити жорсткість та тим самим збільшити статичний прогин ресорного підвішування. На рис.3 (а) представлена конструкція ресорного підвішування локомотива з типовою ГМО фірми Metalastik, а на рис.3 (б) – конструкція зміненої ГМО локомотива.

Статичний прогин опори [6] другого ступеня ресорного підвішування визначається з виразу:

$$\Delta_{cm(II)} = n \cdot \Delta_{cm(ел)} \qquad (3)$$

де n – число гумометалевих елементів в опорі;

$\Delta_{cm(ел)}$ – статичний прогин одного гумометалевого елемента.

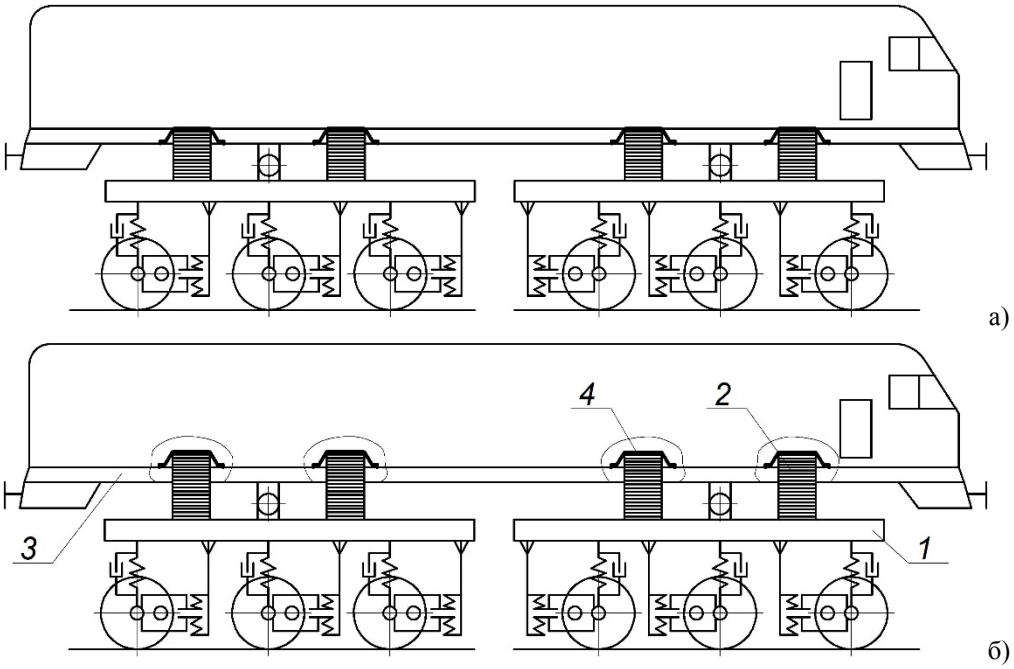


Рис. 3. Опорно-повертаючи пристрої локомотивів:
а – типова гумометалева опора фірми Metalastik;
б – конструкція зміненої гумометалевої опори локомотива:
1 – рама візка, 2 – комбіновані бокові опори, 3 – рама кузова локомотива, 4 – стакан

Якщо в опорі, зображеній на рис. 3 (а) число гумових елементів дорівнює 8, то в запропонованій опорі рис. 3 (б) – 14. З формули (3) випливає, що у варіанті рис. 3 (б) статичний прогин в 1,75 рази більше, ніж в опорі рис. 3 (а).

Сумарний статичний прогин [9] визначається з виразу (4):

$$\sum \Delta_{cm} = \Delta_{cm(I)} + \Delta_{cm(II)} \qquad (4)$$

Встановлено, що вдосконаленого ресорного підвішування запропонованими технічними рішеннями, дозволить отримати зростання сумарного статичного прогину в 6,25 раз.

Статичний прогин ресорного підвішування повинен бути пропорційний швидкості руху, отже, дане ресорне підвішування забезпечує вимоги щодо високошвидкісного рухомого складу.

Одним з перспективних варіантів вирішення поставленого завдання підвищення динамічних якостей локомотива є можливість удосконалення його ресорного підвішування. На основі теоретичних і експериментальних досліджень [10] розроблена нова конструкція опори кузова на візок (рис. 4). В гумометалевих елементах (ГМЕ) пропонованої опори виконані отвори, а також встановлено обмежувач поперечних переміщень.

Запропонована бічна опора рейкового транспортного засобу працює наступним чином. Прямування транспортного засобу залізничною колією різноманітного плану і профілю супроводжується взаємними переміщеннями рами 8 візка відносно корпуса 6 кузова як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Вертикальні переміщення екіпажа сприймаються блоком ГМЕ 4. При кутових поворотах рами 8 візка (рис. 4) відносно корпуса 6 кузова, відбувається перекочування роликового комплекту 3 по нахилам опорних плит 1, 2. При русі транспортного засобу в режимі тяги, гальмування напрямна 5 взаємодіє з обмежувачем 7 виключаючи піддатливість (хиткість) блоку ГМЕ 4 у подовжньому напрямку осі екіпажа, це дозволяє забезпечити поліпшення використання зчіпної маси і поліпшення тягових властивостей залізничного транспортного засобу. При вході та виході у криві ділянки шляху блок ГМЕ 4 блокується, що дозволяє усунути перекіс кузова у подовжньому напрямку. Взаємодія обмежувача 7 з напрямною 5 виконується через гумовий елемент 9, що посилює плавне повертання кузова у вихідне положення в різних режимах руху.

Таке конструктивне рішення дозволяє знизити жорсткість і тим самим збільшити статичний прогин опори (в блоці ГМЕ, який складається з 7-ми елементів до 20%), а так само одночасно з цим збільшити поперечну жорсткість опори через застосування в ній обмежувача поперечних переміщень, що блокує роботу декількох ГМЕ на зсув. У ході проведення теоретичних і експериментальних досліджень розроблені опори кузова на візок показали свою ефективність і були впроваджені на тепловозі ТЕП150.

Таким чином, конструкція опорно-повертаючих пристроїв і аналіз вимог до зв'язків кузова з візками дають можливість визначити шляхи їх подальшого вдосконалення і вибору раціональних характеристик зв'язків.

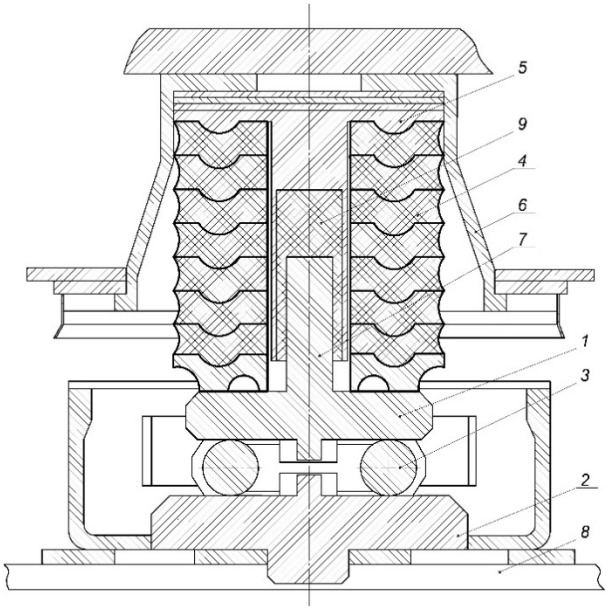


Рис. 4. Схема бічної опори кузова на візок:
1, 2 – верхня і нижня опорні плити, 3 – роликовий комплект, 4 – блок ГМЕ, 5 – фіксатор, 6 – корпус кузова, 7 – обмежувач, 8 – рама візка, 9 – гумовий елемент

Висновки. При застосуванні запропонованих технічних рішень конструкції вдосконаленого ресорного підвішування спільна робота першого і другого ступенів ресорного підвішування дозволяє збільшити статичний прогин в 6,25 раз, що забезпечить створення високошвидкісного рухомого складу [11, 12, 13, 14].

Проведені дослідження показали, що запропоноване конструктивне виконання гумометалевих опор кузова на візки дозволяє збільшити статичний прогин другого ступеня ресорного підвішування, отримати характеристику повертаючого моменту, що забезпечує зменшення динамічного впливу на шлях при русі як в прямих, так і в кривих ділянках колії та поліпшити умови вписування екіпажу в криві ділянки колії.

Література

1. Богданов В.М. Современные проблемы системы колесо-рельс / В.М. Богданов, С.М. Захаров // Железные дороги мира. – 2004. – № 1. – С. 57-62.
2. Косов В.С. Улучшение условий взаимодействия колес локомотивов с рельсами / В.С. Косов // Железные дороги мира. – 2000. – № 4.
3. Горбунов М.І. Розробка і оцінка технічних рішень, що підвищують якісний рівень ходової частини локомотива / М.І. Горбунов, О.Л. Голубенко: Монографія. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2002. – 104 с.
4. Горбунов Н.И. Анализ факторов снижающих тягово-сцепные качества локомотивов / Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко, М.В. Ковтанец // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту тімені академіка В. Лазаряна. – Вип. 30. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – С. 125-128.
5. Горбунов Н.И. Пути решения проблемы повышения тягово-сцепных и динамических качеств локомотивов / Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко, В.А. Левандовский, В.И. Нестеренко, М.В. Ковтанец, В.С. Ноженко // Международный информационный научно-технический журнал «Локомотивинформ», №5, 2010. – С. 38-41.
6. Патент на корисну модель №48932 F16F 9/00 Ресорна підвіска локомотива / заявник і власник Горбунов М.І., Кравченко К.О., Попов С.В., Ковтанець М.В., Фесенко А.І. – u200910774; заявл. 26.10.2009; опубл. 12.04.2010, Бюл. № 7. – 2 с.
7. Патент на корисну модель №124802 B61F 5/26 Ресорне підвішування локомотива / Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Кравченко К.О., Ноженко В.С., Кара С.В., Кортєва О.В.; заявник і власник СНУ ім. В.Даля. – u 2017 10488; заявл. 30.10.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8. – 2 с.
8. Патент на корисну модель №61546 B61F 5/14 Опора кузова на візок / Слащов В.А., Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Ноженко В.С., Додонов В.І.; заявник і власник СНУ ім. В. Даля. – u201014955; заявл. 13.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. – 3 с.
9. Ковтанець М. Вдосконалення ресорного підвішування для локомотивів при високошвидкісному русі / М. Ковтанець, Т. Ковтанець, М. Вакулік // IV Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання», 25-26 березня 2021 року: Тези доповідей. – Львів: Галичька видавнича спілка, 2021. – С. 125-127.
10. Горбунов Н.И. Результаты экспериментального исследования сопряжения кузова локоматива с тележкой / Н.И. Горбунов, А.Л. Кашура, С.В. Попов, О.Л. Игнатьев, В.П. Гундарь // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім.В.Даля. – Вип. 8 (78). – 2004. – С. 143-147.
11. Gorbunov M. Reducing the wheel-rail system wear intensity with thermomechanical impact / M. Gorbunov, M. Kovtanets, G. Bureika, T. Kovtanets // Proceedings of the 23nd International Scientific Conference. Transport Means 2019, 02-04 October, Palanga, Lithuania. 2019. – P. 1260-1265.
12. Gorbunov M. Experimental study of the limit-maximum adhesion coefficient / M. Gorbunov, M. Kovtanets, T. Kovtanets / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 382-386.
13. Gorbunov M. Innovative risks of introducing advanced technical solutions in transport / M. Gorbunov, V. Nozhenko, M. Kovtanets, O. Porkuyan / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 97-101.
14. Gorbunov M. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia. – 2017. – Vol. 13, ISSN 2345-0533. – P. 159-164.

References

1. Bogdanov V.M. Modern problems of the wheel-rail system / V.M. Bogdanov, S.M. Zakharov // World Railways. – 2004. – No. 1. – S. 57-62.
2. Kosov V.S. Improvement of conditions for interaction of locomotive wheels with rails / V.S. Kosov // Railways of the World. – 2000. – No. 4.
3. Gorbunov M.I. Development and evaluation of technical solutions that increase the quality of the chassis of the

locomotive / M.I. Gorbunov, A.L. Golubenko: Monograph. – Luhansk: SNU publishing house named after V. Dalya, 2002. – 104 p.
4. Gorbunov N.I. Analysis of factors that reduce traction-coupling qualities of locomotives / N.I. Gorbunov, E.A. Kravchenko, M.V. Kovtanets // Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – Vip. 30. – D .: Dnipropetrovsk Publishing House. nat. University of Iron. transp them. acad. V. Lazaryan, 2009. – P. 125-128.
5. Gorbunov N.I. Ways of solving the problem of increasing the traction-coupling and dynamic qualities of locomotives / N.I. Gorbunov, E.A. Kravchenko, V.A. Lewandovsky, V.I. Nesterenko, M.V. Kovtanets, V.S. Nozhenko // International information scientific and technical journal «Lokomotivinform», No. 5, 2010. – P. 38-41.
6. Patent for utility model №48932 F16F 9/00 Spring locomotive suspension / applicant and owner Gorbunov M.I., Kravchenko K.O., Popov S.V., Kovtanets M.V., Fesenko A.I. – u200910774; declared 26.10.2009; publ. 12.04.2010, Bull. № 7. – 2 p.
7. Patent for utility model №124802 B61F 5/26 Spring suspension of the locomotive / Gorbunov M.I., Kovtanets M.V., Kravchenko K.O., Nozhenko V.S., Kara S.V., Korteva O.V.; applicant and owner of SNU. B.Даля. – in 2017 10488; declared 30.10.2017; publ. April 25, 2018, Bull. № 8. – 2 p.
8. Patent for utility model №61546 B61F 5/14 Body support on a trolley / Slashchov V.A., Gorbunov M.I., Kovtanets M.V., Nozhenko V.S., Dodonov V.I.; applicant and owner of SNU. V. Dahl. – u201014955; declared 13.12.2010; publ. 25.07.2011, Bull. № 14. – 3 p.
9. Kovtanets M. Improvement of spring suspension for locomotives at high speed / M. Kovtanets, T. Kovtanets, M. Vakulik // IV All-Ukrainian scientific-theoretical conference «Problems with traffic flows and directions for their solution», March 25-26 2021: Abstracts. – Lviv: Halych Publishing Union, 2021. – P. 125-127.
10. Gorbunov N.I. Results of an experimental study of interfacing of a locomotive body with a bogie / N.I. Gorbunov, A.L. Kashura, S.V. Popov, O. L. Ignatiev, V.P. Gundar // Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – Luhansk: V. Dahl National University. – Vip. 8 (78). – 2004. – P. 143-147.
11. Gorbunov M. Reducing the wheel-rail system wear intensity with thermomechanical impact / M. Gorbunov, M. Kovtanets, G. Bureika, T. Kovtanets // Proceedings of the 23nd International Scientific Conference. Transport Means 2019, 02-04 October, Palanga, Lithuania. 2019. – P. 1260-1265.
12. Gorbunov M. Experimental study of the limit-maximum adhesion coefficient / M. Gorbunov, M. Kovtanets, T. Kovtanets / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 382-386.
13. Gorbunov M. Innovative risks of introducing advanced technical solutions in transport / M. Gorbunov, V. Nozhenko, M. Kovtanets, O. Porkuyan / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 97-101.
14. Gorbunov M. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia. – 2017. – Vol. 13, ISSN 2345-0533. – P. 159-164.

Kovtanets M.V., Kuzmenko S.V., Nozhenko V.S., Sergienko O.V., Klimash A.O., Kovtanets T.M. Ways to improve traction and dynamic performance of a locomotive

The article analyzes that among the factors that determine the conditions of interaction of the "wheel-rail" system, both the design features of locomotive carts and the conditions of train movement (longitudinal and transverse forces) are taken into account. The running qualities of the locomotive in the vertical plane are determined mainly by the magnitude of the static deflection and the degree of damping of the spring suspension, and the existing locomotives of the Ukrainian Railways are dominated by spring suspension with a relatively low static deflection. Therefore, to ensure the necessary dynamic performance when moving the locomotive at high speeds, it is recommended to reduce the stiffness of the spring suspension, especially in the axle stage. Based on the results of the theoretical analysis and research of spring suspension of locomotives, technical solutions for the creation of spring suspension of high-speed rolling stock are proposed and several options for the design of such spring suspension are proposed. One of the promising options for improving the spring suspension is the elongation of the axle springs installed in the holes of the lower and upper surfaces of the trolley frame, which rest on top of the support surfaces of the glasses mounted on the upper surface of the trolley frame and below on the axle boxes. Another variant of the axle spring suspension is proposed in which the axle springs at the bottom and top of the trolley frame are connected through cylindrical guides. The paper also considers the improvement of the second stage of the spring suspension of the locomotive by lengthening the combined side supports in the vertical plane, which will reduce the stiffness and thus increase the static deflection of the spring suspension of the locomotive, and at the same time increase the lateral rigidity of the support through the use of a lateral displacement limiter in it, which blocks the operation of several rubber-metal elements in shear. When applying the proposed technical solutions for the design of advanced spring suspension, the joint work of the first and second stages of spring suspension allows to increase the static deflection by 6.25 times, which will create a high-speed rolling stock.

Keywords: *railway transport, traction qualities, speaker, spring suspension, springs, supports, static deflection.*

Ковтанець Максим Володимирович – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Кузьменко Сергій Валентинович – к.т.н., директор навчально-наукового інституту транспорту і будівництва СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Ноженко Володимир Сергійович – к.т.н., проректор з науково-педагогічної роботи та комунікацій СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Сергієнко Оксана Вікторівна – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Клімаш Андрій Олександрович – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Ковтанець Тетяна Миколаївна – аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.

Стаття подана 04.05.2021 .

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-59-61

УДК 629.4

КОНТАКТ ГРЕБЕНЯ КОЛЕСА З БІЧНОЮ ПОВЕРХНЕЮ РЕЙКИ І ОПІР РУХУ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЯГОВОГО МОМЕНТУ КОЛЕСОМ ЛОКОМОТИВА

Кириченко І.О., Кашура О.Л.

CONTACT OF A WHEEL COMB WITH A LATERAL SURFACE OF A RAIL AND RESISTANCE OF MOVEMENT AT REALIZATION OF A TRACTION MOMENT BY A LOCOMOTIVE WHEEL

Kyrychenko I.O., Kashyra O.L.

Стаття присвячена актуальному питанню ефективності роботи рейкового транспорту, а саме - технічного удосконалення засобів тяги – локомотивів, моторних вагонів. При дослідженні зчіпних властивостей локомотивів на рейковому шляху виключається практично повністю небезпека, що виникає від неадекватності умов експерименту та рядової експлуатації. Але недоліками таких експериментів є значні витрати коштів, часу і головне, складність виділення для дослідження впливу якогось одного фактору. В теорії тертя кочення основною характеристикою є залежність між силою тертя зчеплення і величиною швидкості відносного ковзання контактуючих поверхонь.

Ключові слова: *рейковий транспорт, знос, гребень, взаємодія, сила тяги, величина ковзання.*

Вступ. Від якості і безпеки роботи залізничного транспорту залежить рівень економічного стану суспільства. Проблема взаємодії рухомого складу та залізничної колії відноситься до числа найважливіших у транспортній галузі. Незважаючи на певний прогрес в вивченні фізичних процесів при контакті колеса з рейкою, ця проблема до кінця не досліджена [2].

Багаторічна експлуатація рухомого складу показує, що ресурс бандажів колісних пар визначається прокатом і, в більшій мірі, зносом гребнів. Про це свідчать численні публікації, присвячені наднормативному зношуванню гребнів колісних пар і бічній поверхні головки рейки. Зокрема, проблемні аспекти розглянуті у роботах Голубенка О.Л., Бартенєва Л.І. та ін [1-10].

Метою роботи є вивчення особливостей процесу взаємодії гребеня колеса з бічною поверхнею рейки, що є важливим моментом з точки зору виникнення бічних динамічних сил, так і процесів зносу і опору руху.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес взаємодії гребеня колеса з бічною поверхнею рейки є важливим моментом як з точки зору виникнення бічних динамічних сил, так і процесів зносу і опору руху. Як при русі в прямих ділянках колії, так і в кривих гребінь колеса тривалий час взаємодіє з бічною поверхнею рейки. Виникаючі при цій взаємодії поздовжні сили в контакті гребеня з бічною поверхнею рейки вважаються опором руху. Розглянемо рух локомотива, зокрема, при реалізації ним сили тяги.

Припустимо, що колесо робить «чисте» кочення (рис.1), тобто не відбувається реалізація тягового моменту.

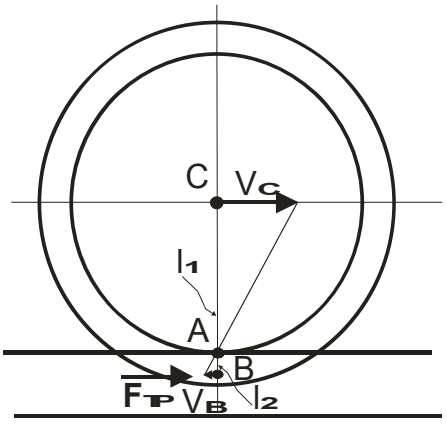


Рис. 1. Схема «чистого» кочення колеса по рейці (центр повороту в т. А)

Точка А є точкою контакту поверхні катання бандажа з доріжкою кочення на рейці, точка С - центр колеса, точка В - точка контакту гребеня колеса з бічною поверхнею рейки.

У цьому випадку точка А є миттєвим центром повороту і швидкість в точці А - VA = 0 м/с.

Відстань l1 дорівнює радіусу катання локомотивного колеса. Нехай l1 = 1,05 м, відстань l2 одно 0,01 м [1], колесо рухається зі швидкістю VC=10 м/с. Тоді миттєва швидкість в точці В дорівнюватиме VB = - VCl2/l1 = -0,1 м/с. Величина відносного ковзання в точці В.

$$\varepsilon = \frac{V_B}{V_C} = -0.01$$

або -1%. Однак, це говорить про те, що в точці В повинна існувати сила тертя FTP, що діє з боку рейки на гребінь колеса і спрямована в бік руху колеса, тобто протилежно напрямку швидкості ковзання.

Розглянемо випадок реалізації колесом сили тяги. У точці А виникає прослизання (рис. 2).

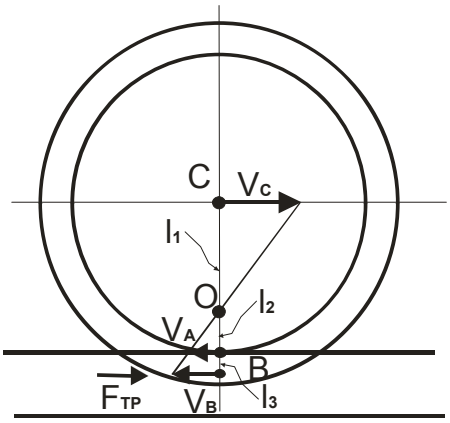


Рис. 2. Схема кочення колеса по рейці при реалізації ним сили тяги

У цьому випадку точка О є миттєвим центром повороту і швидкість в точці О - Vo = 0 м/с.

В даному випадку виникає ще більший рівень ковзань гребеня колеса щодо бічної поверхні рейки. Аналогічно попередньому випадку з точки В повинна існувати сила тертя FTP, що діє з боку рейки на гребінь колеса і спрямована в бік руху колеса, тобто протилежно напрямку швидкості ковзання. Сила, спрямована в бік руху, не може бути опором руху.

Припустимо, що величина ковзання при цьому становить 2% [2], відстань l3 одно 0,01 м. Тоді швидкість в точці А - VA = 0,2 м/с, а швидкість в точці В складе

$$V_B = V_A \frac{R/(1+V_A/V_C)+l_3}{R/(1+V_A/V_C)} = 2.02\,м/с\,.$$

При розгляді подібних схем контактування колеса локомотива з рейкою в разі реалізації сили тяги контакт гребеня з бічною поверхнею рейки перестає бути опором руху і навіть навпаки, сприяє реалізації сили тяги.

Для того, щоб контакт гребеня колеса з бічною поверхнею рейки був опором руху, необхідно, щоб в точках контакту виникало ковзання і відповідна йому сила тертя. Сила тертя повинна бути спрямована в бік, протилежний напрямку руху.

Розглянемо «схему» 1 (чистого кочення) в іншій постановці.

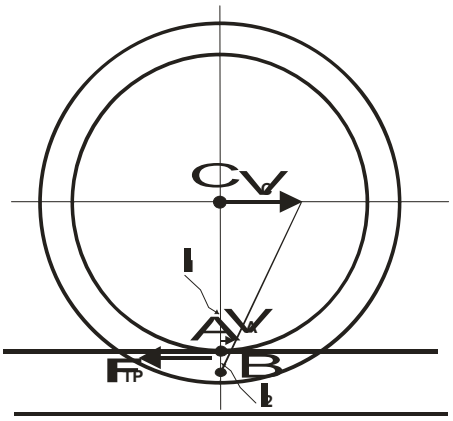


Рис. 3. Схема «чистого» кочення колеса по рейці (центр повороту в т. В)

Нехай не точка А, а точка В є миттєвим центром повороту і швидкість в точці В-V ст=0 м/с. Тоді миттєва швидкість в точці А (вона ж швидкість ковзання) буде дорівнює VA = VCl2 / l1 = 0,1 м/с і спрямована в бік руху, а значить відповідна сила тертя спрямована проти руху і є опором руху. Крім того, виходить, що джерело сили опору знаходиться не в точці контакту гребеня колеса з бічною поверхнею рейки, а в точці контакту поверхні катання бандажа з поверхнею кочення рейки.

Розташування миттєвого центру повороту колеса залежить від співвідношення контактних сил на поверхні катання і гребені колеса. Для кочення «без ковзання» (назвемо його без реалізації тягового моменту) можливий розгляд розрахункових схем, подібних і рис.1 і рис.3 (і проміжних).

Для випадку реалізації сили тяги не представляється можливим зміщення миттєвого центру повороту таким чином, щоб ковзання стало опором руху, так як тоді виникають питання з можливістю реалізації сили тяги.

Висновки. У підсумку можна стверджувати, що таким чином, при моделюванні руху колеса локомотива щодо рейки необхідно більш детально розглядати контакт гребеня колеса з бічною поверхнею рейки. При реалізації тягового моменту на гребені колеса може з'являтися сила тертя, що сприяє реалізації тягового моменту і не є опором руху.

Література

1. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаємодія шляху і рухомого складу. / Под ред. М.Ф. Вериго. - М.: Транспорт, 1986. - 559 с.
2. Голубенко А.Л. Сцепление колеса с рельсом. – К.: ВИПОЛ, 1993. - 448 с.

3. Кириченко І.О., Кашура О.Л. Забезпечення ефективності та безпеки перевезень зменшенням зносу в парі тертя колесо-рейка.- Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля [Наук. журнал]. - №19(207) Ч.1, 2020.- С.171-175.
4. Бартенєва Л.І., Нікітін В.Є. Технологія комплексного зниження зносу гребеня колеса і рейки с допомогою пересувних рельсосмазиватели // Залізниці світу. - М .: 2004. - №1. с. 62-65
5. Богданов В.М., Захаров С.М. Сучасні проблеми системи колесо-рейка // Залізниці світу. - 2004. - № 1. - С. 57-62.
6. G.Basov, N.Gorbunov, A.Kashura, S.Popov The modeling of the heat processes in the pair wheel flange-rail // "Modern Electric Traction in Integrated XXI st century Europe", Poland, Warsaw. - 2005.
7. Fomin O., Lovska A., Gorobchenko O., Turpak S., Kyrychenko I., & Burlutski O. / Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under operational load modes //*EUREKA: Physics And Engineering* ". – 2019. - №2– p.61-70.
8. Ю.А. Розенберг. Вплив мастил на довговічність і надійність деталей машин. М., «Машинобудування», 1970, 315 стор.
9. Мастило заводського обладнання. /І.І. Міхєєв, Г.І. Попов. - М .: «Машинобудування», 1967.
10. Лужний Ю.М., Попов В.А., Студентова В.Ф. Втрати енергії і їх роль при реалізації зчеплення коліс з рейками // Тертя, знос та мастильні матеріали / Праці доп. Міжнар. наук. - техн. конфер., Ташкент, 22-26 травня 1985р. - М., 1985. - Т.1. - С.133-138.

R e f e r e n c e s

1. Verigo MF, Kogan A.Ya. The interaction of path and motion. / Ed. M.F. Chain. - M .: Транспорт, 1986. - 559 с.
2. Golubenko AL Coupling of a wheel with a rail. - K.: ВИПОЛ, 1993. - 448 с.
3. Kirichenko IO, Kashura OL Ensuring the efficiency and safety of transportation by reducing wear in the pair of wheel-rail friction.- Bulletin of the East Ukrainian National. un-tu them. V. Dalia [Science. magazine]. - №19 (207) Ч.1, 2020.- С.171-175.
4. Bartenєva L.I., Nikitin V.Є. The technology of the integrated lowering of the flange of the wheel and rail with the help of the old rail lubricators // Zaliznitsviy svitu. - M.: 2004. - No. 1. from. 62-65
5. Bogdanov V.M., Zakharov S.M. Nowadays problems with wheel-rake systems // Zaliznitsi svitu. - 2004. - No. 1. - S. 57-62.
6. G. Basov, N. Gorbunov, A. Kashura, S. Popov The modeling of the heat processes in the pair wheel flange-rail // "Modern Electric Traction in Integrated XXI st century Eu-rope", Poland, Warsaw - 2005.
7. Fomin O., Lovska A., Gorobchenko O., Turpak S., Kyrychenko I., & Burlutski O. / Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under operational load modes //EUREKA: Physics And Engineering ". – 2019. - №2– p.61-70.
8. Y.A. Rosenberg Injection mastered on dovgichnist i nadiynist details of machines. M., "Mashinobuduvannya", 1970, 315 s.
9. The mast of the factory. / II.II. Mikhov, G.I. By the way. - M.: "Machine-driven", 1967.
10. Luzhny Yu.M., Popov V.A., Studentova V.F. Loss of energy and role in realizing the number of racks // Tertia, znos ta kastilni materialy / Prats additional. Mizhnar. sciences. - tech. confer., Tashkent, 22-26 grass 1985 rub. - M., 1985. - T.1. - S.133-138.

Kyrychenko I.O., Kashyra O.L. Contact of a wheel comb with a lateral surface of a rail and resistance of movement at realization of a traction moment by a locomotive wheel.

The article is devoted to the topical issue of the efficiency of rail transport, which is determined by the technical improvement of traction means - locomotives, motor cars. When studying the coupling properties of locomotives on the rail track, the danger of inadequacy of the conditions of experience and ordinary operation is almost completely eliminated. But the disadvantages of such experiments are the significant cost of money, time and, most importantly, the difficulty of allocating to study the influence of any one factor.

In the theory of rolling friction, the main characteristic is the relationship between the force of adhesion friction and the magnitude of the relative sliding speed of the contact surfaces.

Long-term operation of rolling stock shows that the service life of wheelsets is determined by rolling and, to a greater extent, wear of the ridges. This is evidenced by numerous publications on supra-regulatory wear of the ridges of the wheelsets and the side surface of the rail head. Long-term operation of rolling stock shows that the service life of wheelsets is determined by the hire and, to a greater extent, the wear of the ridges. This is evidenced by numerous publications on overnormative wear of the ridges of the wheelsets and the side surface of the rail head. In particular, the problematic aspects are considered in the works of Golubenko O.L., Barteneva L.I., Nikitina V.E. etc.

In order to reduce the intensity of wear of wheel couples and rails to acceptable values, a number of technical and organizational-technological measures have been carried out in recent years. For example, lubrication, improvement of the structure of the track and rolling stock, improvement of the geometry of the profile of the surface of rolling wheels and rails, monitoring in the wheel-rail system, etc.

Rail transport plays a key role in meeting the transport needs of the population and enterprises. Up to 70% of all traffic is carried out by rail. The level of socio-economic condition of society depends on the quality and safety of railway transport. The problem of interaction between rolling stock and railway is one of the most important in the transport industry. Despite some progress in the study of physical processes in contact of the wheel with the rail, this problem has not been fully explored.

Keywords: *rail transport, wear, ridge, interaction, traction force, sliding amount.*

Кириченко Ірина Олексіївна – д.т.н., професор кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, e-mail: i_kir@ukr.net
Кашура Олександр Леонідович – к.т.н., доцент СНУ ім. В. Даля

Стаття подана 26.04.2021 .

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-62-65

УДК 656.02

ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ НА РІЗНИХ ВИДАХ ТРАНСПОРТУ

Кириченко І.О., Кузьменко Н.М., Водолазський О.О.

QUALITY OF TRANSPORTATION SERVICES ON DIFFERENT TYPES OF TRANSPORT

Kyrychenko I.O., Kuzmenko N.M., Vodolazskyi O.O.

Стаття присвячена актуальному питанню надання якісних транспортних послуг різними видами транспорту. У роботі розглянуто проблеми пошуку оптимальних рішень для ефективного освоєння необхідних обсягів перевезень при мінімальних витратах ресурсів. Це важливе та актуальне питання для усіх галузей економіки нашої країни. У роботі проведено аналіз основних техніко-економічних особливостей залізничного транспорту, морського транспорту, річкового транспорту, повітряного транспорту, автомобільного транспорту. На основі проведеного аналізу було зроблено пропозицію, що якість транспортних послуг є складним поняттям. Транспортні послуги - це послуги, які завершують і (або) передують процесу матеріального виробництва. Наприклад, передача готової продукції із заводу до місця призначення для подальшого її продажу споживачам відноситься до кінцевих послуг. Доставка сировини з виробничих ділянок на завод для переробки в готову продукцію або напівфабрикати відноситься до послуг, що передують процесу виробництва матеріалів.

Ключові слова: *якість транспортних послуг, залізничний транспорт, автомобільний транспорт, морський транспорт, річковий транспорт, повітряний транспорт.*

Вступ. Процеси інтеграції в сучасних умовах розвитку світової спільноти об'єктивно незворотні, тому сучасна концепція управління якістю транспортного обслуговування при досягненні всіх цілей і завдань функціонування підприємств і організацій передбачає її обов'язковий пріоритет серед інших напрямків управління.

Всі послуги як товар і послуги транспорту, зокрема, мають свої характерні особливості [1].

Транспортна послуга не взаємозамінна, тому що вона жорстко «прив'язана» до місця і часу, що обмежує внутрігалузеву боротьбу на одному і тому виді транспорту (наприклад, між залізницями). Така боротьба може бути між різними видами транспорту або при наявності інших шляхів сполучення в рамках одного і того ж виду транспорту (наприклад, автомобільного або морського). У будь-якій діяльності з надання послуг покупець послуг в тій чи іншій мірі є учасником цього процесу.

Ця особливість не дозволяє заздалегідь перевірити рівень послуг, які надаються, оскільки виробництво такої послуги та її споживання відбувається одночасно. Крім того, в сфері невиробничих, індивідуальних послуг у рівні задоволеності споживачів грають питання особистої співдії і обстановки. Часто важливим є не реальний стан речей, а сприймання їх споживачем, чия поведінка може бути непередбаченою. При отриманні транспортних послуг споживачі самі повинні вибрати маршрут і шлях доставки, оформити документи, доставити вантаж, наприклад, на залізничну станцію відправлення і забрати з кінцевої станції. Таким чином, споживачі є частиною учасників процессу при наданні послуг, тому необхідно створити для них комфортні умови, провести навчання [2] .

Метою роботи є вивчення особливостей надання транспортних послуг різними видами транспорту, а також ступеня їх впливу на якість транспортних послуг, що надаються різними видами транспорту [3].

Виклад основного матеріалу дослідження. Пошуки оптимальних рішень, що дозволяють ефективно освоїти необхідні обсяги перевезень при можливо малих витратах ресурсів, в даний час належать до основних завдань стабілізації і подальшого підйому національної економіки.

Основними техніко-економічними особливостями залізничного транспорту є:

1. Тісний зв'язок з підприємствами промислового та сільського господарства, будівництвами, торговими базами, складами і т. і. Сьогодні практично всі великі підприємства і бази торгівельних організацій мають залізничні під'їзні шляхи які зв'язують їх з магістральними залізницями.

2. Наявність умов будівництва залізничної мережі практично на будь-якій території країни і забезпечення стійких зв'язків між областями.

3. Висока пропускна здатність залізниць. двоколійна лінія, обладнана автоматичною сигналізацією, може забезпечити перевезення більш ніж 50 млн тон в кожному напрямку на рік, а одноколійка - 15 млн тон і більше в кожному напрямку на рік. Ці параметри можуть мінятися зі зміною загальної маси поїздів, швидкостей руху. Можливість виконання масових перевезень вантажів в поєднанні з низькою собівартістю перевезень.

4. Можливість неразривного і рівномірного здійснення перевезень цілодобово в будь-яку пору року.

5. Порівняно велика швидкість руху і час доставки пасажирів і вантажів . Час доставки вантажів є важливим якісним показником, який визначає результативність використання того чи іншого виду транспорту для перевезень, які конкурують. В цілому скорочення часу доставки вантажів має великий економічний ефект.

6. Достава вантажів і пасажирів по найефективнішому шляху . Треба пам'ятати, що найкоротший маршрут не завжди є найбільш ефективним. Іноді доцільно приміняти на потужних вантажопотоках види транспорту з низькою собівартістю в порівнянні з короткими маршрутами.

7. Щодо високих економічних показників і досить досконалої технології перевезень. Коли витрати на паливо на залізничному транспорті прийняти за одиницю, то на автомобільний транспорт прийдеться 4-5 одиниць [4, 5].

На різноманітних видах транспорту ціна складається з таких показників: потужність вантажопотоку і пасажиропотоку, дальність перевезень, баланс навантаженого і порожнього пробігу, регіон розміщення лінії, її технічна оснащеність і таке інше. Тому, для прозорості оцінки результативності використання того чи іншого виду транспорту доречно виходити з умов перевезень, що складаються в різних напрямках.

До особливостей морського транспорту належать:

1. Впливання природно-географічних і навігаційних умов. Це визначає час навігаційного періоду і складність умов.

2. Необхідність будівництва на морському узбережжі складного портового господарства. Морський транспорт ефективніше застосовувати на великих відстанях, оскільки на малих відстанях не виконується одна з важливих переваг морського транспорту - можливість використання судів великий вантажомісткості.

3. Обмежене використання морського транспорту в прямих морських повідомленнях.

Для нормального функціонування порти повинні мати споруди та механізми для переміщення вантажів як всередині судів, так і для перевантаження на плаву. Також обов’язково потрібно мати складське та вагове господарство, розвинену транспортно-інформаційну систему і т. і.

Річковий транспорт є важливою складовою загальної транспортної системи країни, насамперед при перевезеннях масових вантажів, , будівельних матеріалів в таких районах, де є річки .

Головними техніко-економічними особливостями річкового транспорту є:

1. Гарний вантажопотік на глибоководних ріках.

2. Низька собівартість перевезень, приблизно на 30% нижче, ніж на залізницях і в кілька разів з автомобільним транспортом. Відносно невеликі капітальні витрати. Витрати на організацію судноплавства по природним магістральним водним шляхам з пропускною спроможністю 20-70 млн тон на рік в декілька разів менше, ніж на будівництво залізниці (з рухомим складом) і в 3-4 рази менше, ніж на будівництво автомобільної дороги з твердим покриттям.

До особливостей застосування річкового транспорту належать:

1. Зниження використання рухомого складу, у зв’язку з сезонністю .

2. Продовження маршрутів проходження вантажів.

3. Менша швидкість перевезення вантажів і пасажирів.

4. Потреба в формуванні великих партій вантажів.

Автомобільний транспорт широко використовується як для внутрішньовиробничих (технологічних) перевезень, так і для безпосередньої доставки вантажів з пунктів виробництва в пункти споживання.

У перевезеннях автомобілями виконується приблизно 30-50% загального обсягу.

Техніко-економічні особливості автомобільного транспору визначають його широке використання у всіх галузях господарства.

1. Гарна маневреність та рухливість. Автомобілями вантажі можуть перевозитись з пункту виробництва в пункт споживання без перевантаження і проміжного складування, тобто «від дверей до дверей».

2. Швидкість доставки вантажів і пасажирів є високою. За цим параметром автомобільний транспорт поступається лише повітряному транспорту.

3. У деяких випадках - найкоротший шлях руху вантажів і пасажирів. Доцільно доставляти вантажі і перевозити пасажирів автомобільним транспортом в тих випадках, коли відстань перевезення автомобільними дорогами менше, ніж по залізниці.

До особливостей автомобільного транспорту належать:

1. Порівняно висока собівартість, значно вище, ніж на водному і залізничному транспорті. Високий рівень собівартості - результат малої вантажопідйомності одиниці рухомого складу і достатньої складності автомобільного рухомого складу.

2. Щодо великої вартості матеріально-технічної бази обслуговування автомобілів, незважаючи на те

що в деяких випадках ця база розвинена ще недостатньо.

3. Мала протяжність та поганий технічний стан наявних автомобільних доріг.

У транспортній системі авіаційний транспорт є видом пасажирського транспорту, який є основним на відстань понад 800 км. Важлива роль повітряного транспорту - зміцнення міжнародних зв'язків. Авіаційний транспорт в більшій мірі доцільний при перевезеннях пасажирів на далекі відстані. Технічна і комерційна швидкості перевезення авіаційним транспортом значно вище швидкості інших видів транспорту.

Основною перевагою повітряного транспорту в пасажирських перевезеннях є:

1. Швидкість доставки пасажирів, яка є високою, гарний комфорт проїзду в рухомому складі.

2. Маневреність в організації пасажирських перевезень. Нові повітряні лінії можуть створюватися в короткі терміни і з невеликими капіталовкладеннями. Авіаційний транспорт має можливість маневрувати рухомим складом (літаками, гелікоптерами) в залежності від обсягу пасажиропотоків.

4. Відстані повітряних маршрутів в порівнянні з маршрутами на інших видах транспорту є найкоротшими. Так, шлях проходження авіаційним транспортом коротше, ніж по залізниці, на 25%, морськими і річковими лініями - майже на 50%. Між деякими пунктами відстань перевезення скорочується в 2-3 рази.

5. Економія часу пасажирів.

6. Дуже гарна культура обслуговування пасажирів під час польотів.

До особливостей повітряного транспорту відноситься висока собівартість перевезень.

Повітряний транспорт є, в цілому, пасажирським транспортом. Вантажні перевезення повітряним транспортом, в загальному обсязі вантажообігу займають незначну питому вагу, проте особливий характер і цінність таких перевезень по деяким специфічним вантажам роблять їх економічно ефективними. У цивільній авіації використовуються і гелікоптери, які використовуються в багатьох галузях господарства, будівництві, сільському господарстві, геології та т. і. Гелікоптерами також доставляються і встановлюються опори для високовольтних електричних ліній, контактної мережі і електричних залізниць, ліній зв'язку, радіорелейних щогл [6].

Специфічні особливості різних видів транспорту визначають сфери їх доцільного використання.

Економічні показники вантажоперевезень тим чи іншим видом транспорту залежать від багатьох факторів.

З огляду на виробничі умови, можна визначити сфери доцільного використання різних видів транспорту з точки зору забезпечення якості послуг.

Отже, головними факторами, що визначають сферу використання того чи іншого виду транспорту, є:

-зв'язок шляхів сполучення різних видів транспорту з населеними пунктами;

- пропускна здатність, пасажиро- і вантажопотоків;

- швидкість доставки пасажирів (вантажів).

Доцільне використання транспорту дозволить підвищити рівень якості транспортних послуг.

Висновки. У підсумку можна стверджувати, що якість транспортних послуг є комплексним поняттям. Послуги транспорту належать до послуг, завершальних і (або) передують процесу матеріального виробництва. Наприклад, переміщення готової продукції з заводу-виготовлювача в пункт призначення для її подальшої реалізації споживачам відноситься до завершальних послуг (процес матеріального виробництва). Доставка сировини з місць видобутку на комбінат для переробки його в готову продукцію або напівфабрикати відноситься до послуг, що передують процесу матеріального виробництва.

Послуги не можна зберігати і накопичувати. Це змушує підприємства в сфері послуг при нерівномірному попиті створювати запаси виробничих потужностей, тоді як підприємства у виробничій сфері можуть створювати запаси продукції на складах, що дешевше. Якщо ж послуга не надається в період зниження попиту, то виробничі потужності простоюють, втрачається прибуток. Підприємству в сфері послуг доводиться створювати резерви виробничих потужностей, щоб не втратити клієнтів, яких не можна буде обслужити в періоди максимального попиту.

Продаж послуг - це фактичний продаж самого процесу праці, тому якість послуг визначається якістю цього процесу.

Література

1. Аксьонов В. І. Спільне планування і прогнозування на транспорті. - М.: Транспорт, 2006.
2. Ансофф І. Нова корпоративна стратегія / 3. Д. Макдоннелл (за сприяння). - СПб: 2009.
3. Ансофф І. Стратегічне управління. - М.: Економіка 2009.
4. Білошапка В. А., Загорій Г. В. Стратегічне управління: принципи і міжнародна практика. - Підручник / За ред. В. А. Білошапки. - М.: Економіка, 2008.
5. Портер М. Міжнародна конкуренція. - М.: «МЗО», 2013
6. Кремнев Г. Р. Управление производительностью и качеством: 17-модульная программа для менеджеров «Управление развитием организации». - М.: «ИНФРА-М», 2019.
7. Кинг У., Клиланд Д. Стратегическое планирование и хозяйственная политика. - М.: Прогресс, 2012.
8. Минцберг Г., Альетрзнд Б., Лзмнел Дж. Школы стратегий. Пер. с англ. - СПб. Питер, 2000.
9. Kirichenko I.O. Quality management in road transport organizations / Kirichenko I.., Kuzmenko N., Klochkov A., Korytnyk S.. // Збірник наукових праць науково-практичної конференції ≪Логістичне управління та безпека руху на транспорті≫, 1-2 грудня 2020 р. – с.51 -55.

10. Kirichenko I.O. Licensing for road transport/ Kirichenko I., Kuzmenko N., Melnyk I., Metlina E. // Збірник наукових праць науково-практичної конференції ≪Логістичне управління та безпека руху на транспорті≫, 1-2 грудня 2020 р. – с.55 -58.

R e f e r e n c e s

1. Aksonov VI Joint planning and forecasting in transport. - M .: Transport, 2006.
2. Ansoff I. New corporate strategy / 3. D. McDonnell (assisted). - СПб: 2009.
3. Ansoff I. Strategic management. - Moscow: Economics 2009.
4. Biloshapka VA, Zagoriy GV Strategic management: principles and international practice. - Textbook / Ed. VA White caps. - Moscow: Economics, 2008.
5. Porter M. International competition. - M.: "MLO", 2013.
6. Kremnev G. R. Performance and quality management: 17-module program for managers “Organization development management”. - M .: "INFRA-M", 2019.
7. King W., Cleland D. Strategic planning and economic policy. - M .: Progress, 2012.
8. Minzberg G., Aletrznd B., Lzmnel J. School of Strategies. Per. with English - СПб. Peter, 2000.
9. Kirichenko IO Quality management in road transport organizations / Kirichenko I ., Kuzmenko N., Klochkov A., Korytnyk S // Proceedings of the scientific-practical conference "Logistics management and traffic safety", 1-2 December 2020 - pp.51 -55
10. Kirichenko IO Licensing for road transport / Kirichenko I., Kuzmenko N., Melnyk I., Metlina E. // Proceedings of the scientific-practical conference ≪Logistics management and traffic safety, 1-2 December 2020 - pp.55 -58

Kyrychenko I.O., Kuzmenko N.M., Vodolazskyi O.O. Quality of transportation services on different types of transport.

The article is devoted to the topical issue of providing quality transport services by various modes of transport. The paper considers the search for optimal solutions for the effective development of the required volume of traffic with minimal resource costs. This is an important and topical issue for the recovery of our country's economy. The analysis of the main technical and economic features of railway transport, sea transport, river transport, air transport, road transport is carried out in the work. The processes of integration in the modern conditions of development of the world community are objectively irreversible, so the modern concept of quality management of transport services in achieving all goals and objectives of enterprises and organizations provides its mandatory priority among other areas of management.

Based on the analysis, a proposal was made that the quality of transport services is a complex concept. Transport services are services that complete and (or) precede the process of material production. For example, the transfer of finished products from the factory to the destination for its further sale to consumers refers to the final services (the process of material production). Delivery of raw materials from production sites to the plant for processing into finished products or semi-finished products refers to the services preceding the process of material production.

Methods for optimizing the logistics chain at transport hubs based on the formalization of the interaction of various modes of transport are considered, which can reduce the costs of delivery, warehousing, information flow management and, thus, the transport component of the cost of products as a whole, thereby ensuring the uniformity of transport services for customers. Taking into account the alternative and multilevel nature of the definition of strategy, as the basis for the implementation of strategic management and strategic planning, the article discusses a general algorithm for developing a strategy, taking into account the factors of quality assurance. The key and, at the same time, rather difficult task in the presented algorithm is the stage of choosing a strategy, for which it is recommended to use the basic provisions of the systematic approach to logistics.

Keywords: *quality of transport services, railway transport, road transport, sea transport, river transport, air transport.*

Кириченко Ірина Олексіївна – д.т.н., професор кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, e-mail: i_kir@ukr.net
Кузьменко Наталія Миколаївна – к.т.н., доцент СНУ ім. В. Даля, e-mail: n_kuzm@ukr.net
Водолазський Олексій Олександрович – сарший викладач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля,
e-mail: alexey.vodolazskyy@gmail.com

Стаття подана 20.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-66-71

УДК 656.2:658.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

Клюєв С.О., Юров Б.В.

RESEARCH OF TRANSPORT LOGISTICS TRANSFORMATION IN UKRAINE IN THE CONDITIONS OF INDUSTRY 4.0

Kliuiev S.O., Yurov B.V.

В статті розглянуті основні елементи майбутньої модернізації транспортної логістики: розумний рухомий склад, безпілотні транспортні засоби, розподілені реєстри, технології 3D-друку й Інтернету речей. Наведено огляд Індустрії 4.0, її характерні риси та очікування від її впровадження. Досліджено зміни, які можуть статися із основними складовими частинами логістики в Індустрії 4.0: матеріальним потоком, логістичною операцією, логістичною функцією, логістичним ланцюгом постачання, логістичною мережею, логістичною системою. Показано, що в Індустрії 4.0 в логістичному ланцюгу поставок зменшиться кількість можливих напрямів протікання матеріального потоку, а продукція одразу після її виготовлення буде відправлятися покупцю.

Ключові слова: *транспортна логістика, Індустрія 4.0, логістичний ланцюг поставок, хмарні сервіси, рівні логістики.*

Вступ. Великий вплив на сучасну логістику надають процеси глобалізації та інтернаціоналізації. І, в свою чергу, саме розвиток і вдосконалення логістики робить можливим розширення процесів глобалізації.

Глобалізація і розвиток міжнародної торгівлі дозволили розміщувати виробництва в країнах з доступом до більш дешевих ресурсів, більш дешевою робочою силою, меншими ставками податків, місцевими ресурсами. Ці фактори сприяли розвитку ТНК (транснаціональних корпорацій), що використовують в бізнесі глобальні логістичні ланцюги і канали поставок, які стають все складніше і вимагають все більш кваліфікованого і комплексного управління [1].

Важливий тренд – інтегрований підхід до оптимізації діяльності всіх учасників ланцюга поставок відповідно до загальної кінцевою метою - якісне задоволення споживача, на відміну від оптимізації локальних функцій кожного учасника ланцюжка.

Ще один тренд сучасної транспортної логістики – зростання ролі логістичних посередників, які беруть на себе відповідальність за виконання більшості операцій, пов'язаних з організацією та управлінням логістичним ланцюгом поставок компанії. Залежно від ступеня залученості такі логістичні оператори 2PL (Second Party Logistics), 3PL (Third Party Logistics) і 4 PL (Fourth Party Logistics) користуються зростаючим попитом на логістичні послуги. Найбільш затребувані вони в сфері високих технологій (16%), промислового виробництва (13%) і виробництва продовольчих товарів (13%), а лідерами з використання 3PL-аутсорсингу є Північна Америка (29%) і Європа (27%) [1].

Еволюція логістики тісно пов'язана з впровадженням інформаційних технологій. Впровадження електронного документообігу (EDI) дозволяє описати окремі компоненти товарно-транспортних документів у вигляді набору електронних символів [2].

Постановка проблеми. Зараз взаємодія між машинами дістала такого розвитку, що фахівці та науковці розвинутих країн світу говорять про початок Четвертої промислової революції, так звану Індустрію 4.0. Усі фізичні об'єкти мають обмінюватись інформацією між собою без безпосереднього залучення до цього людини. Згідно з основними засадами Індустрії 4.0 виробниче устаткування та продукція, яка виготовляється за його допомогою, є активними системними компонентами, що керують своїми логістичними та виробничими процесами.

У зв’язку з впровадженням Індустрії 4.0 найістотніших змін зазнає транспортна логістика, яка потребує досліджень з адаптації до змін у світі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В кінці 90-х років 20 століття в США, Європі і Японії з'явилася і почала бурхливо розвиватися концепція управління ланцюгами поставок або SCM (Supply Chain Management). Ця концепція інтегрованої логістики, яка розглядає всі процеси і всіх учасників ла-

нцюга поставок в сукупності стає вирішальним фактором забезпечення конкурентоспроможності. Посилення співпраці організацій, що входять в ланцюг поставок, стає однією з головних тенденцій сучасного бізнесу [3].

Завдяки індустрії 4.0 можливо пришвидшити та оптимізувати логістичні процеси в контексті логістичного ланцюга поставок [4, 5].

Разом із терміном "Індустрія 4.0" часто зустрічається термін "Логістика 4.0" [6]. IoT (Internet of things) надає можливість ефективно управляти логістичним ланцюгом постачання [7].

IoE (Internet of Everything) може бути достатньо корисним: моніторинг умов перевезення вантажів; оптимізація розкладів; диспетчери можуть отримувати в реальному часі інформацію про стан транспортного засобу і при виявлені потенційних проблем одразу повідомляти за допомогою IoE [8].

Інформаційні технології в транспортній логістиці потребують нових інструментів обробки інформації для прийняття оптимальних рішень в управлінні транспортними системами [9, 10].

Метою роботи є дослідження інновацій в транспортній логістиці України пов'язаних з впровадженням Індустрії 4.0 та цифровізації підприємств.

Основний зміст. Виконано аналіз статистики розвитку логістики в Україні та порівняно її з іншими країнами світу [11].

Згідно з даними перші місця в період 2012-2016 року займають країни Західної Європи (Німеччина, Люксембург, Нідерланди, Бельгія) а також Сінгапур, Гонконг, Швеція та Фінляндія.

Станом на 2016 рік. Китай посідає 27-ме місце (у 2014 році Китай посідав 26-те місце), Індія – 35-те (у 2014 році – 16-те). Найгірший показник ефективності мають Сомалі, Гаїті та Сирія.

Найближчі сусіди України, Польща, Білорусь та Росія займають 33-тє, 120-те та 99-те відповідно.

І хоч Україна займає не останнє місце в цій таблиці, рівень української логістичної інфраструктури залишає бажати кращого.

Покращити ситуацію української інфраструктури зможе тільки запровадження Індустрії 4.0, яку вже почали запроваджувати в низці країн світу і яка виводить ці країни на новий рівень розвитку.

Зараз ми стоїмо на порозі Четвертої промислової революції або, як її ще називають, Індустрії 4.0. Четверта промислова революція передбачає цифровізацію всіх підприємств та створення єдиної системи, що відкриває зовсім інші новіші можливості.

Одна з таких сучасних систем є хмарні сервіси.

Хмарні сервіси – технологія розподіленої обробки даних, в якій комп'ютерні ресурси і потужності надаються користувачеві як інтернет-сервіс. Хмарний сервіс дає особливу клієнт-серверну технологію використання клієнтом ресурсів (процесорний час, оперативна пам'ять, дисковий простір, мережеві канали, спеціалізовані контролери, програмне забезпечення і т.д.) групи серверів в мережі, взаємодіючих таким чином, що для клієнта вся група виглядає як єдиний віртуальний сервер, а також клієнт може прозоро і з високою гнучкістю змінювати обсяги споживаних ресурсів в разі зміни своїх потреб.

Переваги: доступність, низька вартість використання цього сервісу, надійність. Також це можливість для розробки і впровадження унікальних продуктів і послуг, реалізації яких раніше перешкоджали технологічні, економічні, географічні обмеження.

Недоліки: необхідне стабільне і надійне підключення до інтернету, не завжди безпечно зберігати інформацію в «хмарі».

Хмарні сервіси значно знижують витрати в логістиці, збільшують продуктивність роботи менеджерів. Також, відкривається низка нових можливостей, а саме:

- відкритість інформації для споживачів, можливість реалізувати персоналізований підхід в інформаційній логістиці;
- збільшення обсягів даних;
- гнучкість структури ланцюга поставок, або здатність швидко і без втрат адаптуватися до зміненим руху і структурі ланцюга поставки.

Практичне застосування дані сервіси отримали в США, Європі і Бразилії. В Україні ця ніша недостатньо заповнена, чому, на думку авторів та інших експертів, є ряд причин. Основний з них є така особливість вітчизняного ринку як особисті контакти відповідальних осіб у сфері маркетингу і логістики - немає довіри неперевіреними контрагентам, що може вплинути на збут і параметри постачання - обсяги, час і ін.

Підприємства почнуть виготовляти персоналізовану продукцію, тобто згідно з побажаннями самого споживача. Наприклад, зараз виробник отримує сировину від постачальника і виготовляє продукцію, яку зберігає на складі. Потім зі складу виготовлену продукцію доставляють у магазини, звідки споживач вже купує цю продукцію (рис. 1).

При Індустрії 4.0 споживач за допомогою інтернету зможе замовити у самого виробника саме таку продукцію, яку він бажає. Виготовлену продукцію споживач зможе отримати від виробника, оминаючи магазини, що значно зекономить час отримання продукції від виробника споживачем. Завдяки цьому підвищиться напруженість матеріального потоку, а потужність залишиться на своєму рівні або, навіть, підвищиться (рис. 2).

Також неабиякого розвитку надасть поділ компаній на логістичні рівні, що вже запроваджено в розвинутих країнах. Відокремлюють такі рівні логістики [12], [13]:

- 1PL – система, під час якої всі операції виконує сама фірма-вантажовідправник.
- 2PL – система, що дозволяє показати спектр традиційних послуг за транспортуванням та складуванням товару.
- 3PL – система додаткових послуг, що включає як традиційне складування, так і проміжне зберігання (так зване перехресне стикування) вантажів, а також проектування та розробку інформаційних систем, використання послуг субпідрядників.

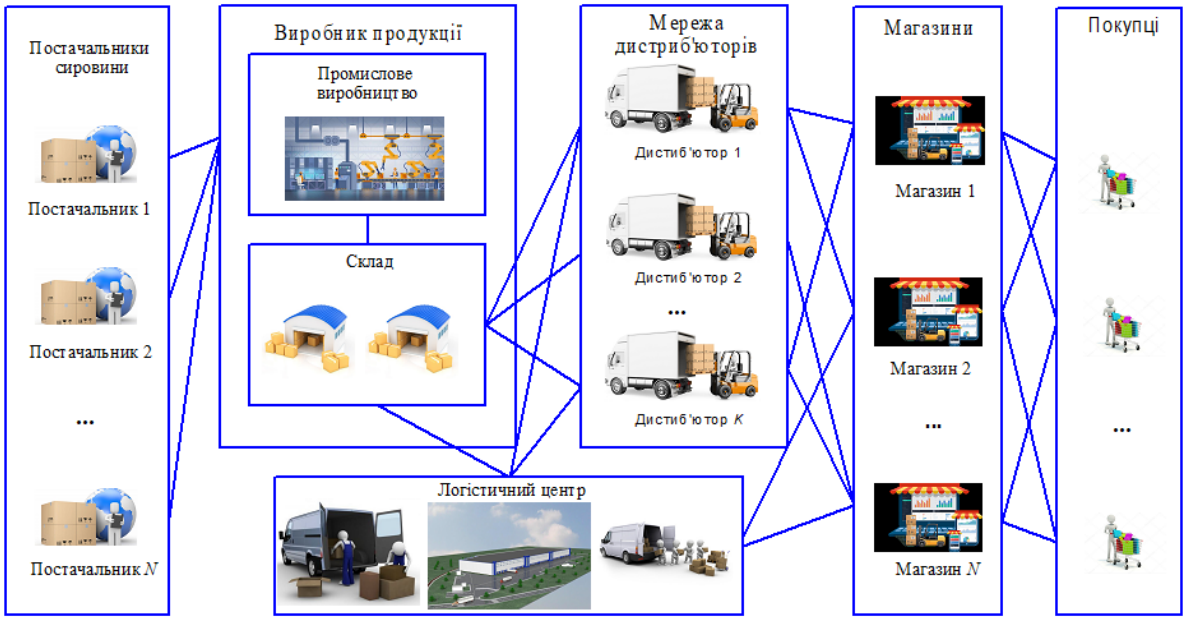


Рис. 1. Схема логістичного ланцюга поставок товарів, яка діє зараз

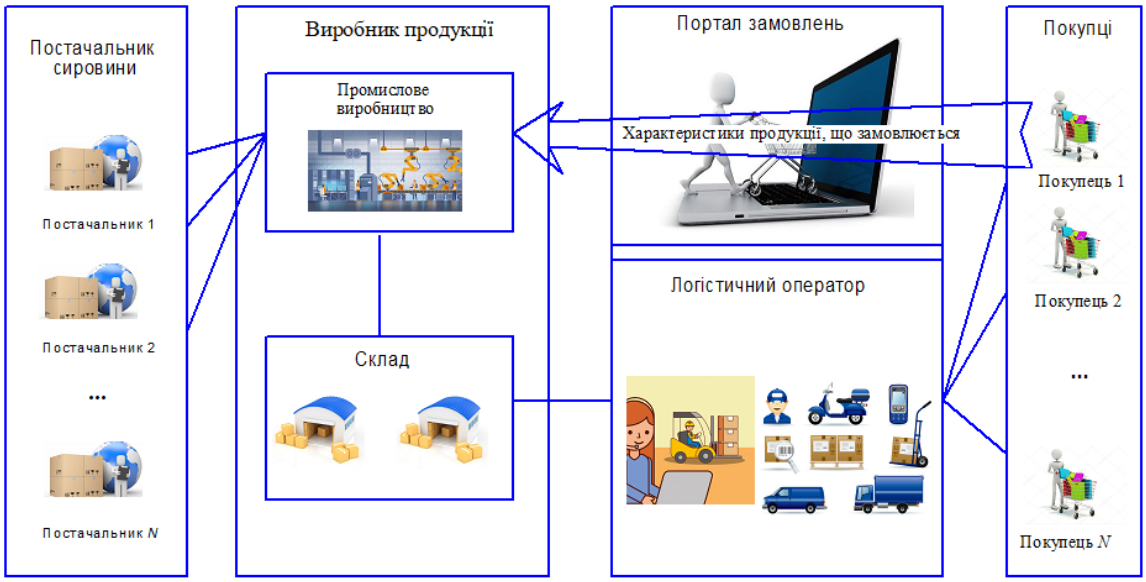


Рис. 2. Схема логістичного ланцюга поставок в Індустрії 4.0

- 4PL – система, що передбачає злиття функцій усіх організацій, що навчаються в процесах поставок продукції.

- 5PL – система, що представляє собою так звану Інтернет-логістику – це планування, підготовка, управління та контроль за всіма складовими єдиної ціпової групи транспортування вантажів за допомогою електронних засобів інформації.

Досить ймовірне створення операторів 6PL рівня, коли оператор буде використовувати всі розробки технічного прогресу такі, як: Промисловий IoT; віртуальна реальність; Clouds; кібербезпека; BigData та їх аналіз. Також досить можлива поява абсолютно незалежних від людини виробництв. Будуть з'являтись і 7PL оператори, і 8PL, і так далі.

Ключовим аспектом розвитку потенціалу України виступає інформаційне забезпечення транзитної привабливості країни шляхом впровадження сучасних IT-технологій супроводу транспортних і логістичних процесів та інших систем інформатизації. У логістичних центрах повинна пропонуватися найбільш передова IT-інфраструктура і рішення, відсутність яких є бар'єром при обробці міжнародних вантажопотоків. Сюди відносяться інтелектуальні транспортні системи на основі передових технологій, тобто EDI (Electronic data interchange), комунікаційні та інформаційні системи (рис. 3).

Для забезпечення чітко організованої системи обміну інформацією необхідно впровадження високошвидкісних засобів передачі даних. Система EDI є інноваційною технологією для подібної комунікації.

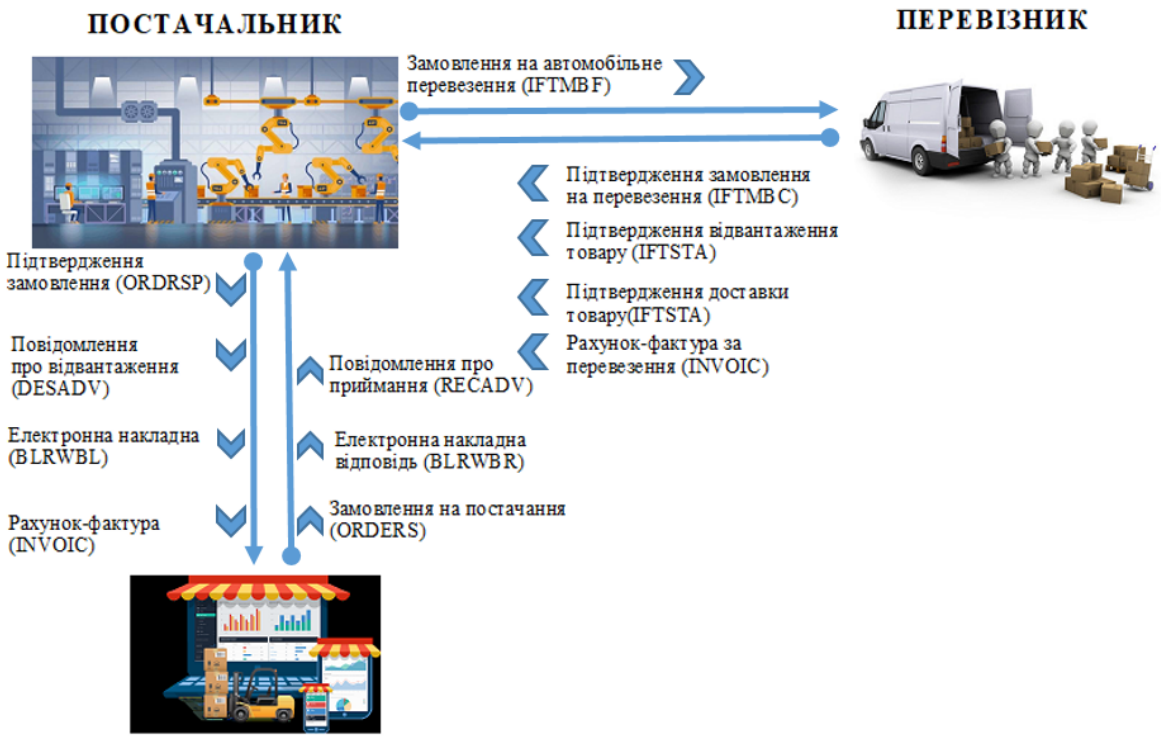


Рис. 3. Варіант схеми реалізації функціонування системи EDI

Зручність використання електронного обміну даними полягає в тому, що EDI має комунікаційну основу, до якої кожен клієнт (автомобільний перевізник, логістичний провайдер і ін.) підключається одноразово і набуває майже необмежену можливість спілкуватися з іншими учасниками міжнародного ланцюга поставок, незважаючи на особливості їх облікових систем, документообігу, кваліфікації персоналу і т.д.

Крім того, сприяти розвитку логістики вантажів на території країни можуть розширення використання в сфері транспортно-експедиційного обслуговування систем штрихового кодування GS1 і радіочастотної ідентифікації RFID, а також забезпечення включення транспорту в глобальну логістичну систему шляхом використання геоінформаційних систем і систем глобального позиціонування (зокрема, GPS і ГЛОНАСС) [14].

Але, в будь якому випадку, щоб запровадити вище перечисленні нововведення, необхідно оцінювати свої сильні та слабкі сторони в контексті глобальних змін; визначити нову стратегію, опираючись на нову інформацію; отримати практичний досвід наукових та технологічних знань.

Висновок. Індустрія 4.0 (або Четверта промислова революція) набуває широкого впровадження в розвинутих країнах. Необхідно вже планувати бізнес-процеси з урахуванням впровадження Індустрії 4.0 в Україні. Найістотніших змін зазнає транспортна логістика. В цій статті визначено зміни, які стануться зі складовими частинами транспортної логістики. Наведено логістичний ланцюг поставок товарів в Індустрії 4.0 та за нинішніх умов. Виконано поділ компаній, що надають логістичні послуги, на операторів різного рівня логістики. Використання 3D принтерів зменшить вартість готової продукції, але не досліджене питання корисності для економіки в цілому.

Важливим сучасним світовим трендом у розвитку логістики є зростання частки прямих поставок від виробника до споживача, без зберігання та посередників. Пряма доставка дозволяє економити, скорочуючи обсяги запасів.

Література

1. Клюєв С.О. Сприятливі фактори і очікувані ефекти автоматизації та впровадження індустрії 4.0 на автомобільному транспорті / С.О. Клюєв, Я.А. Молодцов // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених., 1-2 грудня 2020 р., м. Рубіжне (Луганська обл.) – Міністерство освіти та науки України, СНУ ім. В. Даля. – Сєвєродонецьк. – 2020. – С. 73–76.
2. Клюєв С.О. Забезпечення безпеки залізничного транспорту в умовах цифровізації / С.О. Клюєв // Вісник СНУ ім. В. Даля. – Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля. – 2020. – Вип. № 5 (261). – С.14–18.
3. Scheer A.W. Industry 4.0: From vision to implementation [Електронний ресурс] / A.W. Scheer // Whitepaper. – № 9. – August 2015. – Режим доступу: http://awsinstitut.de/wpcontent/uploads/2016/02/ AWS-cheer_Whitepaper5_Industry40EN.pdf.
4. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond [Електронний ресурс] / K. Schwab // Foreign Affairs. – December 12, 2015. –

Режим доступу: https://www.foreignaffairs.com/articles/ 20151212/fourthindustrialrevolution.
5. Macaulay J. Internet of Things in Logistics: A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry [Електронний ресурс] / J. Macaulay, L. Buckalew, G. Chung, M. Kuckelhaus // DHL Trend Research, Cisco Consulting Services. – 2015. – Режим доступу: http://www.dhl.com/content/dam/Local_Images/g0/New_aboutus/innovation/DHLTrendReport_Internet_of_things.pdf.
6. Hulsmann T. Logistics 4.0 and The Internet of Things [Електронний ресурс] / T.Hulsmann // Workshop "Platforms for connected Factories of the Future". – Brussels. – 5 – 6 October. – 2015. – Режим доступу: http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/ image/document/201544/8_huelsmann_11945.pdf.
7. Kliuiev S. Information systems application for managing reliability, security, risks and resources in road transport / S. Kliuiev, S. Pshenychnyi // Theses of international scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects”. – The Ministry of education and science of Ukraine, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – Severodonetsk. – 2020. – P. 51–53.
8. Field A. Logistics get a lot smarter [Електронний ресурс] / A. Field. – October. – 19. – 2015. – Режим доступу: http://newsroom.cisco.com/featurecontent? articleId=1722112
9. Schroder M. Industry 4.0 And Its Impact On Supply Chain Risk Management [Електронний ресурс] / M. Schro der, M. Indorf, W. Kersten // 14th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat)". – Riga, 15 – 18 October 2014. – Режим доступу: http://www.tsi.lv/sites/default/files/editor/science/ Conferences/RelStat14/schroeder_indorf_kersten.pdf.
10. Григорак М.Ю. Теоретичні положення інтелек туально зорієнтованої логістики / М.Ю. Григорак // Бізнес Інформ. – 2015. – №2. – С. 20 – 29.
11. Офіційний сайт Світового банку (The World Bank). LPI Report. Режим доступу: https://lpi.worldbank.org/.
12. Горбенко О.В. Логістика: навч. посіб. / О.В. Горбенко. – К.: Знання, 2014. – 315 с.
13. Крикавський Є.В. Логістичні системи: навч. посібник / Є.В. Крикавський, Н.В. Чорнописька. – 2_ге вид., доп. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 312 с.
14. Клюєв С.О. Аналіз методів ідентифікації залізничного рухомого складу / С.О. Клюєв // Вісник СНУ ім. В. Даля. – Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля. – 2017. – Вип. № 3 (233). – С.85–89.

References

1. Kliuiev S.O. Spryiatlyvi faktory i ochikuvani efekty avtomatyzatsii ta vprovadzhennia industrii 4.0 na avtomobilnomu transporti / S.O. Kliuiev, Ya.A. Molodtsov // Lohistychne upravlinnia ta bezpeka rukhu na transporti: zbirnyk naukovykh prats naukovo-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity ta molodykh vchenykh., 1-2 hrudnia 2020 r., m. Rubizhne (Luhanska obl.) – Ministerstvo osvity ta nauky Ukrainy, SNU im. V. Dalia. – Sievierodonetsk. – 2020. – S. 73–76.
2. Kliuiev S.O. Zabezpechennia bezpeky zaliznychnoho transportu v umovakh tsyfrovizatsii / S.O. Kliuiev // Visnyk SNU im. V. Dalia. – Severodonetsk: CNU im. V. Dalia. – 2020. – Vyp. № 5 (261). – S.14–18.
3. Scheer A.W. Industry 4.0: From vision to implementation [Elektronnyi resurs] / A.W. Scheer // Whitepaper. – № 9. – August 2015. – Rezhym dostupu: http://awsinstitut.de/wpcontent/uploads/2016/02/ AWS-cheer_Whitepaper5_Industry40EN.pdf.
4. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond [Elektronnyi resurs] / K. Schwab // Foreign Affairs. – December 12, 2015. – Rezhym dostupu: https://www.foreignaffairs.com/articles/ 20151212/fourthindustrialrevolution.
5. Macaulay J. Internet of Things in Logistics: A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry [Elektronnyi resurs] / J. Macaulay, L. Buckalew, G. Chung, M. Kuckelhaus // DHL Trend Research, Cisco Consulting Services. – 2015. – Rezhym dostupu: http://www.dhl.com/content/dam/Local_Images/g0/New_aboutus/innovation/DHLTrendReport_Internet_of_things.pdf.
6. Hulsmann T. Logistics 4.0 and The Internet of Things [Elektronnyi resurs] / T. Hulsmann // Workshop "Platforms for connected Factories of the Future". – Brussels. – 5 – 6 October. – 2015. – Rezhym dostupu: http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/ image/document/201544/8_huelsmann_11945.pdf.
7. Kliuiev S. Information systems application for managing re-liability, security, risks and resources in road transport / S. Kliuiev, S. Pshenychnyi // Theses of international scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects”. – The Ministry of education and science of Ukraine, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – Severodonetsk. – 2020. – P. 51–53.
8. Field A. Logistics get a lot smarter [Elektronnyi resurs] / A. Field. – October. – 19. – 2015. – Rezhym dostupu: http://newsroom.cisco.com/featurecontent? articleId=1722112.
9. Schroder M. Industry 4.0 And Its Impact On Supply Chain Risk Management [Elektronnyi resurs] / M. Schroder, M. Indorf, W. Kersten // 14th International Conference “Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat)”. – Riga, 15 – 18 October 2014. – Rezhym dostupu: http://www.tsi.lv/sites/default/files/editor/science/ Conferences/RelStat14/schroeder_indorf_kersten.pdf.
10. Hryhorak M.Iu. Teoretychni polozhennia intelek tualno zoriientovanoi lohistyky / M.Iu. Hryhorak // Biznes Inform. – 2015. – №2. – C. 20 – 29.
11. Ofitsiinyi sait Cvitovoho banku (The World Bank). LPI Report. Rezhym dostupu: https://lpi.worldbank.org/.
12. Horbenko O.V. Lohistyka: navch. posib. / O.V. Horbenko. – K.: Znannia, 2014. – 315 s.
13. Krykavskyi Ye.V. Lohistychni systemy: navch. posibnyk / Ye.V. Krykavskyi, N.V. Chornopyska. – 2_he vyd., dop. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2012. – 312 s.
14. Kliuiev S.O. Analiz metodiv identyfikatsii zaliznychnoho rukhomoho skladu / S.O. Kliuiev // Visnyk SNU im. V. Dalia. – Severodonetsk: SNU im. V. Dalia. – 2017. – Vyp. № 3 (233). – S.85–89.

Kliuiev S.O., Yurov B.V. Research of transport logistics transformation in Ukraine in the conditions of Industry 4.0.

The article considers the main elements of the future modernization of transport logistics: smart rolling stock, unmanned vehicles, distributed registers, 3D printing technologies and the Internet of Things. An overview of Industry 4.0, its characteristics and expectations from its implementation is given. The changes that can occur with the main components of logistics in Industry 4.0 are studied: material flow, logistics operation, logistics function, logistics supply chain, logistics network, logistics system. It is shown that in Industry 4.0 in the logistics supply chain the number of possible directions of material flow will decrease, and products will be sent to the buyer immediately after its manufacture.

Industry 4.0 (or the Fourth Industrial Revolution) is gaining ground in developed countries. It is already necessary to plan the business processes of both the individual company and its partners, as well as their relationships, taking into account the implementation of Industry 4.0 in Ukraine. Transport logistics is undergoing the most significant changes. This article identifies the changes that will occur with the components of transport logistics: logistics supply chain, logistics system, logistics network, logistics operation, logistics function, material flow. The logistic supply chain of goods in Industry 4.0 and under current conditions is given. The division of companies providing logistics services into operators of different levels of logistics has been performed. The use of 3D printers will reduce the cost of finished products, but the question of utility for the economy as a whole has not been studied.

The application of new technologies has a significant impact on the transport and logistics industry in several factors. Which reduces costs and delivery time. Also, it allows you to focus on solving strategic problems in the functioning and development of enterprises, to identify additional competitive opportunities and reserves to increase profitability.

In addition, the expansion of the use of GS1 bar coding and RFID identification systems in the field of freight forwarding services, as well as the inclusion of transport in the global logistics system through the use of geographic information systems and global positioning systems (in particular, GPS and GLONASS).

Keywords: *transport logistics, Industry 4.0, supply chain logistics, cloud services, logistics levels.*

Клюєв Сергій Олександрович – к.т.н., доц. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк, e-mail: sergistreet@gmail.com.

Юров Богдан Віталійович – здобувач вищої освіти групи ОПАТ-19д, кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк, e-mail: bogdan.yurov@ukr.net.

Стаття подана 11.05.2021 .

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-72-75

УДК 629.4.015:629.464.43

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ВАГОНІВ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Кошель О.О., Сапронова С.Ю.

RESEARCH OF MALFUNCTIONS OF SPECIAL ROLLING STOCK IN OPERATION

Koshel O.O., Sapronova S.Yu.

В статті представлено дослідження несправностей спеціального рухомого складу в експлуатації. Виявлено основні групи несправностей вагонів спеціалізованого рухомого складу. Здійснено аналіз несправностей спеціального рухомого складу за кодами груп та за даними технічного обслуговування. Найбільша кількість несправностей припадає на несучі конструкції (рама та кузов вагона), колісні пари. Така ситуація свідчить про необхідність розробки проєктів модернізації для несучих конструкцій, які вже вичерпали призначений термін служби, адже діюча ремонтна документація не передбачає усунення таких дефектів. Проведені дослідження сприятимуть попередженню передвчасного виходу з ладу елементів спеціального рухомого складу в експлуатації.

Ключові слова: *несправності, відмови, експлуатація, спеціальний рухомий склад.*

Вступ. Думпкари (самоскиди) (ДВ) та вагони хопер-дозатори (ХДВ) (далі – спеціальний рухомий склад) здебільшого використовуються в колійному господарстві та враховуючи свою специфіку мають сезонне використання. Станом на 01.05.2021 року приписний парк вагонів хопер-дозаторів складає 1454 одиниці, середній вік вагонів становить 44 роки, при нормативному терміні служби 25 років та середньому зносі 98,00%. Думпкари (самоскиди) налічують 942 одиниць, середній вік яких становить 35 років, при нормативному терміні служби 22 роки та середньому зносі 100,00%. Аналіз наведених даних свідчить про фізичне та моральне зношення парку вагонів спеціального рухомого складу, що в свою чергу негативно впливає на безвідмовність роботи його вузлів та може призвести до виникнення затримок в перевізному процесі та утриманні інфраструктури в належному стані.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження експлуатаційних відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна проведено в роботі [5], за результатами якого визначено основні групи відмов вагонів. В публікації [7] описані методологічні підходи до визначення відмов та терміну служби вантажного вагона за критерієм безпеки, розглянуто класифікації відмов, несправностей та пошкоджень вантажних вагонів. В роботі [8] зроблено наліз відмов, які обумовлюють відчеплення в поточний ремонт пасажирських вагонів, отримано результати, які дозволили визначити проблемні вузли пасажирського вагона, які потребують вдосконалення.

Аналіз досліджень свідчить про їх незначну кількість з даного питання.

Мета статті полягає у дослідженні несправностей вузлів парку вагонів спеціального рухомого складу АТ «Укрзалізниця» в експлуатації, для чого необхідно вирішити наступні задачі:

- виявлення основних груп несправностей вагонів спеціалізованого рухомого складу;
- аналіз несправностей спеціального рухомого складу за кодами груп за даними технічного обслуговування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Несправність (відмова) – стан об’єкта, за яким він нездатний виконувати хоча б одну із заданих функцій [3].

Несправності вантажних вагонів розподіляються на наступні групи:

1 – несправність колісної пари; 2 – несправність візка; 3 – несправність автозчепного обладнання; 4 – несправність автогальмівного обладнання; 5 – несправність кузова вагона; 6 – несправність рами вагона; 8 – несправність кузова вагона, що веде до виключення вагона з інвентарного парка; 9 – службові коди, не пов’язані з технічним станом вагона [2].

Несправності вагонів відповідно до [4] в більшості випадків усуваються в ТО, ТОв-1 та ТОв-2. ТО – комплекс операцій з підтримання працездатності або справності вагона в сформованих або транзитних поїздах, а також порожнього вагону під час підготування до перевезень без його відчеплення від складу поїзда або групи вагонів. ТОв-1, ТОв-2 – технічне обслуговування вагона з відчепленням його

від складу поїзда або групи вагонів, переведенням його в неробочий парк. Ремонт виконують для забезпечення або відновлення працездатності вагона із заміною або відновленням окремих складових частин. Під час ТОв-1 виконують технічне обслуговування та ремонт порожнього вагона, з його відчепленням від складу або групи вагонів, для проведення комплексу операцій з підготовки вагона до перевезень. Під час ТОв-2 виконують технічне обслуговування та ремонт вагона з відчепленням від транзитних і прибулих до розформування поїздів або сформованих складів поїздів, для відновлення працездатності навантаженого або порожнього вагона.

Таблиця 1

Несправності спеціального рухомого складу за даними технічного обслуговування протягом останніх 60 діб

Код групи	Код та назва несправності	Загальна кількість, одиниць
1хх – колісна пара	102 – тонкий гребінь; 106 – повзун на поверхні кочення; 107 – вищербина ободу колеса; 109 – гострокінцевий накат гребеня; 111 – тонкий обід; 157 – нагрів підшипника в корпусі букси; 160 – прострочений строк середнього ремонту колісної пари	12
2хх – візок	218 – тріщина (злам) клину гасника коливань; 219 – завищення (заниження) фрикційного клину відносно опорної поверхні надресорної балки; 227 – ослаблення заклепок планки фрикційного гасителя коливань	7
3хх – автозчепне обладнання	302 – провисання автозчепу; 304 – тріщина корпусу автозчепу; 348 – несправність поглинаючого апарату; 363 – злам важеля розчіпного приводу	8
4хх – автогальмівне обладнання	403 – несправність повітророзподілювача; 443 – злам важелів та тяг гальмівної важільної передачі; 444 – зношування втулок тріангелю; 445 – заварювання башмаку	5
5хх – кузов	503 – обрив зварного шва стійки; 549 – несправність вантажно-розподілювального механізму спеціалізованих вагонів; 575 – дострокова постановка в капітальний ремонт за технічним станом	196
6хх – рама	616 – злом/тріщина проміжних стійок	3
8хх – несправність, що веде до виключення	-	0
9хх – службові коди	-	0

Вибірку несправностей парку спеціального рухомого складу власності АТ «Укрзалізниця» було сформовано відповідно інформаційної довідки ГІОЦ УЗ [1] за період з 02.03.2021 по 30.04.2021 (60 діб) та за результатами технічного діагностування головної наукової організації АТ «Укрзалізниця» за період з 2018 по 2020 року. Сформовані дані несправностей згідно довідки наведено в таблиці 1.

За результатами аналізу несправностей спеціального рухомого складу виконано розподіл за групами відповідно даних технічного обслуговування (рисунок 1). Коди груп несправностей відповідають наведеним у таблиці 1.

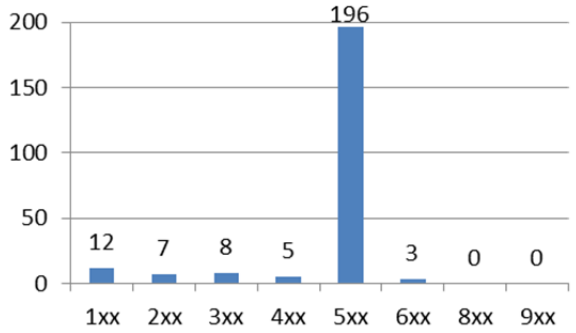


Рис. 1. Розподіл несправностей спеціального рухомого складу за кодами груп за даними технічного обслуговування

З 2396 вагонів спеціального рухомого складу за останні 60 діб, 231 вагон було відчеплено у позаплановий ремонт (ТОв-1, ТОв-2), що становить 9,6% від загального парку.

Аналіз несправностей спеціального рухомого складу за результатами технічного діагностування за період з 2018 до 2020 року наведено в таблиці 2. Загальна кількість вагонів спеціального рухомого складу, які було продіагностовано в зазначений період, склала 1581 одиниць. Під час технічного діагностування огляду підлягали тільки несучі конструкції вагонів. В зв'язку з цим до уваги було взято лише несправності груп 5, 6 та 8.

Таблиця 2

Несправності спеціального рухомого складу за даними технічного діагностування у період з 2018 по 2020 роки

Код групи	Код та назва несправності	Загальна кількість, од.
5 – кузов	503 – обрив зварного шва стійки; 549 – несправність вантажно-розподілювального механізму спеціалізованих вагонів	261
6 – рама	603 – тріщина в місці з'єднання шкворневої та хребтової балок; 609 – тріщина, яка переходить з горизонтальної на вертикальну полку балок; 616 – злом/тріщина проміжних стійок; 621 – тріщина кінцевої балки	223
8 – несправність, що веде до виключення	820 – несправність рами, яка веде до виключення	49

Аналіз несправностей спеціального рухомого складу з розподілом за кодами груп зображено на рисунку 2. Коди груп несправностей відповідають наведеним у таблиці 2.

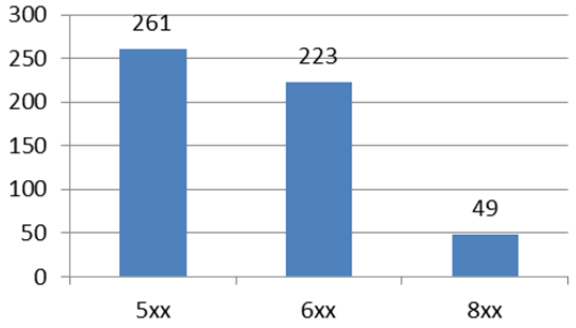


Рис. 2. Розподіл несправностей спеціального рухомого складу за кодами груп за даними технічного діагностування

З метою визначення вікового проміжку виникнення несправностей у спеціальному рухомому складі, ДВ та ХДВ було розподілено на 3 вікові групи:

1 – термін служби призначений заводом виготовлення (для ДВ від 0 до 22 років, для ХДВ від 0 до 25 років);

2 – після завершення терміну служби призначеного заводом виготовлення до полуторного терміну служби (для ДВ від 22 до 33 років, для ХДВ від 25 до 37,5 років);

3 – понад полуторний термін служби (для ДВ понад 33 роки, для ХДВ понад 37,5 років).

За отриманими результатами досліджень встановлено, що відповідно до інформації про технічне обслуговування понад 95% несправностей припадають на вагони, які відносяться до 2 вікової групи, а за результатами технічного діагностування до 3 вікової групи.

Висновки. Отримані результати дозволили визначити основні групи несправностей спеціального рухомого складу. Найбільша кількість несправностей припадає на несучі конструкції (рама та кузов вагона), колісні пари. Така ситуація свідчить про необхідність розробки проєктів модернізації для несучих конструкцій, які вже вичерпали призначений термін служби, адже діюча ремонтна документація не передбачає усунення таких дефектів.

Для змінних елементів спеціального рухомого складу слід застосовувати відповідні запобіжні заходи для попередження їх відмов в експлуатації.

Отримані результати дозволили визначити проблемні вузли спеціального рухомого складу при розробці заходів для підвищення надійності (вдосконалення конструкцій на стадії проєктування, підвищення якості технічного обслуговування та ремонту, впровадження сучасних методів контролю).

Література

1. Довідка ГІОЦ УЗ 2020 ВУ. Виконані ремонти за обраними критеріями [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://10.1.100.7.
2. Классификатор «Основные неисправности грузовых вагонов» (КЖА 2005 05). Москва, 2005. 16 с.
3. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. 92 с.
4. СТП 04-010:2018. Стандарт підприємства. Вагони вантажні. Система технічного обслуговування та ремонту за технічним станом. Київ, 2019. 29 с.
5. Петренко В.О., Гордієнко Т.М. Експлуатаційні відмови вагонів-хопері для перевезення зерна. Залізничний транспорт України. 2020. №1. С. 40-49.
6. Кошель, О.О., Сапронова, С.Ю., Буліч, Д.І., Ткаченко, В.П.. Визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технологія». 2020. №35. С. 14-23.
7. Болотин М.М., Воротников В.Г. Отказы и срок службы грузового вагона. Мир транспорта. 2012. №2. С. 152-161.
8. Мурадян, Л.А., Шапошник, В.Ю., Піценко, І.В., Подосьонов, Д.О., Дослідження несправностей пасажирських вагонів. Сучасний рух науки: тези доповідей IX міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 2-3 грудня 2019 р. – Дніпро. 2019. Т.2. С. 548-553.
9. Koshel, O., Sapronova, S., Bulich, D., Tkachenko, V. (2020). Determination of the Load-Bearing Metal Structures Residual Operation Time of the Ukraine Railway. Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020: Sustainability: Research and Solutions (September 30 - October 02 , 2020. Online Conference - Kaunas, Lithuania). Part I. 228-232.
10. ГОСТ 32192-2013. Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 35с.
11. ГОСТ 32884-2014. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт железнодорожного подвижного состава. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2019. 15с.

References

1. Dovidka GIOS UZ 2020 VU. Vykonani remonty za obranymy kryteriyamy Retrieved from: http://10.1.100.7.
2. Klassifikator «Osnovnyye neispravnosti gruzovykh vagonov» (KZHA 2005 05). Moskva, 2005. 16 s.
3. Reliability of technology. Terms and definitions. (1995). DSTU 2860-94 from 1 January 1996. Kyiv: Derzhstandart Ukraine. 33.
4. Standart pidpryyemstva Vahony vantazhni. Systema tekhnichnoho obsluhovuvannya ta remontu za tekhnichnym stanom. (2019) STP 04-010:2018. Kyiv: 2019. 29.
5. Petrenko, V.O., Hordiienko, T.M. Ekspluatatsiyni vidmovy vahoniv-khoperi dlya perevezennya zerna. Railway Transport of Ukraine. 2020. №1. P. 40-49.
6. Koshel, O.O., Sapronova, S.Yu., Bulich, D.I., Tkachenko, V.P. Vyznachennya zalyshkovoho resursu nesuchykh metalevykh konstruktsiy vahoniv khoper-dozatoriv ta dumpkariv (samoskydiv) na osnovi rezul′tativ tekhnichnoho diahnostuvannya ta typovykh vyprobuvan′. Collection of scientific works of the SUIT. Series «Transport Systems and Technologies». 2020. №35. P. 14-23.

7. Bolotin, M.M., Vorotnikov, V.G. Otkazy i srok sluzhby gruzovogo vagona. World of transport. 2012. №2. P. 152-161.
8. Muradian, L.A., Shaposhnyk, V.Yu., Pitsenko, I.V, Podosenov D.O. Doslidzhennya nespravnostey pasazhyrs′kykh vahoniv. The Modern Movement of Science: Abstracts of the IX International Scientific and Practical Internet Conference, 2-3 december 2019 – Dnipro. 2019. Part II. 548-553.
9. Koshel, O., Sapronova, S., Bulich, D., Tkachenko, V. (2020). Determination of the Load-Bearing Metal Structures Residual Operation Time of the Ukraine Railway. Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020: Sustainability: Research and Solutions (September 30 - October 02 , 2020. Online Conference - Kaunas, Lithuania). Part I. 228-232.
10. Dependability in railway technics. General concepts. Terms and definitions. (2016). GOST 32192-2013 from 1 July 2014. Moscow: Standartinform. 35.
11. Operation, maintenance and repair of railway rolling stock. Terms and definitions. (2019). GOST 32884-2014 from 1 May 2015. Moscow: Standartinform. 15.

Koshel O.O., Sapronova S.Yu. Research of defect in operation of cars the special rolling stock.

The article presents a study of malfunctions of special rolling stock in operation. The analysis of the fleet of special rolling stock was carried out and it was established that the wear of hopper doser wagons dispensers is 98.00%, and dumping wagons (dumpers) 100.00%. The analysis of the given data testifies to physical and moral wear of fleet of cars of special rolling stock. The main groups of malfunctions of special rolling stock cars have been identified, which in most cases can be eliminated during maintenance (MOT, MOT-1 or MOT-2). Faults of freight wagons are divided into the following groups: 1 - failure of the wheel pair; 2 - malfunction of the cart; 3 - malfunction of autocoupling equipment; 4 - malfunction of self-braking equipment; 5 - malfunction of the freight wagon body; 6 - malfunction of the freight wagon frame; 8 - malfunction of the freight wagon body, which leads to the exclusion of the freight wagon from the inventory; 9 - service codes not related to the technical condition of the freight wagon. The analysis of malfunctions of special rolling stock according to the codes of groups according to the information certificate of GIOS UZ for the period from 02.03.2021 to 30.04.2021 (60 days) and according to the results of technical diagnostics for the period from 2018 to 2020 is carried out. In order to determine the age range of malfunctions in special rolling stock, it was divided into 3 age groups: 1 - service life assigned by the manufacturing plant, 2 - after the end of the service life of the manufacturing plant to one and a half service life, 3 - more than one and a half service life. The largest number of faults occurs in the load-bearing structures (frame and body of the car), wheelsets. This situation indicates the need to develop modernization projects for load-bearing structures that have already exhausted their intended service life, because the current repair documentation does not provide for the elimination of such defects. The conducted researches will promote the prevention of premature failure of elements of a special rolling stock in operation. Appropriate precautions must be taken for the replacement parts of special rolling stock to prevent their failure. The obtained results allowed to identify problem units of special rolling stock in the development of measures to improve reliability (improvement of structures at the design stage, improving the quality of maintenance and repair, the introduction of modern control methods).

Keywords: *defect, failures, operation, special rolling stock.*

Кошель Олексій Олександрович – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарства», Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ), koshela1520mm@gmail.com

Сапронова Світлана Юріївна – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонне господарства», Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ), doc.sapronova@gmail.com

Стаття подана 12.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-76-81

УДК 656.025

ПРОБЛЕМИ ЛОГІСТИКИ РОЗПОДІЛУ ІМУНОБІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ В ЕПОХУ ПАНДЕМІЇ

Михайлов Є.В., Водолазський О.О., Долбня Д.М.

DISTRIBUTION LOGISTICS PROBLEMS OF IMMUNOBIOLOGICAL DRUGS IN THE PANDEMIC ERA

Mikhailov E.V., Vodolazsky O.O., Dolbnya D.M.

В умовах світової пандемії велику актуальність придбали питання, пов'язані з логістикою розподілу вакцин від коронавіруса COVID - 19. При реалізації логістичних ланцюжків розподілу вакцин виникає ряд істотних перешкод, які пов'язані з тим, що транспортування і зберігання імунобіологічних препаратів вимагає створення дорогої охолоджувальної інфраструктури. Проаналізовані основні вимоги до логістичних ланцюжків розподілу вакцин і успішні приклади світової практики по їх реалізації. Встановлено, що звичайні авторефрижератори не підходять для низькотемпературної доставки вакцин. Оптимальним способом низькотемпературного автомобільного перевезення вакцин є перевезення їх у спеціальних термоконтейнерах, які для більшої надійності перевезення завантажуються в рефрижератори. Існує перспектива деякого пом'якшення вимог регулюючих органів до температурних режимів транспортування і зберігання вакцин у міру накопичення даних випробувань на стабільність імунобіологічних препаратів. Запропоновано приділити увагу стимулюванню розробки і виготовлення в Україні спеціальних низькотемпературних термоконтейнерів і створенню мережі низькотемпературних сховищ, які повинні стати регіональними розподільними центрами для імунобіологічних препаратів.

***Ключові слова**: логістика, вакцина, доставка, холодовий ланцюг, рефрижератор, термобокс.*

Вступ. В умовах світової пандемії людство з нетерпінням чекає вакцин від коронавіруса COVID - 19. Учені їх створили, протестували, фармацевтичні компанії усіх країн нарощують їх виробництво, уряди різних країн почали масову вакцинацію населення. Для цього вакцини треба якнайшвидше доставити в різні точки земної кулі [1]. Проте, на шляху логістичного розподілу вакцин виникає ряд перешкод. Так, наприклад встановлено [2], що вакцина Pfizer/BioNTec має недоліки, які можуть серйозно понизити її доступність навіть для багатих країн. Зокрема, транспортування і зберігання препарату вимагають створення дорогої охолоджувальної інфраструктури. Аналогічні проблеми, хоча і у меншій мірі, виникають і в логістиці розподілу російської вакцини «Супутник V» [3].

Метою роботи є аналіз проблем логістики імунобіологічних препаратів і розгляд шляхів їх подолання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Практично усі вакцини, які використовуються нині у боротьбі з пандемією коронавіруса COVID, - 19, є чутливими біологічними субстанціями, які з часом втрачають активність (тобто свою здатність захищати від захворювань). Втрата активності відбувається набагато швидше при дії на вакцину температури вище рекомендованого діапазону. Втрачена одного разу активність вакцини не відновлюється при поверненні вакцини в правильний температурний режим. Будь-яка втрата активності вакцин необратима. Тому зберігання вакцин при правильному температурному режимі життєво важливе для збереження їх повної активності до моменту введення в організм людини.

В процесі виготовлення, транспортування і застосування вакцин слід неухильно виконувати вимоги дотримання так званого безперервного холодового ланцюга [4]. «Холодовим ланцюгом» називають систему, що забезпечує необхідні умови зберігання і транспортування імунобіологічних препаратів від підприємства-виготівника до особи, що вакцинується. Холодовий ланцюг є важливим елементом імунопрофілактики, оскільки усі вакцини втрачають свою активність з часом, особливо внаслідок дії тепла, а деякі і внаслідок заморожування. Виконання щеплень вакциною, що втратила свою активність, і спроби досягнення високого рівня охоплення виявляються даремними, якщо вживана вакцина не має достатньої імуногенної активності. Тому дотримання та підтримка правильного температурного режиму під час зберігання, транспортування і застосування вакцин, є основним завданням.

Система холодового ланцюга включає три основні елементи:

• устаткування для зберігання і транспортування вакцин;

• процедури контролю за розподілом і використанням вакцин;

• персонал, безпосередньо працюючий і обслуговуючий холодильне устаткування і надаючий медичні послуги.

Система холодового ланцюга може бути організована по-різному в різних країнах, але найголовніша вимога повинна дотримуватися неухильно: вакцини повинні знаходитися при належній температурі на усіх етапах - при транспортуванні, зберіганні в морозильнику або в холодильній камері, а також при її використанні під час виконання щеплень в медичних установах.

Навіть за наявності самого високоякісного і сучасного устаткування, холодовий ланцюг виявиться неефективним, якщо люди неправильно поводитимуться з вакциною й устаткуванням. Тому, компетентний персонал і ефективні процедури контролю є надзвичайно важливою частиною системи холодового ланцюга.

У зв'язку з виникненням пандемії COVID - 19 і глобальними потребами у вакцинації населення планети, перед світовою логістичною галуззю з'явилося безпрецедентне завдання. Найближчими роками їй належить забезпечити доставку кількох десятків мільярдів доз вакцини. У будь-якому випадку доз виявиться більше, ніж жителів планети, оскільки багато вакцин вимагають двократне щеплення.

Проблема, проте, не лише і навіть не стільки в об'ємах майбутніх перевезень, скільки в тому, що частину вакцин необхідно транспортувати в особливих умовах - при низьких і навіть наднизьких температурах. Йдеться, передусім, про вакцину американської компанії Pfizer і її німецького партнера BioNTech, яку необхідно зберігати при мінус 70…80 градусах за Цельсієм. Це спочатку пояснювалося відсутністю інформації про стабільність активної речовини вакцини, тобто його здатність реагувати на перепад температур, не втрачаючи властивості.

Вакцина Pfizer/BioNTech вважається однією з найбільш ефективних серед інших, з мінімальним рівнем побічних ефектів. Проте, навіть в умовах технічно і технологічно розвинених країн Європейського Союзу, її логістика представляє непросту проблему в порівнянні з іншими вакцинами. Міжнародним стандартом для перевезення медичних препаратів вже більше 50 років являється діапазон +2…8 градусів Цельсія. Під цей стандарт давно побудована уся світова фармацевтична логістика. Таким чином, заборона на перевищення температури -70С для вакцини Pfizer/BioNTech стала масштабною проблемою для логістичних компаній.

Аналогічна ситуація склалася і з логістикою розподілу російської вакцини «Супутник V» розробки інституту Гамалеї. Наказана температура холодового ланцюга при доставці і зберіганні цієї вакцини не повинна перевищувати -18С. Морозильників з необхідними параметрами в клініках, що беруть участь в імунізації населення Росії, виявилося дуже мало. В результаті з'явилася державна програма по будівництву низькотемпературних сховищ в усіх регіонах країни, які повинні стати регіональними розподільними центрами для цієї вакцини [3].

У загальному випадку логістичний ланцюжок при розподілі вакцини (з урахуванням безперервності «холодового ланцюга») складається з чотирьох етапів:

1. доставка від виробників оптовим одержувачам,

2. доставка в регіональні розподільні центри,

3. розвіз з регіональних складів у поліклініки та прищепні кабінети,

4. зберігання в пунктах імунізації.

На першому етапі імунобіологічні препарати зазвичай доставляють авіатранспортом. На 2 і 3 етапах вакцини доставляють до споживача декількома способами: за допомогою авіадоставки, на автомобілях або комбінуючи ці способи (мультимодальні перевезення). Для усіх видів транспортування та зберігання вакцин від коронавіруса порушення температури вище нормативної залишається головним ризиком. Буквально це означає наступне: наприклад, у разі порушення температурного режиму на одну хвилину і на 0,5С, продукт застосуванню за призначенням вже не підлягає. Тобто його потрібно знищити.

Міжнародна асоціація повітряного транспорту IATA вже назвала майбутній розподіл вакцин по планеті "найбільшою і самою комплексною логістичною операцією усіх часів" [1]. Вона призвала уряди відкрити кордони і відновити повітряне сполучення, нагадавши, що із-за карантинних заходів різко скоротилося число рейсів. А це сильно обмежує об'єми вантажних авіаперевезень, оскільки украй мало можливостей відправляти вантажі пасажирськими літаками. Провідні американські авіакомпанії звернулися з листом до Конгресу США з вимогою надати галузі фінансову допомогу, щоб вона змогла впоратися з "логістичним викликом розподілу вакцини".

Основна проблема, яка виникла у зв'язку з доставкою вакцини у багатьох аеропортах світу, - «ефект пляшкової шийки» із-за недостатньої оснащеності аеропортів і складських приміщень устаткуванням для зберігання вакцин при заданому температурному режимі. Проте, цю проблему можна розв'язати за рахунок ретельного планування. Так, при авіапостачаннях збереження температурного режиму забезпечується за допомогою спеціальних контейнерів, а складського зберігання можна уникнути, перевантажуючи вакцини з транспортного літака безпосередньо в машини-рефрижератори, що призначені для перевезення вимогливих до температурного режиму вантажів.

Проте, у ряді випадків і з авіадоставкою також виникають проблеми. Так, наприклад, ланцюг доставки для вакцини «Супутник V» майже цілком по-

будований по землі. Літак може доставити до 100 термоконтейнерів (більше 500 тисяч доз), але авіакомпанії не беруть більше десяти із-за високої вартості вантажу та вірогідної поломки борту. Крім того, в російських аеропортах немає устаткування для роботи з таким вантажем. Тому вакцину доставляють в основному автомобільними рефрижераторами. У стандартний рефрижератор входять 33 європалети - до 25 тисяч доз вакцини у кожній [3].

Слід зазначити, що у ряду великих логістичних компаній (наприклад, DHL) вже є чималий досвід роботи з фармацевтичною продукцією глибокого заморожування, хоча досі це був не основний їх бізнес. Раніше вже їм доводилося перевозити при наднизьких температурах досить значні об'єми препаратів проти Еболи, а на кордоні Німеччини з Нідерландами навіть обладнаний спеціальний склад, де встановлено 58 особливо потужних холодильників. DHL ще влітку 2020 року почала готуватися до того, що щонайменше одна з вакцин, що проходили у той час клінічні випробування, зажадає особливих умов транспортування при температурі до мінус 80С. Про це свідчить опубліковане 3 вересня 2020 року дослідження, проведене спільно з міжнародною консалтинговою компанією McKinsey. Воно містить рекомендації, як забезпечити доставку чутливих до температури препаратів, і виходить з того, що в спеціальних рефрижераторах і термобоксах належить перевести 15 мільйонів партій вакцин.

Підвищений інтерес DHL до перевезень медичних вантажів зрозумілий: це - один із стратегічних напрямів її бізнесу, їм займається окремий структурний підрозділ - Life Sciences & Healthcare. Воно має, за даними компанії, понад 140 спеціалізованих холодильних складів в 40 країнах (найновіший відкрився в 2020 році в Індіанаполісі, США) із спеціально навченим персоналом і вже більше 15 років забезпечує транспортне обслуговування клінічних випробувань нових медикаментів.

Представники компанії DHL у минулому році заявляли про необхідність здійснення 15 тисяч авіарейсів і перевезення 200 тисяч палетомісць, які потрібно буде перемістити з найсуворішим контролем температури тільки для задоволення базової потреби населення планети у вакцинації. Якщо переупаковувати продукцію в термотару, то знадобиться в три рази більше провізних місткостей.

В ході поширення по планеті вакцин проти коронавіруса компанія DHL і її регіональні партнери (наприклад, в Німеччині - концерн Deutsche Post DHL) стануть одними з ключових перевізників, але, природно, далеко не єдиними. Наприклад, в автопарку швейцарської компанії Kühne + Nagel в Європі є 200 рефрижераторних вантажних причепів для доставки медичної продукції, а в її логістичних центрах встановлені холодильні камери, розраховані на температури до мінус 20 градусів. Вони можуть бути переобладнувані під температуру мінус 80С.

Deutsche Post DHL і Kühne + Nagel повідомляють, що вже уклали угоди про транспортування вакцин від COVID - 19. Важливу роль не лише в США, але і в Європі, належить зіграти також американським логістичним компаніям Fedex і UPS.

Корпорація Pfizer ще з листопада 2020 року начала в чотирьох штатах США - Нью-Мексіко, Теннессі, Техас, Род-Айленд - тестувати логістику доставки своєї вакцини.

Основна проблема підтримки холодового ланцюга зазвичай проявляється при розвантаженні та зберіганні продукції, оскільки низьку температуру необхідно підтримувати постійно. Цю проблему можливо вирішувати в допомогою термобоксів, технологія використання яких досить добре відпрацьована учасниками обігу лікарських засобів. Використання термобоксів, тобто контейнерів, що щільно закриваються, заповнених хладоелементами, дозволяє добре контролювати вузькі місця перевезення і надійно купірувати інші можливі ризики: фізичне ушкодження, намокання, проникнення пилу, бруду та інше.

Відсутність такого спеціального устаткування, здатного підтримувати задані низькотемпературні режими при перевезенні та зберіганні імунобіологічних препаратів, в період підготовки до масової вакцинації істотно стримувало об'єми перевезення вакцин Pfizer/BioNTech. Але, як відомо, попит визначає пропозицію. Провідні світові виробники оперативно провели розробку та налагодили випуск необхідного устаткування. Так, японська корпорація Panasonic розробила інноваційний термоконтейнер з вакуумною ізоляцією VIXELL, що дозволяє зберігати і транспортувати вакцини і медичні матеріали при наднизькій температурі до - 70˚С впродовж 18 днів [5]. Досі термобокси вироблялися переважно шляхом з'єднання панелей з вакуумною ізоляцією. Проте істотним недоліком такої конструкції було те, що холодне повітря просочувалося через проміжки в місцях з'єднання панелей. Panasonic вже давно займається дослідженнями і розробками у сфері виробництва вакуумних ізоляційних панелей і використовує їх для скорочення енергоспоживання в холодильниках й інших продуктах. Використання методу лиття під тиском у виробництві вакуумних термоконтейнерів VIXELL дозволило повністю розв'язати проблему витоку холодного повітря, що неминуче виникає при використанні термобоксів, зібраних з окремих панелей. У 57-літровому контейнері Panasonic у якості ізоляційного матеріалу використовується поліуретанова піна і скловата, які зберігають холод приблизно на 30% ефективніше в порівнянні з попередніми прототипами.

Усередині боксів VIXELL розташовані спеціальні відсіки для зберігання, в яких може підтримуватися різна температура, - за рахунок наповнення цих блоків усередині та зовні холодагентом. Зміна типів холодагентів і їх кількості в VIXELL дозволяє забезпечувати широкий діапазон температур - від температури сухого льоду (нижче - 70С), до - 20С і навіть у діапазоні 2…8С.

До останнього часу ізоляційні матеріали в охолоджувальних контейнерах покривалися пластиковими листами. Проте при використанні сухого льоду як холодогенту температура пластика падала до «температури крихкості», тобто підвищувався ризик його ушкодження при падінні або вібрації в процесі транспортування. Амортизуюча конструкція VIXELL пом'якшує удари і знижує ризик ушкодження пластика при падінні коробки, що забезпечує надійніше і стабільніше транспортування навіть в температурній зоні сухого льоду. Відвантаження термобоксів VIXELL фірми Panasonic для фармацевтичних і логістичних компаній почалося вже у березні 2021 року.

Корпорація Pfizer, паралельно з розробкою і випуском вакцини Pfizer/BioNTech, відразу налагодила випуск спеціалізованих термоконтейнерів для її транспортування. Pfizer розробила бокси, які підтримують ультра низьку температуру усередині. Особливість таких контейнерів полягає в тому, що їх можна також при необхідності підключати до електромережі [1].

Фірма va - Q - tec з німецького міста Вюрцбурга, що спеціалізується на розробці та виробництві інноваційних рефрижераторних контейнерів (термоконтейнерів) і термобоксів, оголосила про підписання договору з корпорацією Pfizer про всесвітню великомасштабну дистрибуцію його вакцини з 1-го кварталу 2021 року. Німецька компанія надасть партнерові в лізинг декілька тисяч термоконтейнерів, які впродовж декількох днів можуть утримувати постійну температуру в діапазоні від мінус 70 до плюс 25 градусів Цельсія. Завдяки унікальній технології, широкому асортименту і багаторічному досвіду роботи з низькими і дуже низькими температурами фірма va - Q - tec може належним чином підтримати глобальний розподіл вакцини від коронавірусу.

На жаль, подібні термобокси, які виробляються в Україні, поки здатні підтримувати стабільний температурний режим лише в межах +2…8С. Хоча в країні є достатній науковий і виробничий потенціал для розробки і виготовлення такого устаткування.

За даними FT.com, світовий ринок устаткування для зберігання і упаковки вакцин може вирости з $22,3 млрд в 2020 році до $43, 3 млрд в 2027 р., при цьому левову частку займатимуть саме системи зберігання [5].

Існуючий логістичний ринок України найбільш адаптований до роботи з температурним режимом +2…8С, оскільки найбільша кількість вживаних донині імунобіологічних лікарських препаратів вимагає підтримки саме цієї температури. Складнощі, пов'язані з недоліком знань і досвіду, з'явилися, коли довелося доставляти варіант вакцини, який вимагає зберігання при температурі мінус 70С. Процес зберігання і перевезення вакцини з таким температурним режимом в масштабах країни - це абсолютно новий процес. Це вимагає більшої уваги, налаштування, відладки та, при необхідності, корекції.

В цілому у логістичних компаній зараз достатньо транспортних потужностей для доставки необхідного об'єму вакцини: у великі термокороби (так звані палетники) вміщується близько 10 тис. доз вакцини. У хуру вміщується 30 таких коробів, тобто одна машина здатна доставити 300 тис. доз вакцини, що порівняно з чисельністю населення середнього міста.

Проблема з доставкою вакцини може з'явитися у той момент, коли треба буде доставляти великі об'єми вантажів автомобільним транспортом на значні відстані. У перевезення в термобоксах є істотний недолік - збільшена за рахунок упаковки вага і об'єм вантажу, який неминуче призводить до росту вартості доставки.

В той же час, при усіх своїх недоліках, термопакування - єдиний повноцінний спосіб підтримки стабільного холодового ланцюга. Без термобоксів уникнути температурних виходів при доставці у віддалені частини нашої країни нестабільних заморожених форм вакцин при вантаженні та розвантаженні просто буде неможливо.

Авторефрижератори без термобоксів не підходять для доставки вакцин, які треба зберігати при температурі нижче мінус 20С, оскільки усередині фургонів температура може бути в діапазоні плюс 5С, що в даному випадку неприпустимо. А кількість рефрижераторів, які б охолоджували до температури нижче мінус 20С, вимірюється одиницями.

Тому, оптимальним способом низькотемпературного перевезення вакцини є перевезення в термоконтейнерах, які здатні підтримувати задану температуру три-чотири дні. Для більшої надійності перевезення їх треба завантажувати в рефрижератори.

Але, вказані технічні та технологічні проблеми незабаром можуть бути істотно спрощені. Порівняно недавно поступила інформація про те, що температурний режим перевезення і зберігання вакцини BioNTech/Pfizer дозволено послабити [6]. Компанія Pfizer звернулася в Управління з питань якості продовольства і медикаментів США (FDA) в лютому 2021 року з проханням внести корективи в рекомендації по транспортуванню і зберіганню своєї вакцини. Виробник стверджує, що перевезення і зберігання препарату BioNTech/Pfizer впродовж двох тижнів можна здійснювати в звичайних морозильних камерах (раніше однією з найважливіших умов була підтримка на етапах перевезення і зберігання температурного режиму від мінус 60 до мінус $80С^0$. Лише за п'ять днів до безпосереднього застосування дозволялося, щоб препарат знаходився в звичайних холодильних камерах при температурі від $2С^0$ до $8С^0$). За словами представників фірми, вказані зміни пов'язані з аналізом даних, які були отримані за дев'ять місяців з початку розробки і використання препарату.

Розглянувши приведені виробником аргументи, 25 лютого 2021 року FDA офіційно повідомило про дозвіл здійснювати транспортування і зберігання вакцини від коронавіруса BioNTech/Pfizer впродовж двох тижнів при температурі від мінус 15 до мінус

25 градусів за Цельсієм - тобто в звичайних морозильних камерах. У FDA сподіваються, що пом'якшення вимог істотно полегшить постачання вакциною пунктів вакцинації. Крім того, буде понижено тиск на транспортні організації, в завдання яких входило обов'язкове використання надпотужних морозильних установок, а також спеціальних термоконтейнерів.

Слід зазначити, що розробник російської вакцини «Супутник V» - інститут Гамалеї - у кінці грудня 2020 року також завершив її попередні випробування на стабільність. Розробник дійшов висновку, що впродовж трьох діб вона все ж може зберігатися і перевозитися при температурі не вище - 10 градусів (спочатку в холодовому ланцюзі для цієї вакцини рекомендувалася температура не вище - $18C^0$). Проте фахівці вважають, що результати випробувань можуть і не затвердити, оскільки нині даних, на підставі яких можна було б скоректувати температурний режим, у розробника фактично немає [3].

Холодильні камери на мінус 20С у багатьох українських лікарнях є. Вони були призначені для імунобіологічних препаратів: сироваток, які повинні зберігатися в замороженому виді, біоматеріалів. Для надійного зберігання вакцин в цих холодильних камерах додатково потрібне спеціальне устаткування. Наприклад, мають бути додаткові електрогенератори, які повинні автоматично включатися у разі відключення електрики. Крім того, потрібне будівництво розгалуженої мережі низькотемпературних сховищ в усіх регіонах країни, які повинні стати регіональними розподільними центрами для імунобіологічних препаратів.

Висновки. В умовах світової пандемії коронавірусу COVID - 19 уряди різних країн почали масову вакцинацію населення. Проте, на шляху логістичного розподілу вакцин виникає ряд перешкод, які можуть серйозно понизити доступність вакцин навіть для розвинених країн. В першу чергу вони пов'язані з тим, що транспортування та зберігання імунобіологічних препаратів вимагають створення дорогої охолоджувальної інфраструктури.

Звичайні авторефрижератори не підходять для низькотемпературної доставки вакцин без термоконтейнерів, а кількість рефрижераторів, в яких вантажні приміщення охолоджувалися б до температури нижче мінус 20С вимірюється одиницями. Тому, оптимальним способом низькотемпературного автомобільного перевезення вакцин є перевезення їх у спеціальних термоконтейнерах, які для більшої надійності перевезення треба завантажувати в рефрижератори.

Існує перспектива деякого пом'якшення вимог регулюючих органів до температурних режимів транспортування і зберігання вакцин у міру накопичення даних випробувань на стабільність імунобіологічних препаратів. Це може істотно понизити тиск на транспортні організації, в завдання яких входить обов'язкове використання надпотужних морозильних установок, а також спеціальних термоконтейнерів.

Слід приділити увагу стимулюванню розробки і виготовлення в Україні термобоксів, здатних забезпечити низькотемпературне транспортування та зберігання імунобіологічних препаратів у логістичних ланцюжках розподілу вакцин від COVID - 19.

Потрібна також розгалужена мережа низькотемпературних сховищ в усіх регіонах країни, які повинні стати регіональними розподільними центрами для імунобіологічних препаратів.

Література

1. Логистика эпохи пандемии: как доставить миллиарды доз охлажденных вакцин? [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.dw.com/ru/logistika-protiv-kovida-kak-dostavit-ohlazhdennye-vakciny/a-55679333
2. Bloomberg указал на препятствие для распространения вакцины Pfizer. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.rbc.ru/society/11/11/2020/5fab8df79a79474acc214558
3. Вакцина «Спутник V» должна все время находиться при температуре минус 18 и ниже. В результате ее оказалось не в чем хранить и перевозить. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://meduza.io/feature/2021/01/14/vaktsina-sputnik-v-dolzhna-vse-vremya-nahoditsya-pri-temperature-minus-18-i-nizhe-v-rezultate-ee-okazalos-ne-v-chem-hranit-i-perevozit
4. Безопасное обращениес вакцинами, холодовая цепь и иммунизация. Пособие для стран СНГ. Global programme for vaccines and immunization. WHO/EPI/LHIS/98.02. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.who.ch/gpv-documents/
5. Panasonic разработал термоконтейнер для транспортировки вакцин от COVID-19 при -70˚С. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://expert.com.ua/138365-panasonic-razrabotal-termokontejner-dlya-transportirovki-vakcin-ot-covid-19-pri-70%CB%9Ac.html
6. Температуру перевозки и хранения вакцины BioNTech/Pfizer разрешили снизить. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.dw.com/ru/temperaturu-perevozki-i-hranenija-vakciny-biontech-pfizer-razreshili-snizit/a-56709038

References

1. Logistika jepohi pandemii: kak dostavit' milliardy doz ohlazhdennyh vakcin? [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: https://www.dw.com/ru/logistika-protiv-kovida-kak-dostavit-ohlazhdennye-vakciny/a-55679333
2. Bloomberg ukazal na prepjatstvie dlja rasprostranenija vakciny Pfizer. [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: https://www.rbc.ru/society/11/11/2020/5fab8df79a79474acc214558
3. Vakcina «Sputnik V» dolzhna vse vremja nahodit'sja pri temperature minus 18 i nizhe. V rezul'tate ee okazalos' ne v chem hranit' i perevozit'. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://meduza.io/feature/2021/01/14/vaktsina-sputnik-v-dolzhna-vse-vremya-nahoditsya-pri-temperature-minus-18-i-nizhe-v-rezultate-ee-okazalos-ne-v-chem-hranit-i-perevozit
4. Bezopasnoe obrashhenies vakcinami, holodovaja cep' i immunizacija. Posobie dlja stran SNG. Global programme

for vaccines and immunization. WHO/EPI/LHIS/98.02. [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: http://www.who.ch/gpv-documents/
5. Panasonic razrabotal termokontejner dlja transportirovki vakcin ot COVID-19 pri -70˚C. [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: https://expert.com.ua/138365-panasonic-razrabotal-termokontejner-dlya-transportirovki-vakcin-ot-covid-19-pri-70%CB%9Ac.html
6. Temperaturu perevozki i hranenija vakciny BioNTech/Pfizer razreshili snizit' [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: https://www.dw.com/ru/temperaturu-perevozki-i-hranenija-vakciny-biontech-pfizer-razreshili-snizit/a-56709038

Mikhailov E.V., Vodolazsky O.O., Dolbnya D.M. Distribution logistics problems of immunobiological drugs in the pandemic era.

In the context of the global pandemic of the coronavirus COVID-19, issues related to the logistics of distribution of vaccines against coronavirus have become very urgent. First of all, this concerns the Pfizer / BioNTech vaccine, which requires maintaining extremely low temperatures during storage and transportation. There are a number of obstacles to the implementation of supply chains for the distribution of vaccines that can seriously reduce the availability of vaccines, even for developed countries. First of all, they are associated with the fact that the transportation and storage of immunobiological preparations require the creation of an expensive cooling infrastructure. The main requirements for the supply chains of vaccine distribution and successful examples of world practice in their implementation are analyzed. It has been established that conventional refrigerated trucks are not suitable for low-temperature vaccine delivery without thermal containers, and the number of refrigerators in which cargo spaces would be cooled to temperatures below minus 20C is measured in units. Therefore, the optimal way of low-temperature road transportation of vaccines is to transport them in special thermal containers, which need to be loaded into refrigerators for greater reliability of transportation. There is a prospect of some softening of the requirements of regulatory bodies for the temperature regimes of transportation and storage of vaccines as data on the stability of immunobiological preparations accumulate. This can significantly reduce the pressure on transport organizations, whose tasks include the mandatory use of heavy-duty freezers, as well as special thermal containers. It is proposed to pay attention to stimulating the development and manufacture of thermoboxes in Ukraine, capable of providing low-temperature transportation and storage of immunobiological preparations in the supply chains of distribution of vaccines against COVID-19. It is also advisable to create a network of low-temperature storages in the country, which should become regional distribution centers for immunobiological preparations.

Keywords: *logistics, vaccine, delivery, cold chain, refrigerator, thermobox.*

Михайлов Євген Валентинович – к.т.н., доцент, доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, mihaylov.evv@gmail.com.
Водолазський Олексій Олександрович – старший викладач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, alexey.vodolazskyy@gmail.com.
Долбня Данило Миколайович – здобувач вищої освіти кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, dolbnja@gmail.com.

Стаття подана 01.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-82-87

УДК 629.4.067.4

ОЦІНКА РИЗИКІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ НА ТРАНСПОРТІ

Ноженко В.С., Ковтанець М.В., Сергієнко О.В., Ковтанець Т.М., Вакулік М.М.

ASSESSMENT OF THE RISKS OF INTRODUCING PROMISING TECHNICAL SOLUTIONS IN TRANSPORT

Nozhenko V.S., Kovtanets M.V., Sergienko O.V., Kovtanets T.M., Vakulik M.M.

У статті проаналізовані можливі шляхи інвестицій для розвитку технологій виробництва на прикладі залізничного транспорту і пов'язаний з цим процес прийняття рішень. У роботі використовувався метод оцінки ризику при впровадженні інноваційних технічних рішень для поліпшення фрикційної взаємодії в двоточковому контакті «колесо-рейка» на основі методу Монте-Карло. Результатами імітаційного моделювання є прогнозування найбільш і найменш ризикованих технічних рішень для впровадження на залізничному транспорті, спрямованих на їх зниження.

Ключові слова: *прийняття рішень, ризик, інноваційна діяльність, дослідження, управління ризиком, впровадження, залізничний транспорт.*

Вступ. Старіння парку Укрзалізниці, технічний стан якого не відповідає сучасним вимогам, закінчення нормативного терміну експлуатації більшості локомотивів, вантажних, пасажирських вагонів та іншого рухомого складу вимагають впровадження інноваційних технологій і технічних рішень.

Інвестиції – основний метод розширеного відтворення основного капіталу. Одним з перспективних методів інвестицій в передових країнах світу є інноваційні інвестиції. Вивчення стану інноваційної діяльності залізничної промисловості України свідчить про те, що її рівень залишається низьким, а саме, частка підприємств, які здійснювали інновації, становить близько 11-12% [1]. За даними Державного комітету статистики України основною причиною, яка стримує інноваційну діяльність у промисловості, була і залишається проблема ризику впровадження нових технічних рішень [2].

Для підвищення ефективності прийняття рішень щодо впровадження інноваційних проектів на машинобудівних підприємствах необхідний інструментарій підтримки прийняття рішень, що включає оцінку рівня ризиків і економічної безпеки, яка здійснюється за допомогою експертних оцінок, що дозволяє підвищити вірогідність ухвалення правильного управлінського рішення.

Аналіз досліджень і публікацій. Вивчення зарубіжного досвіду показало, що інвестиції в інноваційну діяльність підприємств у середньому високо окупаються, незважаючи на значний ризик здійснення таких інвестицій і тривалий період їх окупності. Причому інвестиції в наукові розробки приносять ефект не тільки окремому підприємству, яке їх здійснює, але і суспільству в цілому [3]. Оцінюючи ефективність інвестицій в інноваційну діяльність підприємств, існує ризик, що при виборі окремих інновацій для таких досліджень необхідно розглядати ті, які забезпечили високу віддачу на вкладені інвестиції.

Основним критерієм оцінки ризику в залізничному транспорті є безпека руху під час перевезення вантажопасажирських складів. Рівень безпеки прийнято характеризувати ймовірністю реалізації тих чи інших небезпек і загроз, явищ і процесів, що виникають і які супроводжуються формуванням негативних факторів, які впливають на людину і навколишнє середовище, тобто математичним очікуванням найбільш важливих видів шкоди [4].

Можливі сценарії впровадження інноваційних технічних рішень можуть призвести до суттєвих матеріальних втрат, що стало причиною створення і застосування на практиці системних підходів, методів та інструментів для оцінки ризику їх впровадження.

Процес оцінки ризику включає в себе:

- опис системи, ідентифікація небезпек і розробка можливих сценаріїв нещасних випадків і наслідків тих чи інших подій, пов'язаних з перевізним процесом;

- оцінка впливу або наслідків впливу подібних подій на людей, матеріальні цінності та навколишнє середовище;

- обчислення ймовірності подібного несприятливого результату на практиці і його наслідків в залежності від різних експлуатаційних та організаційних заходів забезпечення безпеки;

- кількісний опис рівнів ризику за межами об'єкта з точки зору наслідків і ймовірності;

- оцінку рівнів ризику шляхом їх порівняння з певними кількісними критеріями.

Одним з методів, який дозволяє кількісно оцінити ризики впровадження, а саме моделювати випадкові величини з метою обчислення характеристик їх розподілів, є метод Монте-Карло. Моделювання за методом Монте-Карло дозволяє побудувати математичну модель для процесу з невизначеними значеннями параметрів, і, знаючи ймовірнісні розподіли параметрів процесу, а також зв'язок між змінами параметрів (кореляцію), отримати розподіл прибутковості проекту [5].

Мета роботи. На основі використання методу Монте-Карло провести математичне моделювання з метою визначення ризиків впровадження інноваційних технічних рішень для поліпшення фрикційної взаємодії в двоточковому контакті «колесо-рейка».

Виклад основного матеріалу дослідження. Різні типи проектів мають різну вразливість з боку ризиків, що з'ясовується при моделюванні. Імітаційне моделювання методом Монте-Карло має кілька стадій.

Перша стадія в процесі аналізу ризику – це створення прогнозної моделі. Така модель визначає математичні відносини між числовими змінними, які відносяться до прогнозу обраного фінансового показника.

Вихідні дані здійснюваного прогнозу отримання економічної вигоди і витрат заносяться в таблиці представлені нижче (таблиця). Їх максимальні і мінімальні значення вибираються з літературних джерел, в яких досліджено кожне із запропонованих до впровадження технічне рішення [6, 7].

В якості базової моделі для аналізу інвестиційного ризику зазвичай використовується модель розрахунку показника NPV (чистий дисконтований дохід). NPV проекту буде позитивним, а сам проект - ефективним, якщо розрахунки показують, що проект покриває свої внутрішні витрати, а також приносить власникам капіталу дохід не нижче, ніж вони задали.

Друга стадія полягає в імітації прогнозної моделі. Генерується досить великий обсяг випадкових сценаріїв, кожен з яких відповідає визначеним значенням грошових потоків. Генеровані сценарії збираються разом, і проводиться їх статистична обробка для встановлення частки сценаріїв, які відповідають негативному значенню NPV. Відношення таких сценаріїв до загальної кількості сценаріїв дає оцінку ризику інвестицій.

Таблиця

Вихідні дані для прогнозу одержуваної економічної вигоди і витрат при впровадженні інноваційних рішень

Фактори економічного ефекту			Фактори витрат при впровадженні		
Позначення	Найменування	Од. вимірювання	Позначення	Найменування	Од. вимірювання
ES	Енергозбереження	грн.	IC	Інтелектуальні витрати	чол./год.
RS	Ресурсозбереження	грн.	MC	Матеріальні витрати	грн.
LS	Економія трудовитрат	грн.	LC	Трудові витрати	чол./год
EC	Екологозбереження	грн.	SC	Сервісне обслуговування	чол./год.

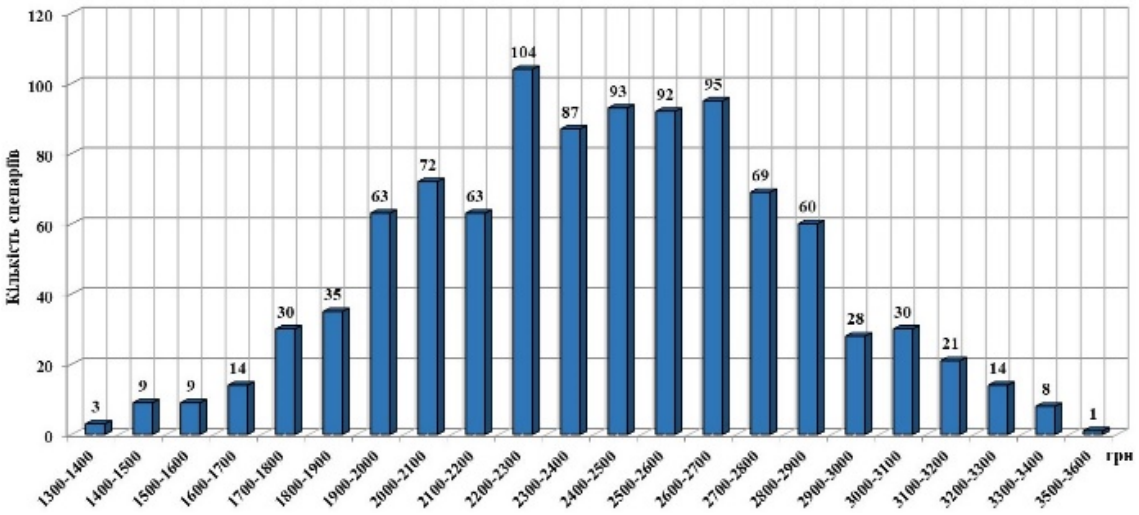


Рис. 1. Приклад розрахунку ефективності проекту

Розподіли ймовірностей змінних моделей диктують можливість вибору величин з певних діапазонів. Розподіли представляють собою математичні інструменти, за допомогою яких надається вага всіх можливих результатів. Цим контролюється випадковий вибір значень для кожної змінної в ході моделювання. При аналізі ризиків використовується інформація, що міститься в розподілі ймовірності з множинними значеннями.

В ході моделювання значення змінних вибираються випадково в межах заданих діапазонів, відповідно до розподілів ймовірностей і умовами кореляцій. Для кожного набору таких змінних обчислюється значення показника ефективності проекту, приклад розрахунку ефективності проекту представлений на рис. 1. Всі отримані значення зберігаються для подальшої статистичної обробки.

Для практичного здійснення оцінки ризику впровадження нових технічних рішень на транспорті за методом Монте-Карло моделювання проводиться в пакеті програм Microsoft Excel. Генерування випадкових чисел цей пакет здійснює на основі використання датчика псевдовипадкових чисел, які розраховуються за певним алгоритмом. Особливістю пакету є те, що він вміє генерувати корельовані випадкові числа.

Остаточною стадією аналізу ризиків є обробка і інтерпретація результатів, отриманих на стадії прогонів моделі. Кожен прогін представляє ймовірність події, рівну:

$$p = 100 / n, \qquad (1)$$

де p – ймовірність одиничного прогнозу; %;
n – розмір вибірки.

В якості міри ризику в інвестиційному проектуванні доцільно використовувати безпеку моделюваного проекту, виражену у відсотках (рис. 2).

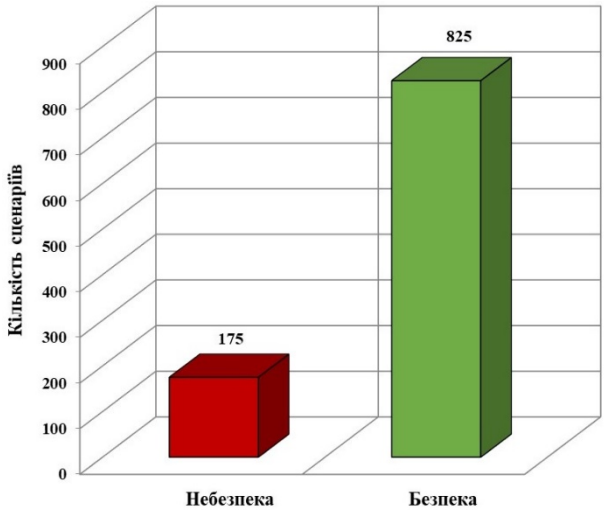


Рис. 2. Приклад моделювання безпеки інвестиційного проекту

Для наочного прикладу розглянемо перспективні технології, а саме методи оптимізації фрикційної взаємодії колеса з рейкою, що є основою безпеки руху рухомого складу. Вони застосовні на залізничному транспорті та теоретично є економічно вигідними, однак на практиці рішення цих питань пов'язано з певним ступенем ризику, який на даний момент важко спрогнозувати і врахувати. Ґрунтуватися будемо на методах оптимізації фрикційної взаємодії коліс з рейками, представлених на рис. 3 [8, 9, 10].

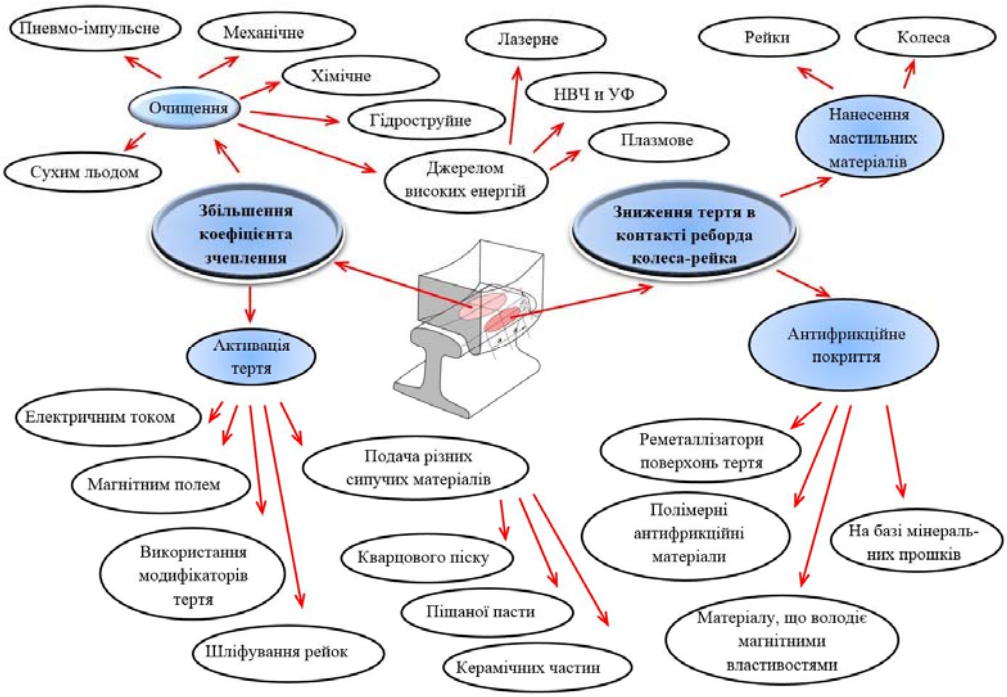


Рис. 3. Методи оптимізації фрикційного взаємодії коліс з рейками

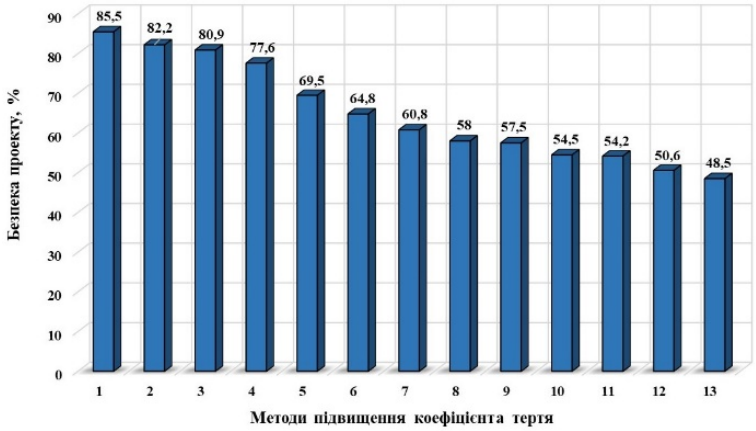


Рис. 4. Оцінка ризику впровадження інноваційних методів збільшення коефіцієнта зчеплення:
1 - активація електричним струмом, 2 - пневмо-імпульсне очищення, 3 - пневмоструйне очищення,
4 - шліфування рейок, 5 - очищення сухим льодом, 6 - лазерне очищення, 7 - використання модифікаторів тертя,
8 - плазмове очищення, 9 - очищення НВЧ і УФ, 10 - подача керамічних частинок, 11 - хімічне очищення,
12 - очищення магнітним полем, 13 - механічне очищення

Виконана оцінка ризику впровадження представлених вище інноваційних технічних рішень, результати якої представлені на рисунках 4 і 5.

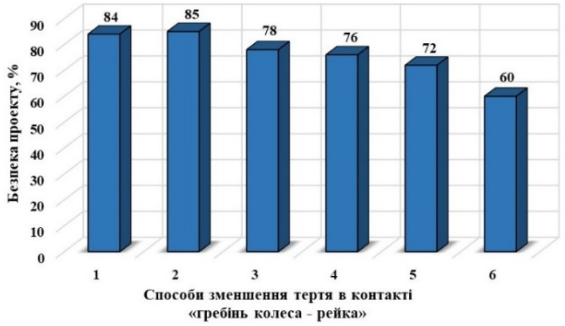
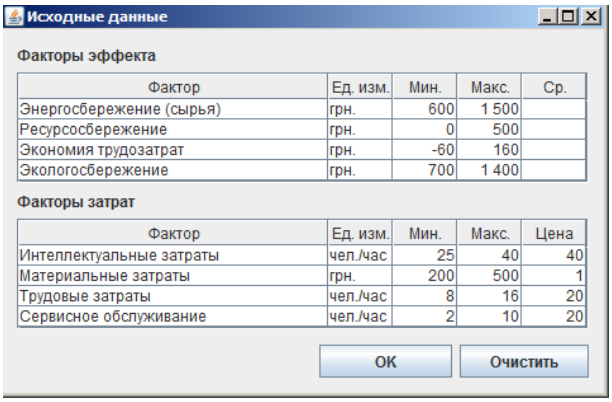


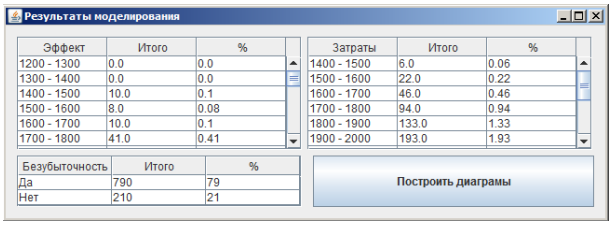
Рис. 5. Оцінка ризику впровадження інноваційних методів зниження тертя в контакті «гребінь колеса - рейка»:
1 - нанесення мастильних матеріалів на гребені колісних пар, 2 - нанесення мастильних матеріалів на рейки, 3 - нанесення мастильних матеріалів, які володіють магнітними властивостями, 4 - нанесення полімерних антифрикційних матеріалів, 5 - нанесення порошків на базі мінералів, 6 - нанесення реметаллізаторів на поверхню тертя

За результатами імітаційного моделювання, методом «Монте-Карло» було створено комп'ютерну програму «Програма оцінки ризиків та економічної безпеки впровадження інноваційних проектів», отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 54857 [11].

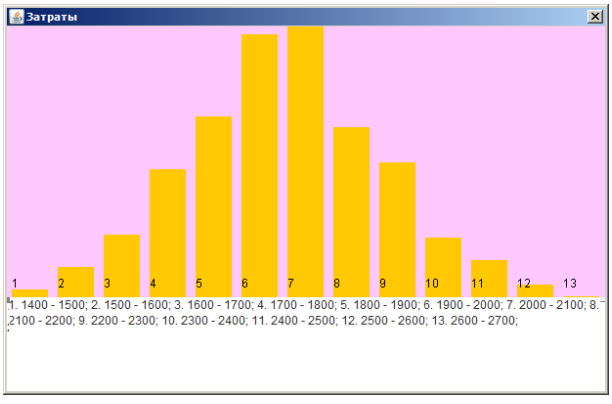
Програма оцінки ризиків та економічної безпеки впровадження інноваційних проектів визначає беззбитковість, ефект та витрати інноваційного проекту за відомими границями значень факторів ефекту та витрат, із застосуванням метода Монте-Карло, тобто шляхом отримання великого числа реалізацій стохастичного процесу, який формується таким чином, щоб його імовірнісні характеристики співпадали з аналогічними величинами розв'язуваної задачі.



а



б



в

Рис. 6. Вікна компьютерної програми авторського права на твір № 54857:
а – вікно вводу вхідних параметрів,
б – вікно результатів моделювання, в – діаграма витрат

У першому вікні програми необхідно ввести мінімальні та максимальні значення факторів ефекту та витрат, які враховуються у розрахунках (рис. 6, а). Також для факторів витрат зазначається ціна.

В наступному вікні наводяться результати моделювання стохастичного процесу (рис. 6, б). В таблицях наведено дані щодо ймовірностей відповідного значення ефекту або витрат, ймовірність беззбитковості проекту. За всіма таблицями будуються стовбчасті діаграми (рис. 6, в).

Висновки. Застосування запропонованої процедури процесу прийняття рішень дозволить підвищити рівень економічної безпеки при впровадженні інноваційних технічних рішень на залізничному транспорті, спрямованих на зниження реальних загроз і ризиків економічної безпеки підприємства, оптимальний розподіл ресурсів для інноваційного розвитку залізничного виробництва.

У роботі використовувався метод оцінки ризику при впровадженні інноваційних технічних рішень для поліпшення фрикційної взаємодії в двоточковому контакті «колесо-рейка» на основі методу Монте-Карло, при цьому результати моделювання збігаються з прийняттям рішень по вибору найбільш перспективних способів поліпшення умов контактування в трибосполученні «колесо-рейка» методом експертного оцінювання [8, 12]. В результаті проведеного імітаційного моделювання виявлено найменш ризиковані технічні рішення, для впровадження на залізничному транспорті, спрямованих на їх зниження.

Література

1. Инновации в промышленности. Справочник экономиста. К.: 2004. – №2. – 94 с.
2. Христиановский В.В. Экономический риск и методы его измерения / В.В. Христиановский, В.П. Щербина // Донецк ДонНУ, 2000. – 197 с.
3. Бузько І.Р. Стратегічне управління інвестиціями та інноваційна діяльність підприємства / І.Р. Бузько, О.В. Вартанова, Г.О. Голубенко // Монографія. – Луганськ, 2002. – 176 с.
4. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: Теория и практика. – 2-е изд. – М.: ПолиМЕдиа, 2002. – 192 с.
5. Ноженко В.С. Поліпшення триботехнічних характеристик двоточкового контакту «колесо-рейка» активацією поверхонь: дис. … канд. техн. наук : 05.22.07 / В.С. Ноженко, Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. – Сєвєродонецьк, 2016. – 152 с.
6. Щелоков Я.М. Энергетическое обследование: справочное издание. / Я.М. Щелоков, Н.И. Данилов, Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 243 с.
7. Колтынюк Б.А. Инвестиции. Учебник. – СПб.: Изд-во «Михайлова В.А.», 2003. – 850 с.
8. Ковтанец М.В. Применение экспертного оценивания для принятия технического решения [Електронний ресурс] / М.В. Ковтанец, Е.А. Кравченко, Н.Н. Горбунов, Г.А. Бойко, О.В Просвирова // Наукові вісті Далівського університету: зб. наук. праць. – 2012. – № 7. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/Tehno/12kmvptr.pdf. – Назва з екрану.
9. Gorbunov M. Reducing the wheel-rail system wear intensity with thermomechanical impact / M. Gorbunov, M. Kovtanets, G. Bureika, T. Kovtanets // Proceedings of the 23nd International Scientific Conference. Transport Means 2019, 02-04 October, Palanga, Lithuania. 2019. – P. 1260-1265.
10. Gorbunov M. Experimental study of the limit-maximum adhesion coefficient / M. Gorbunov, M. Kovtanets, T. Kovtanets / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 382-386.
11. Gorbunov M. Innovative risks of introducing advanced technical solutions in transport / M. Gorbunov, V. Nozhenko, M. Kovtanets, O. Porkuyan / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 97-101.
12. Gorbunov M. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia. – 2017. – Vol. 13, ISSN 2345-0533. – P. 159-164.

References

1. Industry innovation. Economist's Handbook. K.: 2004. – №2. – 94 p.
2. Khristianovsky V.V. Economic risk and methods of its measurement / V.V. Khristianovsky, V.P. Shcherbina // Donetsk National University, 2000. – 197 p.
3. Buzko I.R. Strategic management of investments and innovative activity of the enterprise / I.R. Buzko, O.V. Vartanova, G.A. Golubenko // Monograph. – Lugansk, 2002. – 176 p.
4. Elokhin A.N. Risk Analysis and Management: Theory and Practice. – 2nd ed. – M.: PolyMedia, 2002. – 192 p.
5. Nozhenko V.S. Improving the tribotechnical characteristics of the two-point contact «wheel-rail» by activating surfaces: dis. … cand. tech. science: 05.22.07 / V.S. Nozhenko, East Ukrainian. nat. univ. V. Dahl. – Severodonetsk, 2016. – 152 p.
6. Shchelokov Ya.M. Energy survey: reference publication / Ya.M. Shchelokov, N.I. Danilov, Yekaterinburg: UrFU, 2011. – 243 p.
7. Koltynyuk B.A. Investments. Textbook. – SPb.: Publishing house «Mikhailova V.A.», 2003. – 850 p.
8. M.V. Kovtanets The use of expert evaluation for making a technical decision [Electronic resource] / M.V. Kovtanets, E.A. Kravchenko, N.N. Gorbunov, G.A. Boyko, O. Prosvirova // Science of the Daliv University: zb. sciences. good. – 2012. – No. 7. – Access mode: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/Tehno/12kmvptr.pdf. - Name the screen.
9. Gorbunov M. Reducing the wheel-rail system wear intensity with thermomechanical impact / M. Gorbunov, M. Kovtanets, G. Bureika, T. Kovtanets // Proceedings of the 23nd International Scientific Conference. Transport Means 2019, 02-04 October, Palanga, Lithuania. 2019. – P. 1260-1265.
10. Gorbunov M. Experimental study of the limit-maximum adhesion coefficient / M. Gorbunov, M. Kovtanets, T. Kovtanets / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 382-386.
11. Gorbunov M. Innovative risks of introducing advanced technical solutions in transport / M. Gorbunov, V. Nozhenko, M. Kovtanets, O. Porkuyan / Proceedings of

24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 97-101.
12. Gorbunov M. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia. – 2017. – Vol. 13, ISSN 2345-0533. – P. 159-164.

Nozhenko V.S., Kovtanets M.V., Sergienko O.V., Kovtanets T.M., Vakulik M.M. Assessment of the risks of introducing promising technical solutions in transport.

The article analyzes possible ways of investment for the development of production technologies on the example of railway transport and the related decision-making process. One of the methods that allows you to quantify the risks of implementation, namely to model random variables to calculate the characteristics of their distributions, is the Monte-Carlo method. Monte-Carlo modeling allows you to build a mathematical model for a process with indeterminate parameter values, and, knowing the probabilistic distributions of process parameters, as well as the relationship between parameter changes (correlation), to obtain a distribution of project profitability. Monte-Carlo simulation has several stages. The first stage in the process of risk analysis is the creation of a forecast model. This model determines the mathematical relationships between numerical variables that relate to the forecast of the selected financial indicator. The second stage is to simulate the forecast model. A fairly large amount of random scenarios is generated, each of which corresponds to a certain value of cash flows. The generated scenarios are collected together and statistically processed to determine the proportion of scenarios that correspond to a negative NPV value. The ratio of such scenarios to the total number of scenarios provides an assessment of investment risk. For an illustrative example, consider promising technologies, namely methods for optimizing the frictional interaction of the wheel with the rail, which is the basis for the safety of rolling stock. They are applicable to rail transport and are theoretically cost-effective, but in practice the solution of these issues is associated with a certain degree of risk, which is currently difficult to predict and take into account, so we will be based on methods of optimizing frictional interaction of wheels with rails. Based on the results of simulation, the Monte Carlo method was used to create a computer program "Program for assessing risks and economic security of the implementation of innovative projects", a certificate of registration of copyright for the work was received. The results of simulation are the forecasting of the most and least risky technical solutions for implementation in railway transport, aimed at reducing them.

Keywords: *decision making, risk, innovation, research, risk management, implementation, rail transport.*

Ноженко Володимир Сергійович – к.т.н., проректор з науково-педагогічної роботи та комунікацій СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Ковтанець Максим Володимирович – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Сергієнко Оксана Вікторівна – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Ковтанець Тетяна Миколаївна – аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
Вакулік Марина Михайлівна – аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.

Стаття подана 04.05.2021 .

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-88-93

УДК 621.22:621.694

ВПЛИВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХОРОКАМЕРНОГО НАСОСУ

Роговий А.С., Нескоромений А.О.

INFLUENCE OF THE MEASURING INSTRUMENT ON THE CHARACTERISTICS OF THE VORTEX CHAMBER PUMP

Rogovyi A.S., Neskorozhenyi A.O.

При проведенні верифікації важливим є питання відповідності картин течії, отриманих експериментально і чисельним моделюванням, особливо якщо вплив вимірювальної апаратури на потік є істотним. Тому актуальною стає задача встановлення впливу вимірювального інструменту на параметри течії в гідравлічній машині. Автори даної роботи чимало часу досліджують нові струминні насоси, названі вихорокамерними насосами. Ці насоси дозволяють використовувати переваги струминної техніки і лопатевих насосів на основі обертання потоку всередині вихровий камери. Течії в вихрових камерах є одними з найскладніших течій в гідроаеродінаміці, тому вплив вимірювальних приладів на потік може бути дуже значним. У даній роботі на основі чисельного вирішення рівнянь Рейнольдса проведено порівняння картин течії у вихорокамерному насосі з вимірювальним інструментом різного діаметру і без нього.

***Ключові слова**: вихорокамерний насос, вимірювальний інструмент, чисельне моделювання, характеристики, вимірювання швидкості*

Вступ. На сьогоднішній день аерогідромеханіка розвивається в трьох основних напрямках: теоретичний, експериментальний і обчислювальний. Кожний з трьох напрямків має свої особливості і використовується практично всіма дослідниками при вирішенні будь-яких проблем гідрогазодинаміки [1]. Часто всі три напрямки тісно переплетені внаслідок необхідності експериментальної перевірки як теоретичних, так і обчислювальних результатів. Однак, під час експериментальних досліджень часто виникає проблема впливу вимірювальної апаратури на об'єкт вимірювання, зокрема на течію рідини або газу в замкнутих або відкритих просторах [2].

Збурення потоку вимірювальними приладами змушує дослідників вибирати оптичні методи дослідження [3]. Але, ці методи значно збільшують вартість експериментальних досліджень, внаслідок високої вартості вимірювальної апаратури оптичного типу. З іншого боку, використовуючи контактні способи вимірювання швидкості потоку такі як трубки Піто, термоанемометри дослідник повинен бути впевнений в тому, що результати вимірювання дійсно можна порівнювати з результатами розрахунків і вплив апаратури на параметри течії мінімальний.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню методик аерогідромеханічних експериментів присвячена досить велика кількість робіт [3-6]. Зазвичай ці методики не враховують вплив інструменту вважаючи його незначним, або таким, що уникнути спотворень неможливо. З іншого боку, очевидно, що вплив інструменту залежить від характеру течії рідини. У прямолінійних потоках, задача обтікання циліндричних і сферичних тіл вирішена в багатьох роботах [7-9] чисельним, аналітичним і експериментальним шляхом. Дослідники приходять до висновку про значний можливий вплив на кінематичні характеристики потоку. Однак, на інтегральні характеристики, такі як втрати тиску, вплив вимірювальної апаратури можна досить легко розрахувати на основі визначення коефіцієнта втрат на місцевих опорах [10].

Втратам енергії, а також обтіканню циліндрів в криволінійних потоках, подібних потокам в вихорокамерних насосах [11], присвячене вкрай мала кількість досліджень. Вихорокамерні насоси (ВКН) – це насоси, в яких робочий процес реалізований на основі комбінування робочих процесів відцентрового і прямоточного струминного насосів [12]. Струминні насоси мають низькі показники енергоефективності перекачування, що спонукає шукати шляхи поліпшення ККД струминної техніки [13] шляхом пошуку можливих комбінацій робочих процесів і використання відцентрової сили [14].

Дослідження гідродинамічних особливостей течії в ВКН є актуальною проблемою внаслідок того, що ВКН мають більш високі показники ефективності перекачування сипучих матеріалів в порівнянні з прямоточними струминними насосами [15] і

значно більш високі показники надійності і довговічності в порівнянні з відцентровими насосами [16].

Метою роботи є дослідження впливу вимірювального інструменту на характеристики течії в вихорокамерних насосах, а також порівняння результатів, одержуваних при вимірах, з параметрами незбуреного потоку. Прогнозування можливої помилки експерименту дозволить коректно вибрати розмір вихрової камери насоса для проведення експериментальних досліджень.

Результати досліджень. ВКН відноситься до насосів струминного типу і володіє всіма основними перевагами струминної техніки: високі показники надійності і довговічності, можливість перекачування практично будь-яких середовищ. Підвищення ККД перекачування ВКН, в порівнянні з прямоточними струминними насосами, реалізовано за рахунок використання відцентрової сили. Таким чином, використовуються позитивні властивості відцентрового і струминного насосів. Використання відцентрової сили призводить до створення вакууму поблизу осі обертання потоку в вихровий камері і підвищенню надлишкового тиску на периферії камери. Взагалі кажучи, існує дві різні конструкції ВКН, що реалізують два різних робочих процеси: викид середовища через осьовий дренажний канал і всмоктування потоків, що перекачуються через два осьових канали. У даній роботі розглянуто ВКН з другим робочим процесом. Особливості впливу вимірювального інструменту на течію в ВКН очікуються приблизно однаковими. Передбачається, що висновки, зроблені щодо співвідношення розміру вимірювального інструменту і розміру вихрової камери або осьових каналів не залежатимуть від того, який саме робочий процес реалізує ВКН. Конструктивні особливості і характеристики насоса можна знайти в роботах [11,12, 14-17].

Методологія досліджень складалася з двох етапів: 1) моделювання течії в модельному насосі; 2) порівняння характеристик течії, а також значень швидкості і тиску в точках установки вимірювального інструменту.

Математичне моделювання течії засноване на CFD-дослідженнях (computational fluid dynamics). У даній роботі математична модель складалася з рівнянь Нав'є-Стокса осереднених за Рейнольдсом, рівняння нерозривності і рівнянь SST-моделі (Shear Stress Transport) турбулентності. Математична модель в даній статті не приведена, але її можна знайти в роботах [11, 16, 18]. Похибки визначення вакууму, що виникають поблизу осі обертання мінімізовані застосуванням поправки на кривизну ліній струму і обертання потоку [18-20].

Для розрахунку математичної моделі застосовувався пакет прикладних програм OpenFoam [21].

Верифікація пакета програм, математичної моделі течії в ВКН проведена в роботах [11, 16] на основі порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними.

Розрахунки проводилися в стаціонарній і нестаціонарної постановках. Число Куранта-Фрідріхса-Леві встановлювалося не більше 0,5. Використовувався метод контрольних обсягів і PISO-алгоритм (Pressure Implicit with Splitting of Operators), чисельні схеми другого порядку. Розрахунок закінчувався в разі досягнення нев'язань рівнянь значень 10^{-5}. Друга необхідна умова завершення розрахунку – сталість витрати за ітераціями або за часом. Критерій сталості витрати обраний величиною 1%.

Сітка застосовувалася неструктурована, будувалася на основі тетрагональних і призматичних елементів поблизу твердих стінок. Визначення мінімально достатньої сітки здійснено на основі порівняння результатів з чотирма різними сітками: 1, 3, 6 і 12 млн. елементів. Тому що інтегральні результати розрахунку на сітках починаючи з 3 млн. елементів відрізнялися не більше ніж на 1%, вирішено для всіх розрахунків використовувати сітки з 3 млн. елементів. Значення y^+ контролювалося таким, що не перевищує 4 [22].

Граничні умови: вхідний канал – завдавався повний тиск; два осьових канали – відкрита границя з нульовим відносним статичним тиском; вихідний канал – нульовий відносний статичний тиск; тверді стінки – умова прилипання з нульовою швидкістю; вхідний канал, що імітує вимірювальний інструмент – відкрита границя зі статичним тиском, що дорівнював тиску всередині вихрової камери, який визначався в процесі розрахунку. Робоча рідина – вода з густиною 997 кг / м^3.

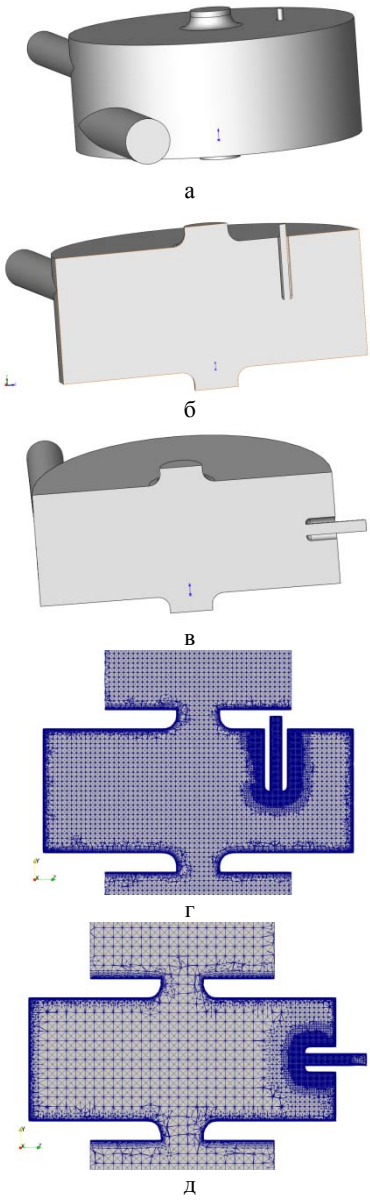
На рис. 1 представлена розрахункова схема ВКН у вигляді твердотільної моделі для розрахунків, а також сітка і особливості подрібнення сітки поблизу встановлення вимірювального інструменту.

Вимірювальний інструмент встановлювався в меридіональної площині в отворі в торцевій кришці насоса на відстані половини радіуса вихрової камери (рис. 1б, г) та на боковій поверхні камери (1в, д). Досліджувався вплив відносного розміру інструменту на характеристики, картини течії і значення швидкості (тиску) в точці вимірювання. Діаметр інструменту відносився до діаметру горла вихровий камери.

Інтенсивність турбулентності задана величиною 5%, згідно роботи [23]. Значення повного тиску на вході задаволось таким, щоб гарантувати турбулентні режими течії з числами Рейнольдса в діапазоні $\mathrm{Re} = 10^3..10^7$, що дозволило стверджувати про автомодельність отриманих режимів роботи насоса.

Досліджені відносні розміри інструменту: $\bar{d} = 1,0;\ 0,75;\ 0,5;\ 0,25;\ 0,125$. На рис. 2, 3 наведено порівняння картин течії в насосі з інструментом і без в різних площинах (розмір інструменту $\bar{d} = 0,5$). Діаметр віднесено до діаметру горла вихрової камери.

Розподіл швидкостей в вихровий камері із інструментом, розташованим у торцевій верхній стінці характерний для обтікання круглого циліндра (Рис. 2,б).



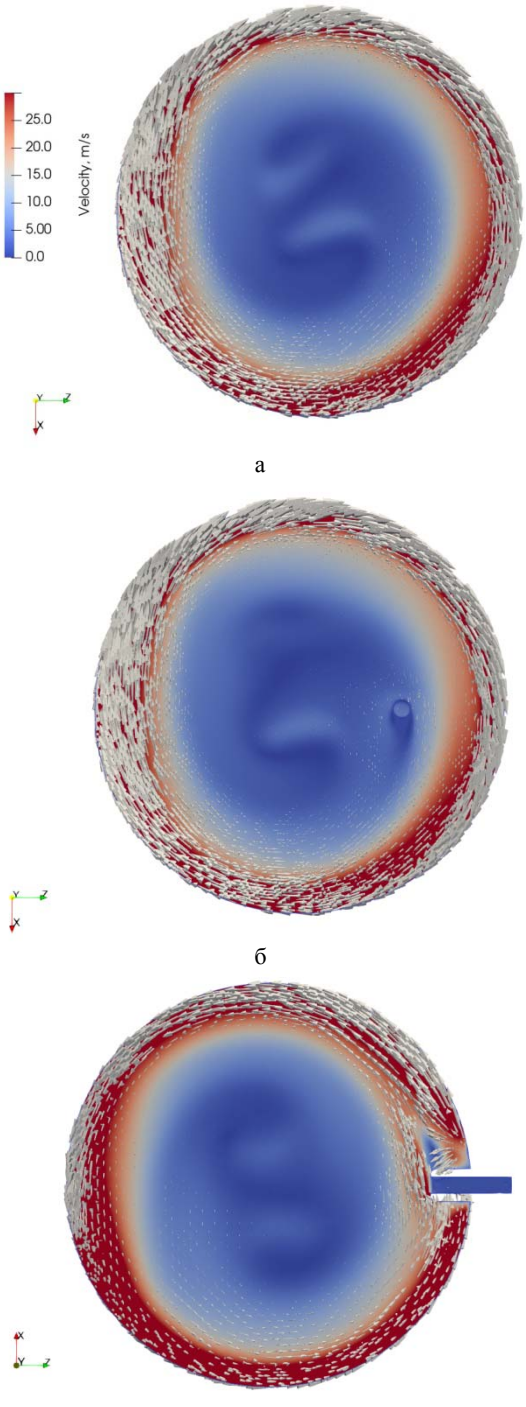
а б в г д

Рис. 1. Розрахункова модель з різним положенням вимірювального інструменту (а, б, в) та сіткове розбиття: г – 5 млн. елементів, д – 3 млн. елементів

Установка вимірювального інструменту в торцевій кришці вихрової камери призводить до зменшення витрати, що всмоктується насосом через нижній осьовий канал (Рис. 3,б). Крім того, помітно дроблення вихору на верхній торцевій кришці, що призводить до невеликого зниження вакууму поблизу осі.

Аналізуючи рис. 2,в та 3,в можна помітити, що розташування вимірюючого інструменту має значний локальний вплив на течію поблизу точки установки: змінюються розподіли тисків та швидкостей. Загальний вплив на енергетичні характеристики насоса наведено в табл. Показники роботи ВКН віднесено до показників роботи ВКН без вимірювального інструменту.

Вимірювання, зроблені за допомогою отворів на торцевих кришках вихрової камери, мають незначний вплив на енергетичні показники роботи насосу. Але погіршення показників знаходиться в межах 5 % в широкому діапазоні зміни відносного діаметру інструменту, що є в межах похибки вимірювання.



а б в

Рис. 2. Розподіл швидкості в насосі в горизонтальній площині, проведеній через середину висоти вихрової камери: а – без інструменту; б – з інструментом в торцевій кришці $\overline{d} = 0,5$; в – з інструментом в бічній поверхні вихрової камери $\overline{d} = 0,5$

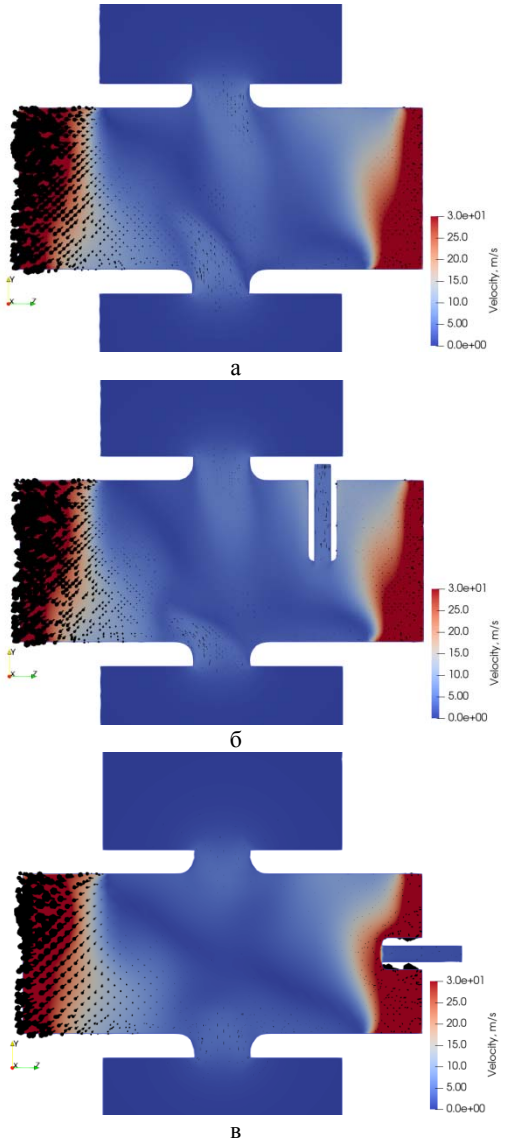


Рис. 3. Розподіл швидкості в насосі

Таблиця

Вплив інструменту на енергетичні показники роботи ВКН

Параметр	ККД	Тиск на виході з насосу	Витрата середовища, що перекачується
Без інструменту	1,0	1,0	1,0
Інструмент діаметром $\bar{d}=0,5$ розташовано на торцевій кришці	0,96	1,0	0,96
Інструмент діаметром $\bar{d}=0,5$ розташовано на бічній поверхні	0,79	0,92	0,855
Інструмент діаметром $\bar{d}=1,0$ розташовано на бічній поверхні	0,32	0,76	0,42

Розташування інструменту на бічній поверхні вихрової камери неприпустиме внаслідок значного погіршення енергетичних показників роботи ВКН, що вказує на значні похибки вимірів. Так, використання інструменту з $\bar{d}=1,0$ приводить до зниження ККД насосу на 68 %, внаслідок впливу інструменту на течію. Зменшення відносного діаметру інструменту приводить до зменшення збурення потоку, але для того, щоб мінімізувати вплив інструменту необхідно гарантувати відносний розмір інструменту $\bar{d}<0,1$, що досить складно досягти під час експериментальних досліджень та й потребує значного збільшення розміру моделі насоса.

Висновки. На основі чисельного моделювання течії в вихорокамерних насосах досліджено впливу вимірювального інструменту на характеристики течії, а також проведено порівняння результатів, одержуваних при вимірах, з параметрами незбуреного потоку. Прогнозування можливої помилки експерименту дозволить коректно вибрати розмір вихрової камери насоса для проведення експериментальних досліджень.

1. Вимірювання зроблені за допомогою отворів на торцевих кришках вихрової камери мають незначний вплив на енергетичні показники роботи насосу у межах 5 % в широкому діапазоні зміни відносного діаметру інструменту.
2. Розташування інструменту на бічній поверхні вихрової камери неприпустиме внаслідок значного погіршення енергетичних показників роботи ВКН, що вказує на значні похибки вимірів.

Література

1. Загорулько А.В. Програмний комплекс ANSYS в інженерних задачах: Навчальний посібник. Суми: Вид-во СумДУ, 2008. 201 с.
2. Tu Jiyuan, Guan Heng Yeoh, Chaoqun Liu. Computational fluid dynamics: a practical approach. Butterworth-Heinemann, 2018. 478 p.
3. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1974. 480 с.
4. Voskoboinick V.A., Turick V.N., Voskoboinyk O.A., Voskoboinick A.V., Tereshchenko I.A. Influence of the deep spherical dimple on the pressure field under the turbulent boundary layer. In International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications, 2018. pp. 23-32.
5. Evdokimov O.A., Guryanov A.I., Mikhailov A.S., Veretennikov S.V., Stepanov E.G. Experimental investigation of burning of pulverized peat in a bidirectional vortex combustor. Thermal Science and Engineering Progress, 2020. Vol. 18, pp. 100565.
6. Коваленко А.О., Сьомін Д.О., Роговий А.С. Планування та обробка результатів випробувань гідропневмосистем: Навчальний посібник. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2011. 216 с.
7. Pereira F.S., Eça L., Vaz G., Girimaji S.S. (On the simulation of the flow around a circular cylinder at Re= 140,000. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2019. Vol. 76, pp. 40-56.
8. Grioni M., Elaskar S., Mirasso A.E. Scale-adaptive simulation of flow around a circular cylinder near a plane

boundary. Journal of Applied Fluid Mechanics, 2018, Vol. 11.6, pp. 1477-1488.
9. Zhou Xiao, JinJun Wang, Ye Hu. Experimental investigation on the flow around a circular cylinder with upstream splitter plate. Journal of Visualization, 2019. Vol. 22.4, pp. 683-695.
10. Khalatov A.A., Kovalenko G.V., Meyris A.J. Heat transfer at the cross flow of a tube with an artificial asymmetry. Thermophysics and Thermal Power Engineering, 2017, Vol. 39.4, pp. 27-32.
11. Rogovyi A.S. Verification of Fluid Flow Calculation in Vortex Chamber Superchargers. Автомобильный транспорт. 2016. Вып. 39. С. 39-46.
12. Роговий, А. С. Концепція створення вихорокамерних нагнітачів та принципи побудови систем на їх основі. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. No. 233, С. 168-173.
13. Evdokimov O.A. The influence of the ratio of the diameters of the vortexes and mixing chambers of a vortex ejector on its own characteristics. In AIP Conference Proceedings, 2020. Vol. 2211(1), 2020060001.
14. Сьомін Д.О., Роговий А.С., Левашов А.М. Вплив закручення потоку, що перекачується, на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів. Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати, 2016. (20), С. 68-71.
15. Роговой А.С. Применение вихрекамерных нагнетателей в гидро- и пневмотранспортных системах. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Машинобудування, 2016. № 3(78). С.65-70.
16. Сьомін Д.О., Роговий А.С. Вихорокамерні нагнітачі: монографія. Харків, 2017. 204 с.
17. Rogovyi A., Korohodskyi V., Khovanskyi S., Hrechka I., Medvediev Y. Optimal design of vortex chamber pump. In Journal of Physics: Conference Series, 2021. Vol. 1741 (1), p. 012018).
18. Rogovyi A., Korohodskyi V., Medvediev Y. Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump. Energy, 2021. Vol. 218, pp. 119432.
19. Smirnov P. E., Menter F. R. Sensitization of the SST turbulence model to rotation and curvature by applying the Spalart–Shur correction term. Journal of Turbomachinery, 2009, vol. 131, no. 4. 041010. pp. 1-8.
20. Alahmadi Y.H., Nowakowski A.F. Modified shear stress transport model with curvature correction for the prediction of swirling flow in a cyclone separator. Chemical Engineering Science. 2016. Vol. 147. pp. 150-165.
21. Huang S., Wei Y., Guo C., Kang W. Numerical Simulation and Performance Prediction of Centrifugal Pump's Full Flow Field Based on OpenFOAM. Processes, 2019. Vol. 7(9), 605. pp. 1-11
22. Besagni G., Inzoli F. Computational fluid-dynamics modeling of supersonic ejectors: Screening of turbulence modeling approaches. Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 117. pp. 122-144.
23. Han X., Sagaut P., Lucor D. On sensitivity of RANS simulations to uncertain turbulent inflow conditions, Comput. Fluids. 2012. Vol. 61. pp. 2-5.
24. Evdokimov, O. A., Piralishvili, S. A., Veretennikov, S. V., Guryanov, A. I. CFD Simulation of a Vortex Ejector for Use in Vacuum Applications. In Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1128, No. 1, P. 012127.

R e f e r e n c e s

1. Zahorul'ko A.V. Prohramnyy kompleks ANSYS v inzhenernykh zadachakh: Navchal'nyy posibnyk. Sumy: Vyd-vo SumDU, 2008. 201 s.
2. Tu Jiyuan, Guan Heng Yeoh, Chaoqun Liu. Computational fluid dynamics: a practical approach. Butterworth-Heinemann, 2018. 478 p.
3. Povh I.L. Ajerodinamicheskij jeksperiment v mashinostroenii. Leningrad: Mashinostroenie, 1974. 480 s.
4. Voskoboinick V.A., Turick V.N., Voskoboinyk O.A., Voskoboinick A.V., Tereshchenko I.A. Influence of the deep spherical dimple on the pressure field under the turbulent boundary layer. In International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications, 2018. pp. 23-32.
5. Evdokimov O.A., Guryanov A.I., Mikhailov A.S., Veretennikov S.V., Stepanov E.G. Experimental investigation of burning of pulverized peat in a bidirectional vortex combustor. Thermal Science and Engineering Progress, 2020. Vol. 18, pp. 100565.
6. Kovalenko A.O., Syomin D.O., Rogovyi A.S. Planuvannya ta obrobka rezul'tativ vyprobuvan' hidropnevmosystem: Navchal'nyy posibnyk. Luhans'k: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, 2011. 216 s.
7. Pereira F.S., Eça L., Vaz G., Girimaji S.S. (On the simulation of the flow around a circular cylinder at Re= 140,000. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2019. Vol. 76, pp. 40-56.
8. Grioni M., Elaskar S., Mirasso A.E. Scale-adaptive simulation of flow around a circular cylinder near a plane boundary. Journal of Applied Fluid Mechanics, 2018, Vol. 11.6, pp. 1477-1488.
9. Zhou Xiao, JinJun Wang, Ye Hu. Experimental investigation on the flow around a circular cylinder with upstream splitter plate. Journal of Visualization, 2019. Vol. 22.4, pp. 683-695.
10. Khalatov A.A., Kovalenko G.V., Meyris A.J. Heat transfer at the cross flow of a tube with an artificial asymmetry. Thermophysics and Thermal Power Engineering, 2017, Vol. 39.4, pp. 27-32.
11. Rogovyi A.S. Verification of Fluid Flow Calculation in Vortex Chamber Superchargers. Automobile Transport. 2016. Vol. 39. pp. 39-46.
12. Rogovyi A.S. Kontseptsiya stvorennya vykhorokamernykh nahnitachiv ta pryntsypy pobudovy system na yikh osnovi. Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya, 3(233), 2017. S. 168-173.
13. Evdokimov O.A. The influence of the ratio of the diameters of the vortexes and mixing chambers of a vortex ejector on its own characteristics. In AIP Conference Proceedings, 2020. Vol. 2211(1), 2020060001.
14. Syomin D.O., Rogovyi A.S., Levashov A.M. Vplyv zakruchennya potoku, shcho perekachuyet'sya, na enerhetychni kharakterystyky vykhrekamernykh nasosiv. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu KhPI. Seriya: Hidravlichni mashyny ta hidroahrehaty 2016. (20), S. 68-71.
15. Rogovyi A.S. Primenenie vihrekamernyh nagnetatelej v gidro- i pnevmotransportnyh sistemah. Visnyk NTUU "KPI". Seriya Mashynobuduvannya, 2016. 3(78), S. 65-70.
16. Syomin D.O., Rogovyi A.S. Vykhorokamerni nahnitachi. Monograph. Kharkiv. 2017. 204 s.
17. Rogovyi A., Korohodskyi V., Khovanskyi S., Hrechka I., Medvediev Y. Optimal design of vortex chamber pump.

In Journal of Physics: Conference Series, 2021. Vol. 1741 (1), p. 012018).
18. Rogovyi A., Korohodskyi V., Medvediev Y. Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump. Energy, 2021. Vol. 218, pp. 119432.
19. Smirnov P. E., Menter F. R. Sensitization of the SST turbulence model to rotation and curvature by applying the Spalart–Shur correction term. Journal of Turbomachinery, 2009, vol. 131, no. 4. 041010. pp. 1-8.
20. Alahmadi Y.H., Nowakowski A.F. Modified shear stress transport model with curvature correction for the prediction of swirling flow in a cyclone separator. Chemical Engineering Science. 2016. Vol. 147. pp. 150-165.
21. Huang S., Wei Y., Guo C., Kang W. Numerical Simulation and Performance Prediction of Centrifugal Pump's Full Flow Field Based on OpenFOAM. Processes, 2019. Vol. 7(9), 605. pp. 1-11
22. Besagni G., Inzoli F. Computational fluid-dynamics modeling of supersonic ejectors: Screening of turbulence modeling approaches. Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 117. pp. 122-144.
23. Han X., Sagaut P., Lucor D. On sensitivity of RANS simulations to uncertain turbulent inflow conditions, Comput. Fluids. 2012. Vol. 61. pp. 2-5.
24. Evdokimov, O. A., Piralishvili, S. A., Veretennikov, S. V., Guryanov, A. I. CFD Simulation of a Vortex Ejector for Use in Vacuum Applications. In Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1128, No. 1, P. 012127.

Rogovyi A.S., Neskorozhenyi A.O. Influence of the measuring instrument on the characteristics of the vortex chamber pump.

Perturbation of the flow by measuring instruments forces researchers to choose optical research methods. However, these methods significantly increase the cost of experimental research, due to the high cost of optical measuring equipment.

When conducting verification, it is important to match the flow patterns obtained experimentally and numerically, especially if the impact of measuring equipment on the flow is significant. Therefore, the task of defining the measuring tool influence on the flow parameters in the hydraulic machine becomes relevant. The authors of this paper have been researching new jet pumps called vortex chamber pumps for a long time. These pumps allow you to take advantage of jet technology and centrifugal pumps based on the rotation of the flow inside the vortex chamber. Flows in the vortex chambers are one of the most difficult flows in hydroaerodynamics, so the influence of measuring instruments on the flow can be very significant. In this paper, based on the numerical solution of Reynolds equations, a comparison of flow patterns in a vortex pump with a measuring instrument of different diameters and without it is conducted.

The mathematical model consisted of Reynolds-averaged Navier-Stokes equations, SST (Shear Stress Transport) equations of the turbulence model, continuity equations for incompressible fluid flow. The software was verified by comparing the results of experiments with the results of numerical simulations.

Measurements made by means of holes on the end caps of the vortex chamber have a negligible effect on the energy performance of the pump within 5% in a wide range of tool relative diameter changes.

The tool location at the side surface of the vortex chamber is not allowed due to a significant deterioration of the vortex chamber pumps energy performance, which indicates significant measurement errors.

Reducing the tool relative diameter reduces the perturbation of the flow, but in order to minimize the impact of the tool it is necessary to guarantee the tool relative diameter less than 0.1.

The installation of the measuring tool in the end cover of the vortex chamber leads to a decrease in the flow rate sucked by the pump through the lower axial channel.

Keywords: *vortex chamber pump, measuring instrument, numerical simulation, characteristics, velocity measurement.*

Роговий Андрій Сергійович – д.т.н., проф., завідувач кафедри гідравлічних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: asrogovoy@ukr.net.
Нескорожений Артем Олегович – аспірант кафедри теоретичної механіки та гідравліки ХНАДУ, м. Харків.

Статья подана 02.05.2021 .

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-94-99

УДК 629.463.65

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ГРЕЙФЕРНИМ КОВШЕМ

Фомін О.В., Ловська А.О., Павлюченков М.В.

RESEARCH OF LOADING OF THE GONDOLA CAR LOAD-BEARING STRUCTURE WHEN INTERACTING WITH THE GRAPPLE LOADER

Fomin O.V., Lovska A.O., Pavliyuchenkov M.V.

В матеріалах статті проведено визначення навантаженості несучої конструкції напіввагона при розвантаженні грейферним ковшем. Для забезпечення міцності верхнього обв'язування несучої конструкції напіввагона при ударній взаємодії з грейферним ковшем запропоновано впровадження в нього пружньо-в'язкого матеріалу, наприклад, еластоміру. З метою обґрунтування запропонованого рішення проведено розрахунок на міцність несучої конструкції напіввагона. При цьому використаний метод скінчених елементів, реалізований в програмному комплексі SolidWorks Simulation. Результати розрахунку підтвердили доцільність запропонованого заходу. Проведені дослідження сприятимуть зменшенню пошкоджень несучих конструкцій напіввагонів, а також підвищенню ефективності їх експлуатації.

Ключові слова: *транспортна механіка, напіввагон, несуча конструкція, міцність, навантаженість конструкції, збереження.*

Вступ. Забезпечення ефективності перевізного процесу в міжнародному сполученні викликає необхідність створення комбінованих взаємодій між окремими складовими транспортної галузі. Найбільш пріоритетними складовими транспорту на сьогоднішній день є залізничний та водний.

Дослідження умов експлуатації вагонів в міжнародному залізнично-водному сполученні показало, що має місце пошкодження елементів несучої конструкції кузовів, що обумовлено дією на них навантажень, які перевищують нормативні значення.

Для розвантаження напіввагонів в умовах морських портів використовуються грейфери (рис. 1).

Важливо зазначити, що даний спосіб розвантаження спричиняє значних пошкоджень конструкційних елементів кузовів, оскільки геометрія кузова не адаптована до взаємодії з грейферним ковшем. Найбільш поширеними пошкодженнями несучих конструкцій вагонів при розвантаженні грейферними ковшами є тріщини, деформації, розриви обв'язування та зварювальних швів тощо. При цьому найбільша частка пошкоджень припадає на верхнє обв'язування кузова (рис. 2).

Рис. 1. Розвантаження вагона грейферним ковшем

Тому виникає необхідність удосконалення несучих конструкцій напіввагонів з метою забезпечення їх збереження при експлуатації в залізничноводному сполученні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначення міцності несучої конструкції вагона типу Zans проводиться у роботах [1, 2]. Вагон має удосконалену конструкцію та покращені техніко-економічні характеристики. Розрахунок на міцність реалізований за методом скінчених елементів. Результати розрахунку підтвердили доцільність прийнятих при проектуванні рішень.

Важливо сказати, що при проектуванні даних конструкцій вагонів не передбачено заходів щодо адаптації їх конструкцій до надійної експлуатації в залізнично-водному сполученні.

Особливості теоретичних досліджень щодо оптимізації несучої конструкції вантажного вагона проводиться у роботі [3]. Розрахунок проведений за методом скінчених елементів. В якості вагона-прототипу використаний напіввагон типу "BOXN25".

а

б

Рис. 2. Пошкодження верхнього обв'язування кузовів напіввагонів при розвантаженні грейферними ковшами:
а – тріщини в верхньому обв'язуванні;
б – розрив верхнього обв'язування

Однак дані заходи не забезпечують міцності несучої конструкції вагона при взаємодії з засобами розвантаження.

Визначення міцності несучої конструкції вагона для інтермодальних перевезень проводиться у роботі [4]. При складанні розрахункової схеми використані стандарти PN-EN. Розрахунок реалізований за методом скінчених елементів.

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень міцнісних якостей елементів рухомого складу на прикладі хребтової балки вантажних вагонів висвітлюється у роботі [5]. Розрахунки виконано з використанням сучасного пакету прикладних програм. Представлений приклад використання запропонованого підходу засвідчив його працездатність та ефективність, а також правильність спрямування відповідних науково-дослідних робіт.

Разом з цим при проведенні розрахунків не враховано навантажень, що можуть діяти на вагон при експлуатації в залізнично-водному сполученні.

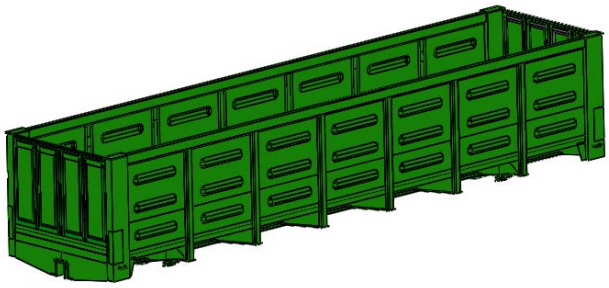
Вибір конструктивних рішень елементів вагонів з малою масою тари проводиться у роботі [6]. В якості методики використана порівняльна оцінка показників міцності, витривалості та стійкості несучої конструкції мінімальної маси, виготовленої з різних матеріалів.

Однак при цьому не враховано навантажень, які можуть діяти на несучу конструкцію при розвантаженні грейферними ковшами.

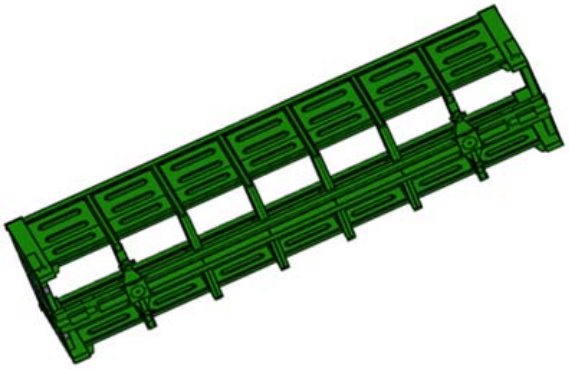
Мета статті. Метою статті є дослідження навантаженості несучої конструкції напіввагона при взаємодії з грейферним ковшем. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- визначити міцність несучої конструкції напіввагона при розвантаженні грейферним ковшем;
- запропонувати заходи щодо покращення міцності несучої конструкції вагона при розвантаженні грейферним ковшем;
- провести розрахунок на міцність несучої конструкції напіввагона з урахуванням запропонованих заходів щодо удосконалення.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою дослідження міцності несучої конструкції універсального напіввагона при взаємодії з грейферним ковшем в умовах завантажувально-розвантажувальних операцій, побудовано його просторову модель (рис. 3) в середовищі програмного комплексу SolidWorks (версія 2015).



а



б

Рис. 3. Просторова модель несучої конструкції напіввагона моделі 12-757:
а – вид збоку; б – вид зверху

Для виявлення зон конструкції напіввагону, які зазнають найбільших навантажень при взаємодії з грейферним ковшем проведено розрахунок на міцність.

При складанні розрахункової схеми несучої конструкції напіввагона при розвантаженні грейферним ковшем до уваги прийняті такі навантаження (рис. 4, 5):

$P_{в}^{ст}$ – вертикальне статичне навантаження, зумовлене вагою брутто несучої конструкції напіввагона;

$P_{вант}$ – зусилля розпору насипного вантажу на бокові та торцеві стіни;

$P_{уд}$ – ударне навантаження від грейфера на верхнє обв'язування.

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання на ходові частини. Для урахування пружних характеристик ресорного підвішування візка, на п'ятниках враховано жорсткість ресорних комплектів у вертикальній та горизонтальних площинах (рис. 5). Матеріал несучої конструкції – сталь марки 09Г2С.

Схема прикладення ударного навантаження $P_{уд}$ до несучої конструкції напіввагона при розвантажувально-завантажувальних операціях наведено на рис. 5.

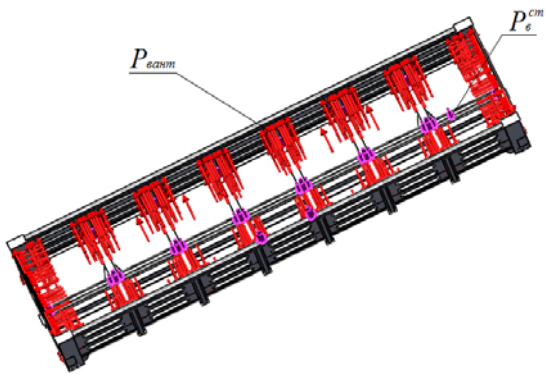


Рис. 4. Розрахункова схема несучої конструкції напіввагона при розвантаженні грейферним ковшем (вид зверху)

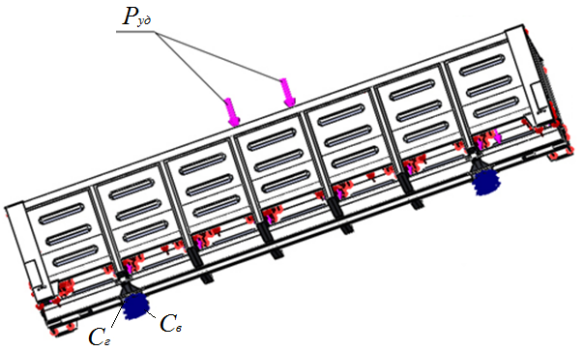


Рис. 5. Розрахункова схема несучої конструкції напіввагона при розвантаженні грейферним ковшем (вид збоку)

При цьому прийнято, що маса грейферного ковша складає 1800 кг, а швидкість опускання на верхнє обв'язування 0,36 м/с [7].

Розрахунок на міцність проведений з використанням методу скінчених елементів [8 – 10]. При визначенні кількості елементів сітки застосований графоаналітичний метод. В якості скінчених елементів застовувалися десятивузлові ізопараметричні тетраедри. Кількість елементів сітки склала 473652, вузлів – 154365, максимальний розмір елементу склав 80 мм, мінімальний – 16 мм, максимальне співвідношення боків – 566,7, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 25, більше 10 – 27,4. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7.

З метою моделювання ударної взаємодії грейферного ковша з верхнім обв'язуванням несучої конструкції напіввагона на ній встановлювалася накладка, геометричні параметри якої дорівнюють площі контактної взаємодії з грейферним ковшем (рис. 6).

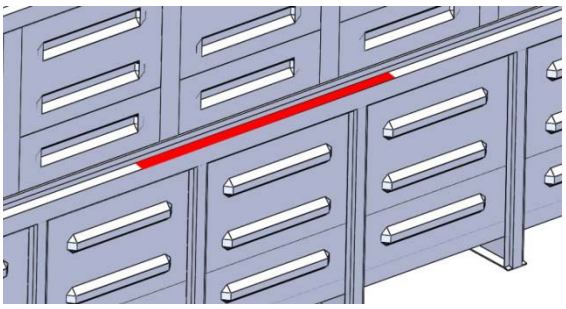


Рис. 6. Моделювання зони прикладення ударного навантаження до верхнього обв'язування кузова

Результати розрахунків на міцність кузова при ударній взаємодії з грейферним ковшем наведені на рис. 7.

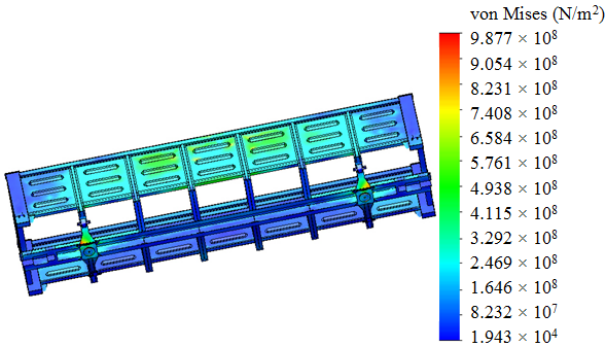


Рис. 7. Напружений стан несучої конструкції напіввагона при ударній взаємодії з грейферним ковшем

На підставі проведених розрахунків можна зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції напіввагона при ударному навантаженні грейферним ковшем складають 987,7 МПа, що перевищують допустимі для марки сталі металоконструкції на 286,3% [11, 12]. Максимальна концентрація напружень простежується у верхній частині обшивки кузова. Максимальні переміщення виникають в середній частині бокової стіни та складають 78,4 мм.

У зв'язку з цим з метою забезпечення міцності несучої конструкції напіввагона при розвантаженні грейферним ковшем необхідним є розробка заходів, спрямованих на її збереження.

Для зменшення навантаженості несучої конструкції напіввагона при розвантаженні грейферним ковшем в умовах морських портів запропоновано

введення в його несучу конструкцію пружно-в'язких зв'язків. В якості пружного-в'язкого елемента, що буде виконувати функції демпфера при ударній взаємодії грейферного ковша з верхнім обв'язуванням найбільш доцільно використовувати еластомір.

При цьому пропонується використання еластоміра з коефіцієнтом в'язкого опору 0,3 кН·с/м та частотою власних коливань 10 Гц, оскільки такі динамічні параметри еластоміра є найбільш оптимальними з точки зору забезпечення умов динамічної навантаженості кузова напіввагона, а саме – частота коливань елементів несучої конструкції повинна бути не менше 8 Гц з метою забезпечення його стійкості в експлуатації.

Важливо зазначити, що на сьогоднішній день промисловістю виготовляється велика кількість за характеристиками та властивостями полімерних матеріалів, які мають велику термостійкість, що дозволить при необхідності проводити зварювальні роботи на кузові напіввагону при ремонті.

Для дослідження міцності удосконаленої несучої конструкції напіввагона проведений розрахунок. Наявність еластоміра у верхньому обв'язуванні кузова напіввагона моделювалася постановкою тіла з геометричними характеристиками, ідентичними до внутрішнього перетину верхнього обв'язування кузова та відповідними характеристиками для еластоміра (рис. 8).

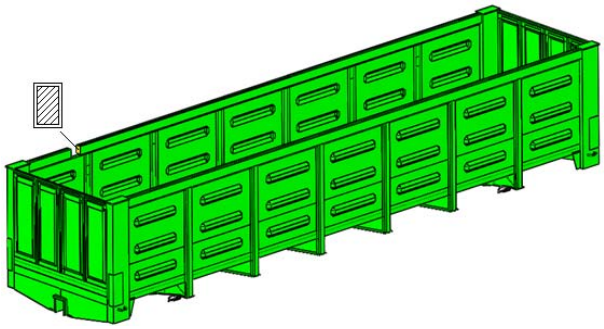


Рис. 8. Моделювання в'язких зв'язків у верхньому обв'язуванні несучої конструкції напіввагона

Визначення оптимальної кількості елементів скінчено-елементної моделі здійснено за графоаналітичним методом. При цьому кількість елементів склала 494489, кількість вузлів – 160639, максимальний розмір елементу дорівнював 80,0 мм, мінімальний розмір – 16,0 мм. Максимальне співвідношення боків елементів – 1000,9. Відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 26,9. Відсоток елементів з співвідношенням боків більше десяти – 26,2. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9. Співвідношення збільшення розміру елементу – 1,7.

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання на візки. Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С.

З проведених розрахунків можна зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції не перевищують допустимі і складають близько 320 МПа (рис. 9), максимальні переміщення дорівнюють близько 20 мм.

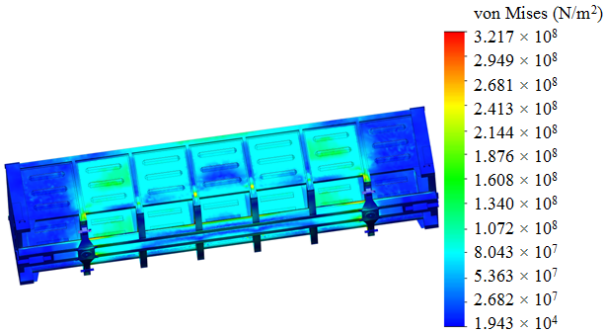


Рис. 9. Напружений стан несучої конструкції напіввагона при ударній взаємодії з грейферним ковшем

Отже міцність несучої конструкції напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення забезпечується [11, 12]. При цьому максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції зменшуються в три рази у порівнянні з типовою конструкцією.

Висновки. 1. Визначено міцність несучої конструкції напіввагона при розвантаженні грейферним ковшем. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції напіввагона при ударному навантаженні грейферним ковшем складають 987,7 МПа, що перевищують допустимі для марки сталі металоконструкції на 286,3%. Максимальна концентрація напружень простежується у верхній частині обшивки кузова. Максимальні переміщення виникають в середній частині бокової стіни та складають 78,4 мм.

2. Запропоновано заходи щодо покращення міцності несучої конструкції вагона при розвантаженні грейферним ковшем. При цьому пропонується впровадження в його несучу конструкцію пружно-в'язких зв'язків. В якості пружного-в'язкого елемента, що буде виконувати функції демпфера при ударній взаємодії грейферного ковша з верхнім обв'язуванням найбільш доцільно використовувати еластомір.

3. Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції напіввагона з урахуванням запропонованих заходів щодо удосконалення.

Максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції напіввагона при цьому складають близько 320 МПа, максимальні переміщення дорівнюють близько 20 мм. Отже міцність несучої конструкції напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення забезпечується. Важливо сказати, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції зменшуються в три рази у порівнянні з типовою конструкцією.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації напіввагонів в залізнично-водному сполученні.

Подяка. Дані дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених "Інноваційні засади

створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів", яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2020 р.

Література

1. Pavol Šťastniak. Investigation of strength conditions of the new wagon prototype type Zans / Pavol Šťastniak, Marián Moravčík, Lukáš Smetanka // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 254. 02037. https://doi.org/10.1051/matecconf/201925402037
2. Svetoslav Slavchev. Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans / Svetoslav Slavchev, Valeri Stoilov, S. Purgic // Journal of the Balkan Tribological Association. – 2015. – Vol. 21(1). P. 49-57.
3. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. P. 1891-1898.
4. Krason W. FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards / Krason W., Niezgoda T. // Bulletin of the Polish Academy of Sciences technical sciences. – 2014. – Vol. 62, No. 4. P. 843 – 851. DOI: 10.2478/bpasts-2014-0093 https://journals.pan.pl/Content/84047/PDF/28_paper.pdf
5. Недужа Л. О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона / Недужа Л. О., Швець А. О. // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2018. – № 1 (73). P. 131 – 147. doi: 10.15802/stp2018/123457
6. Ловська, А. О. Особливості моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами / А. О. Ловська // Вісник наукових праць СНУ ім. В. Даля. – 2017. – №4 (234). – С. 138 – 145.
7. ДСТУ ГОСТ 22235:2015 Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ (ГОСТ 22235-2010, IDT) [Действителен от 2016-02-01]. 2016.
8. Fomin, O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / O. Fomin, I. Kulbovsky, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061
9. Ловська, А. О. Дослідження міцності несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні / А. О. Ловська // Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – 2016. – Вип. 28. – С. 90 – 98.
10. Fomin, O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry / O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. Burlutski // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 7, Issue 1 (97). – P. 33–40. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154282
11. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
12. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.

References

1 Pavol Šťastniak. Investigation of strength conditions of the new wagon prototype type Zans / Pavol Šťastniak, Marián Moravčík, Lukáš Smetanka // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 254. 02037.

2 Svetoslav Slavchev. Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans / Svetoslav Slavchev, Valeri Stoilov, S. Purgic // Journal of the Balkan Tribological Association. – 2015. – Vol. 21(1). P. 49-57.

3 Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. P. 1891-1898.

4 Krason W. FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards / Krason W., Niezgoda T. // Bulletin of the Polish Academy of Sciences technical sciences. – 2014. – Vol. 62, No. 4. P. 843 – 851. DOI: 10.2478/bpasts-2014-0093 https://journals.pan.pl/Content/84047/PDF/28_paper.pd

5 Neduzha L. O. Teoretichni ta eksperimentalni doslidzhennya micznisnikh yakostej khrebtovoyi balki vantazhnogo vagona / Neduzha L. O., Shvecz A. O. // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo naczionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu. – 2018. – № 1 (73). P. 131 – 147. doi: 10.15802/stp2018/123457

6 Lovska, A. O. Osoblivosti modelyuvannya dinamichnoyi navantazhenosti vagona-platformi zchlenovanogo tipu z konteynerami / A. O. Lovska // Visnik naukovih prats SNU im. V. Dalya. – 2017. – №4(234). – P. 138 – 145.

7 DSTU GOST 22235:2015 Vagony gruzovye magistralnykh zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshhie trebovaniya po obespecheniyu sokhrannosti pri proizvodstve pogruzochno-razgruzochnykh i manevrovykh rabot (GOST 22235-2010, IDT) [Dejstvitelen ot 2016-02-01]. 2016.

8 Fomin, O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / O. Fomin, I. Kulbovsky, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061

9 Lovska, A. O. Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktsiyi konteynera-tsisterni, rozmischenogo na vagoni-platformi pri manevrovomu spivudaryanni / A. O. Lovska // Zbirnik naukovih prats DETUT: Seriya «Transportni sistemi i tehnologiyi». – 2016. – Vip. 28. – P. 90 – 98.

10 Fomin, O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry / O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. Burlutski // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 7, Issue 1 (97). – P. 33–40. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154282

11 DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhnI. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernIzovanih

vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih). [Chinniy vid 2015-07-01]. Kiyiv, 2015. 250 p.
12 GOST 33211-2014. Vagonyi gruzovyie. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. [Deystvitelen ot 2016-07-01]. Moskva, 2016. 54 p.

Fomin O.V., Lovska A.O., Pavliyuchenkov M.V. Research of loading of the gondola car load-bearing structure when interacting with the grapple loader.

Ensuring the efficiency of the transport process in international traffic necessitates the creation of combined interactions between the individual components of the transport industry. The most prioritized components of transport today are rail and water ones.

The study of operating conditions of wagons in international rail and water connection showed that there is damage to the elements of the load-bearing structure of the body, due to the action of loadings on them that exceed the normative values.

In the materials of the article, the determination of loading of the load-bearing structure of the gondola car when being unloaded with a grapple loader is carried out. It is established that the maximum equivalent stresses in the load-bearing structure of the gondola car under shock loading by the grapple loader are 987.7 MPa, which exceed the allowable values for the steel grade of the metal structure of the body.

To ensure the strength of the cant-rail of the load-bearing structure of the gondola car in the event of impact interaction with the grapple loader, it is proposed to introduce a viscoelastic material into it, such as elastomer. It is proposed to use an elastomer with a viscous resistance coefficient of 0.3 kN·s/m and a natural oscillation frequency of 10 Hz, because such dynamic parameters of the elastomer are the most optimal in terms of providing conditions for dynamic loading of the gondola car body. To substantiate the proposed solution, the calculation of strength of the load-bearing structure of the gondola car is carried out. In the calculation, the finite element method implemented in the SolidWorks Simulation software package is used. It is taken into account that the weight of the grapple loader is 1800 kg, and the speed of lowering onto the cant-rail is 0.36 m/s. The results of the calculation confirmed the feasibility of the proposed measure. The maximum equivalent stresses in the load-bearing structure do not exceed the allowable values and are about 320 MPa, the maximum displacement is about 20 mm.

The conducted research will promote reduction of damages of load-bearing structures of gondola cars, as well as increase of efficiency of their operation.

Keywords: *transport mechanics, gondola car, load-bearing structure, strength, structure load, preservation.*

Фомін Олексій Вікторович – д.т.н., професор кафедри "Вагони та вагонне господарство" Державного університету інфраструктури та технологій,
e-mail: fomin1985@ukr.net.
Ловська Альона Олександрівна – к.т.н., доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту,
e-mail: alyonalovskaya.vagons@gmail.com.
Павлюченков Михайло Васильович – к.т.н., старший викладач кафедри будівельної механіки та гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: pavliuchenkov@ukr.net

Стаття подана 26.04.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-100-104

УДК 656.23.03

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О., Мірошникова М.В.

IMPROVEMENT TRAFFIC SAFETY MANAGEMENT SYSTEM ON RAILWAY TRANSPORT

Chernetskaya-Beletskaya N.B., Baranov I.O.,MiroshnykovaM.V.

Проведений аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні. Визначені проблеми розвитку єдиної залізничної мережі Європи в галузі експлуатаційної сумісності та безпеки при організації міжнародних перевезень.Призначення єдиної системи менеджменту безпеки руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні полягає в реалізації єдиної стратегії і постійно діючих механізмів досягнення і підтримки позитивних тенденцій в забезпеченні безпеки руху; координації діяльності національних залізничних адміністрацій щодо реалізації цієї стратегії і механізмів; організації обміну досвідом та впровадження передового досвіду. Розроблено проєкт єдиної системи менеджменту безпеки руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні і реалізовано підхід «системи управління». Складені шість основних принципів єдиної системи менеджменту безпеки руху на залізничному транспорті, які відповідають міжнародній практиці і стандартам в галузі залізничної безпеки.

Ключові слова: *безпека руху, система, залізничний транспорт, управління, стратегія.*

Вступ.Формування ефективних методів управління безпекою руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні має відбуватися на основі глибокого і всебічного аналізу стану безпеки, що включає оцінку існуючої системи забезпечення безпеки руху у міжнародному сполученні та наявних статистичних даних з безпеки, а також аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду управління ризиками порушень безпеки руху.

У роботі ставиться завдання, на підставі вітчизняної та зарубіжної практики забезпечення безпеки руху в міжнародному сполученні, розробити проєкт єдиної системи менеджменту безпеки руху (ЄСМБР) на залізничному транспорті в міжнародному сполученні та реалізації підходу «системи управління»: сформулювати призначення і принципи побудови ЄСМБР, її структуру та функції, склад і опис компонентів ЄСМБР і вимог до них.

Постановка проблеми.До початку 2010 року розвиток єдиної залізничної мережі Європи був пов'язаний з вирішенням наступних значних проблем в галузі експлуатаційної сумісності та безпеки при організації міжнародних перевезень [1]:

- в експлуатації знаходилося більше 20-ти різних і несумісних між собою систем управління рухом поїздів;
- в кожній країні діяли свої правила експлуатації залізниць, які суперечили один одному;
- в кожній країні діяли свої національні вимоги щодо сертифікації безпеки;
- в кожній країні використовувалися свої системи підготовки та ліцензування машиністів;
- застосовувалися п'ять різних систем тягового електропостачання;
- використовувалися вісім різних і несумісних між собою систем зв'язку і радіозв'язку;
- діяла своя мова майже в кожній країні.

Зазначені проблеми і їх наслідки (простої на кордонах, значні витрати і, як наслідок, високі тарифи) різко знижували конкурентоспроможність і привабливість залізничного транспорту в порівнянні з автомобільним для перевезень пасажирів і вантажів у міжнародному сполученні. Одним з виходів з ситуації, що склалася стало створення єдиної Європейської системи забезпечення експлуатаційної сумісності та безпеки руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні.

На цій основі вдалося сформувати основні компоненти нової системи [2]:

- органи проєктування безпеки;
- регулюючі та консультативні органи;
- нормативна база безпеки;
- системно-технічні рішення.

Регулюючими і консультативними органами щодо забезпечення безпеки руху на залізницях Єв-

ропи є Європейська комісія і Європейське залізничне агентство (EuropeanRailwayAgency, ERA) [3]. При цьому в кожній державі Європейського Союзу (ЄС) існують свої національні органи регулювання залізничної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні показує, що вітчизняна система управління безпекою будувалася на адміністративних принципах з використанням «жорсткої» (строго обов'язкової) нормативної бази, а в ЄС безпека на залізницях забезпечується за допомогою узгодження місій, цілей і політик національних залізниць за допомогою «гнучкої» (добровільно-обов'язкової) нормативної бази (рис.1.) [3,4].

З вітчизняних та закордонних вчених значний внесок в розвиток концепції управління ризиками порушень безпеки руху на залізничному транспорті внесли Гапанович В.А., Красковський А.Е., Лисенков В.М., Anders E., BrabandJ., Smith David J.

Призначення ЄСМБР на залізничному транспорті в міжнародному сполученні полягає в реалізації наступних напрямків діяльності:

- розробка єдиної стратегії і постійно діючих механізмів досягнення і підтримки позитивних тенденцій в забезпеченні безпеки руху;
- координація діяльності національних залізничних адміністрацій щодо реалізації цієї стратегії і механізмів [5];
- організація обміну досвідом та впровадження передового досвіду.

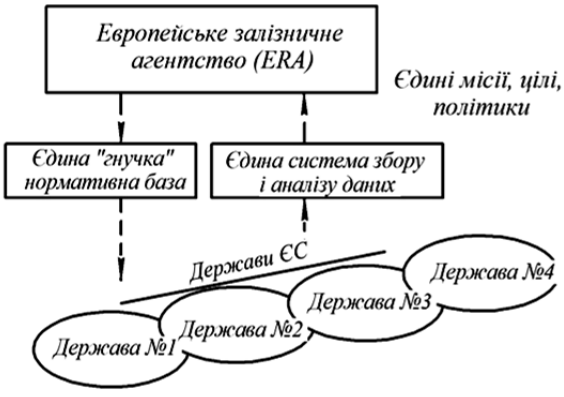


Рис. 1.Управління безпекою руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні в країнах ЄС

Метою роботи є розробка проєкту єдиної системи менеджменту безпеки руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні та реалізація підходу «системи управління» (розробити принципи побудови ЄСМБР, її структуру та функції, склад, опис компонентів ЄСМБР і вимог до них.

Результати досліджень. Цілі в галузі безпеки руху повинні бути спрямовані на підвищення рівня безпеки перевезень в міжнародному сполученні [6,7]. За рахунок придбання найкращої практики в міжнародному сполученні передбачається підвищення рівня безпеки руху в цілому і на рівні національних транспортних систем.

До переваг ЄСМБР відносяться створення єдиного інтеграційного простору в питаннях забезпечення безпеки руху, використання сучасних управлінських механізмів і стандартів, можливість уніфікації нормативної бази, можливість гармонізації з європейською системою управління безпекою руху, обмін досвідом, а також отримання економічного ефекту від оптимізації інвестиційних планів і експлуатаційних витрат [7,8].

Відповідно до міжнародної практики і стандартів в області залізничної безпеки в основу ЄСМБР закладаються шість основних принципів:

1. Орієнтація на результат − підвищення рівня безпеки руху за рахунок використання переваг ЄСМБР [9].
2. Добровільність участі національних залізничних адміністрацій в ЄСМБР.
3. Обов'язковість рішень ЄСМБР для національних залізничних адміністрацій в сфері компетенції ЄСМБР за умови їх участі в проєкті.
4. Використання наукового підходу до формування ЄСМБР.
5. Облік найкращої практики національних і світових транспортних систем.
6. Оцінка результативності в досягненні цілей і постійний розвиток ЄСМБР.

Одним з найважливіших завдань ЄСМБР є розробка номенклатури ключових показників і контроль результативності діяльності по досягненню цілей. Застосування процесного підходу і постійна увага до вдосконалення процесів має забезпечити позитивні тренди в розвитку ЄСМБР [10].

На рис.2. наведена схема двох рівнів управління в ЄСМБР − наднаціонального і національного.

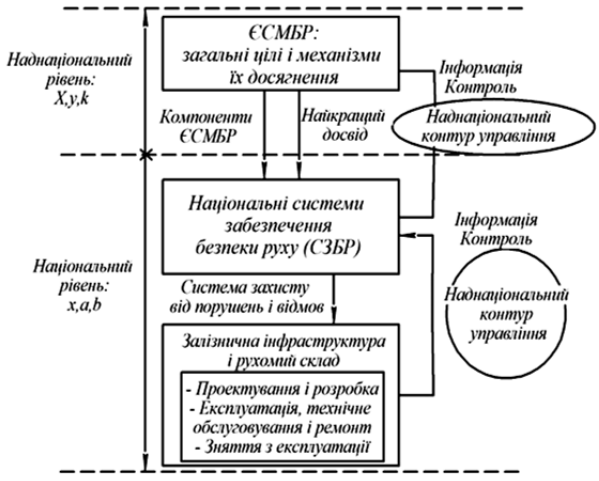


Рис. 2. Два рівня управління в ЄСМБР

На національному рівні необхідно розглядати ті чи інші небезпечні події, пов'язані з діяльністю залі-

зничного транспорту, і на всіх етапах його життєвого циклу передбачати захист від цих подій.

Для оцінки ефективності управління з урахуванням наявності двох рівнів, може бути запропонована наступна система диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = ay - b(x - X), \\ \dfrac{dy}{dt} = -k(x - X) \end{cases}; x, X, y, a, b, k > 0 \quad (1)$$

де*x*;*X* − відповідно, фактичне і цільове значення кількості порушень безпеки руху у міжнародному сполученні;

y − коефіцієнт, що характеризує впливуправління верхнього рівня −ЄСМБР, на нижній рівень − система забезпечення безпеки руху (СЗБР);

a − коефіцієнт, що характеризує реакцію СЗБР на керуючий вплив ЄСМБР;

b − коефіцієнт, що характеризує здатність СЗБР досягти цільового значення кількості порушень безпеки руху у міжнародному сполученні, визначеного в рамках ЄСМБР;

k − коефіцієнт, що характеризує реакцію ЄСМБР на фактичне значення кількості порушень безпеки руху у міжнародному сполученні.

Виконавши диференціювання за часом першого рівняння системи і підставивши в нього друге, отримаємо наступне диференціальне рівняння другого порядку:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + b\frac{dx}{dt} + ak(x - X) = 0 \quad (2)$$

для вирішенняякого, в свою чергу, складемо і вирішимонаступнеквадратнерівняння:

$$\lambda^2 + b\lambda + ak = 0 \quad (3)$$

$$\lambda_{1,2} = -\frac{b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - ak} \quad (4)$$

Якщо дискримінант $D = \left(\frac{b}{2}\right)^2 - ak > 0$, то корені рівняння є дійсними числами, і рішення рівняння буде мати такий вигляд:

$$x(t) = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} \quad (5)$$

c_1, c_2 − будь-які дійсні числа.

Якщо дискримінант D<0, то корені рівняння є комплексними числами

$$\lambda_{1,2} = -\frac{b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - ak} = \alpha \pm \beta_i \quad (6)$$

тоді рішення рівняння буде мативигляд:

$$x(t) = e(c_1 \cos \beta t + c_2 \sin \beta t) \quad (7)$$

Отримані математичні вирази, що встановлюють взаємозв'язок між впливами ЄСМБР на СЗБР і реакцією на ці дії, дозволяють визначати ступінь зміни стану безпеки руху в міжнародному сполученні при зміні керуючих впливів з боку ЄСМБР.

Основою для формуванняорганізаційноїструктуриЄСМБР повинна стати процесно-орієнтована модель, відповідна принципової моделіЄСМБР. ВзаємодіякомпонентівЄСМБРвідбувається в рамках реалізації циклу PDCA (рис.3.).

Стратегічні документи, нормативна база з безпеки руху (як національна, так і наднаціональна), а також організаційна структура ЄСМБР представляють собою основу управління для планування і реалізації процесів життєвого циклу залізничних систем, контролю їх показників (результативність, ефективність, контрольні показники) і прийняття необхідних коригувальних і попереджуючих заходів [11].

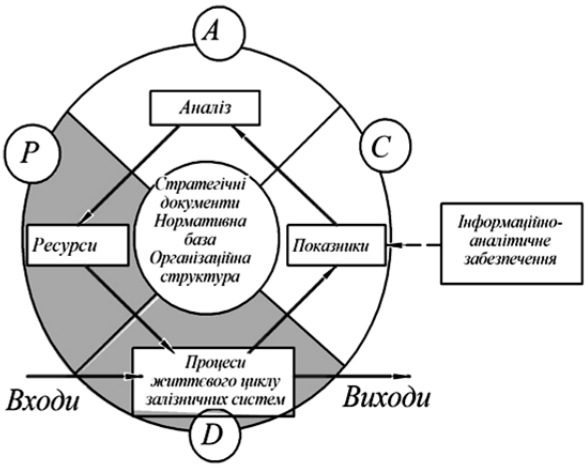


Рис. 3. ВзаємодіякомпонентівЄСМБР

Стратегічнідокументи, нормативна база з безпеки руху (як національна, так і наднаціональна), а також організаційна структура ЄСМБР представляютьсобою основу управління для планування і реалізації процесів життєвого циклу залізничних систем, контролюїхпоказників (результативність, ефективність, контрольні показники) і прийняття необхідних коригувальних та запобіжних заходів.

Висновок. В якості організаційної системи заходів для подолання негативних тенденцій стану безпеки доцільно сформувати єдину систему менеджменту безпеки руху на залізничному транспорті в міжнародному сполученні, що має два рівні управління (ЄСМБР− національні системи забезпечення безпеки руху, включаючи залізничну інфраструктуру і рухомий склад) і реалізовану на процесній основі (процеси управління, життєвого циклу транс-

портних систем, ресурсного забезпечення та вихідного контролю). Процесна організація управління безпекою руху у міжнародному сполученні дозволить ставити досяжні економічно обґрунтовані цілі з безпеки і перетворювати їх на процеси життєвого циклу залізничних систем.

Показано, що система забезпечення безпеки руху в міжнародному сполученні з введенням наднаціонального рівня управління стає більш стійкою за рахунокоб'єднання зворотних зв'язків національних систем з єдиним центром.

Ефективною технологією управління безпекою на кожному етапі життєвого циклу залізничних систем є методологія PDCA, − планування (Plan), виконання (Do), контроль (Check), коригування (Act), − що дозволяє планувати і забезпечувати виконання вимог безпеки руху у міжнародному сполученні не тільки на етапі безпосередньої експлуатації (використання за призначенням), а й на етапі створення систем.

Оптимізація здійснюється на основі постановки та декомпозиції по етапах життєвого циклу економічно обґрунтованих цілей з безпеки і контролю їх досягнення, а також аналізу і прогнозу стану безпеки руху в міжнародному сполученні.

Література

1. Шабельников, А.Н. Современные методы организационного и технологического управления / А.Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2017. –№11 (11). – С. 18-23.
2. Alexandrovskaya L.N. Safety and reliability of technical systems / L.N. Aleksandrovskaya and others - M .: University book, Logos, 2008.-376 p.
3. Anders E. Systems of automation and telemechanics on the world's railways: a textbook for higher educational institutions of railways. transport / E. Anders and others; per. from English; ed. G. Teega and S. Vlasenko. - M .: Intekst, 2010 .-- 496 p.
4. Belyaev V.M. Fundamentals of transport management / V.M. Belyaev et al. - M .: Publishing Center "Academy", 2010. - 320 p.
5. BuralevYu.V. Transport management / Yu.V. Buralev and others; under total. ed. N.N. Gromov and V.A. Persianov. - M .: Publishing Center "Academy", 2010. - 528 p.
6. Gapanovich V.A. Promising technologies for ensuring the safety of train traffic and the safety of transported goods / V.A. Gapanovich et al. - M .: GOU "Educational-methodical center for education in railway transport", 2008. - 220 p.
7. Lisenkov V.M. Social and economic aspects of the regulation of safety and risk indicators // Economy of railways. - 2010. - No. 2. - P. 81-86.
8. Braband J. The CENELEC standards regarding functional safety / J. Braband at alias. - Hamburg (Germany): Eurailpress, 2006. - 216 P.
9. Чернецька-Білецька Н.Б., БарановІ.О., Мірошникова М.В. Розробка систем контролю відповідальних параметрів руху поїздів. Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля № 5 (261) 2020, С. 81–85.
10. Баранов І.О., Пшикун В.В., Мішуков Є.О. Підвищення ефективності управління процессами перевезень на міських автобусних маршрутах. Вчені записки Таврійськогонаціональногоуніверситетуімені В.І. Вернадського // Видавничийдім «Гельветика». Серія: Технічні науки. Том 31 (70) № 5. 2020. С. 189–194.
11. Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О., Мірошникова М.В, Кужель С.Г. Теоретичне обґрунтування вдосконалення системи «машиніст-поїзд-диспетчер». Наукові праці Вінницького національного технічного університету, Машинобудування та транспорт, № 3 Вид-во ВНТУ, м. Вінниця, 2020, С. 1–9.

References

1. SHabel'nikov, A.N. Sovremennye metody organizacionnogo i tekhnologicheskogo upravleniya / A.N. Shabel'nikov // Avtomatika, svyaz', informatika. – 2017.-№11 (11).-S. 18–23.
2. Alexandrovskaya L.N. Safety and reliability of technical systems / L.N. Aleksandrovskaya and others - M .: University book, Logos, 2008.-376 p.
3. Anders E. Systems of automation and telemechanics on the world's railways: a textbook for higher educational institutions of railways. transport / E. Anders and others; per. from English; ed. G. Teega and S. Vlasenko. - M .: Intekst, 2010 .-- 496 p.
4. Belyaev V.M. Fundamentals of transport management / V.M. Belyaev et al. - M .: Publishing Center "Academy", 2010. - 320 p.
5. BuralevYu.V. Transport management / Yu.V. Buralev and others; under total. ed. N.N. Gromov and V.A. Persianov. - M .: Publishing Center "Academy", 2010. - 528 p.
6. Gapanovich V.A. Promising technologies for ensuring the safety of train traffic and the safety of transported goods / V.A. Gapanovich et al. - M .: GOU "Educational-methodical center for education in railway transport", 2008. - 220 p.
7. Lisenkov V.M. Social and economic aspects of the regulation of safety and risk indicators // Economy of railways. - 2010. - No. 2. - P. 81-86.
8. Braband J. The CENELEC standards regarding functional safety / J. Braband at alias. - Hamburg (Germany): Eurailpress, 2006. - 216 P.
9. Chernec'ka-Bilec'ka N.B., Baranov I.O., Miroshnykova M.V. Rozrobka system kontrolju vidpovidal'nyh parametriv ruhu poi'zdiv. Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo Nacional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja № 5 (261) 2020, S. 81–85.
10. Baranov I.O., Pshykun V.V., Mishukov Je.O. Pidvyshhennja efektyvnosti upravlinnja procesamy perevezen' na mis'kyh avtobusnyh marshrutah. Vcheni zapysky Tavrijs'kogo nacional'nogo universytetu imeni V.I. Vernads'kogo // Vydavnychyj dim «Gel'vetyka». Serija: Tehnichni nauky. Tom 31 (70) № 5. 2020. C. 189–194.
11. Chernec'ka-Bilec'ka N.B., Baranov I.O., Miroshnykova M.V, Kuzhel' S.G. Teoretychne obg'runtuvannja vdoskonalennja systemy «mashynist-poi'zd-dyspetcher». Naukovi praci Vinnyc'kogo nacional'nogo tehnichnogo universytetu, Mashynobuduvannja ta transport, № 3 Vyd-vo VNTU, m. Vinnycja, 2020, S. 1–9.

Chernetskaya-Beletskaya N.B., Baranov I.O., Miroshnykova M.V. Improvement traffic safety management system on railway transport.

As an organizational system measures overcome negative trends in safety, it is advisable form single system traffic safety management in railway transport in international traffic, which has two levels management. Process organization traffic safety management in international traffic will allow set achievable economically justified safety goals and turn them into life cycle processes of railway systems.

The analysis domestic and foreign experience in ensuring safety of railway transport in international traffic. The problems development single European railway network in field interoperability and safety in organization international transport are identified. The purpose unified traffic safety management system for railway transport in international traffic is implement unified strategy and permanent mechanisms for achieving and maintaining positive trends in ensuring traffic safety; coordinating activities of national railway administrations implement this strategy and mechanisms; organization exchange experience and implementation best practices. A project unified traffic safety management system for railway transport in international traffic was developed and "control system" approach was implemented. Six basic principles unified railway traffic safety management system have been drawn up, which correspond international practice and standards in field of railway safety. It is shown that system traffic safety in international traffic with introduction supranational level government becomes more stable by combining feedback national systems with single center.

An effective safety management technology at every stage life cycle of railway systems is the PDCA methodology - planning (Plan), execution (Do), control (Check), adjustment (Act) - which allows you plan and ensure compliance with traffic safety requirements in international traffic. Not only stage direct operation (intended use), but also at stage creating systems. Optimization is carried out on basis setting and decomposition by stages life cycle economically justified safety goals and control of achievement, as well analysis and forecast traffic safety in international traffic.

Keywords: *traffic safety, system, railway transport, management, strategy.*

Чернецька-Білецька Наталія Борисівна – д.т.н., проф., зав. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля.

Баранов Ігор Олегович – к.т.н., доценткафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля,e-mail: baranov_90@ukr.net.

Мірошникова Марія Володимирівна – старший викладач кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля.

Стаття подана 28.04.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-105-111

УДК 656.02

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ PTV VISSIM ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

Чернецька-Білецька Н.Б., Штиков А.Р.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF PTV VISSIM SOFTWARE FOR MODELING TRAFFIC FLOWS

Chernetska-Biletska N.B., Shtykov A.R.

Стаття присвячена дослідженню програмного комплексу PTV VISSIM. У роботі представлений аналіз застосування програмного забезпечення PTV VISSIM, яке призначено для створення імітаційних моделей вулично-дорожної мережі. Результати моделювання можуть бути використані для аналізу руху транспортних засобів і пішоходів, прогнозування виникнення заторів, організації раціональних графіків руху громадського транспорту і вирішення багатьох інших завдань, що дозволяють створювати на мережі вулиць досить швидкий, безпечний, та зручний рух транспортних засобів. З метою демонстрації його можливостей розроблена імітаційна модель реального перехрестя.

Ключові слова: *імітаційне моделювання, вулично-дорожня мережа, PTV VISSIM, транспортний засіб, вхідні потоки, аналіз, прогнозування.*

Вступ. На сьогодні дорожній рух – складна динамічна система взаємодії транспортних і пішохідних потоків. Складність управління такою системою полягає в необхідності забезпечити безконфліктне існування всіх учасників дорожнього руху в обмеженому просторі.

У світовому автомобільному господарстві в останнє десятиліття спостерігається стійка тенденція, пов'язана зі зростанням приватних транспортних засобів (ТЗ) при збільшенні попиту на транспортні послуги, що неминуче призводить до збільшення трафіку на міських дорогах, що є причиною багатьох транспортних проблем. До останніх найчастіше відносять нерівномірний розподіл ТЗ по міських маршрутах, утворення автомобільних заторів, підвищення рівня шуму, збільшення екологічного навантаження на певних ділянках міських дорожніх мереж, а також додаткові витрати пально-мастильних матеріалів.

У зв'язку з цим виникає гостра потреба кардинально переглянути підхід до проектування вулично-дорожньої мережі, підтримати впровадження інтелектуальних систем транспортного моделювання і інших сучасних методів планування дорожнього руху.

Питанням обслуговування пасажирів і організації дорожнього руху приділено багато уваги вітчизняних і зарубіжних авторів. Існує достатня кількість методик для розрахунку пасажиропотоків. Так, основні праці з пасажирських перевезень належать таким авторам як А. Ахметзянов [1], А.В. Вельможин [2], Г.А. Клинковштейн [3].

Метою роботи є вивчення і застосування можливостей VISSIM на прикладі моделі існуючої дорожньо-транспортної мережі, тому що сучасний інженерний підхід до планування та аналізу неможливо уявити без інструменту імітації, а особливо, якщо мова йде про планування руху.

Виклад основного матеріалу дослідження. Транспортні системи відносяться до класу складних систем, що характеризуються великою кількістю елементів і різноманітністю зв'язків між ними. Ефективне управління таким об'єктом на основі безпосереднього спостереження його функціонування з урахуванням всієї інформації, яку теоретично можливо отримати, – завдання досить високого ступеня складності. Тому найбільш адекватним засобом опису і прогнозування поведінки такого об'єкта представляється моделювання, суть якого полягає в заміні реального об'єкта управління його спрощеною копією, тобто, моделлю. В якості моделі може виступати будь-який об'єкт, який з достатньою для цілей користувача точністю відтворює властивості реальної системи. Наприклад, програмне забезпечення PTV VISSIM дозволяє створювати імітаційну модель ділянки транспортної мережі, тобто візуальне відображення процесів моделювання та аналізу, виконуваних даним програмним продуктом. Така модель реалізується у вигляді рішення систем рів-

нянь, яке визначає, яким чином будуть взаємодіяти між собою всі учасники дорожнього руху. Тому VISSIM є потужним інструментом моделювання, що дозволяє імітувати транспортний рух на основі розмітки відрізків, складу транспортного потоку, регулювання за допомогою світлосигнальних пристроїв. За допомогою цього програмного забезпечення може моделюватися як індивідуальний транспорт, так і міський та приміський електричний і автобусний пасажирський транспорт. Відповідним чином моделюється також рух пішоходів – виключно або в комбінації з індивідуальним і / або громадським транспортом. Також представляється можливим моделювати рух транспортних засобів і пішоходів на спеціалізованих об'єктах, таких як паркування, аеропорти, стадіони, торгові центри. Існує широкий спектр завдань, що вирішуються за допомогою програмного забезпечення VISSIM:

1) побудова транспортної мережі будь-якої складності з урахуванням індивідуальних і швидкісних особливостей доріг і вулиць;

2) моделювання регульованих і нерегульованих перехресть;

3) вибір оптимальної схеми організації руху на перехресті;

4) оцінка пропускної здатності для кожного варіанта руху;

5) моделювання та оптимізація роботи світлосигнальних пристроїв;

6) прогнозування виникнення заторів;

7) моделювання та аналіз пішохідного руху;

8) широкий спектр аналізу: для відрізків, транспортних засобів, пішоходів, світлосигнальних пристроїв, маршрутів громадського транспорту, перехрестя в цілому;

9) створення презентаційних матеріалів у вигляді відеороликів [4].

В якості об'єкта дослідження було прийнято вибрати перехрестя у місті Сєвєродонецьк – перетин вулиці Курчатова і вулиці Гагаріна. На вулиці Курчатова організовано двосмуговий двосторонній рух. На вул. Гагаріна односмуговий двосторонній рух. Транспортний рух на перехресті включає в себе, крім індивідуального транспорту, міський громадський транспорт.

Першим етапом є задавання параметрів імітації, яка представляє собою візуальне відображення процесів моделювання та аналізу, які виконуються в VISSIM. Запустити імітацію – означає запустити рішення систем рівнянь, яке визначає, яким чином будуть взаємодіяти між собою всі учасники дорожнього руху. На даному етапі представляється можливим визначати, як часто заново розраховуються позиції транспортних засобів за одну секунду імітації, а також швидкість імітації по відношенню до реального часу. Для створення детальної моделі мережі VISSIM необхідно використовувати строго масштабовану карту в якості растрової основи. Вона призначена для коректного розміщення відрізків або інших графічних об'єктів. Головною дією тут виступає масштабування растрової основи, оскільки чим точніше воно буде вироблено, тим точніше буде і моделювання (рис.1).

Таким чином, після завантаження растрової основи мережа підготовлена до введення базових даних.

Під базовими даними маються на увазі такі параметри:

1) тип зображень – це параметри зображень відрізків і основних конструктивних елементів моделі, які представляють собою графічне відображення і не впливають на хід імітації;

2) манера їзди - параметри , які описують манеру їзди водіїв і їх поведінка під час руху;

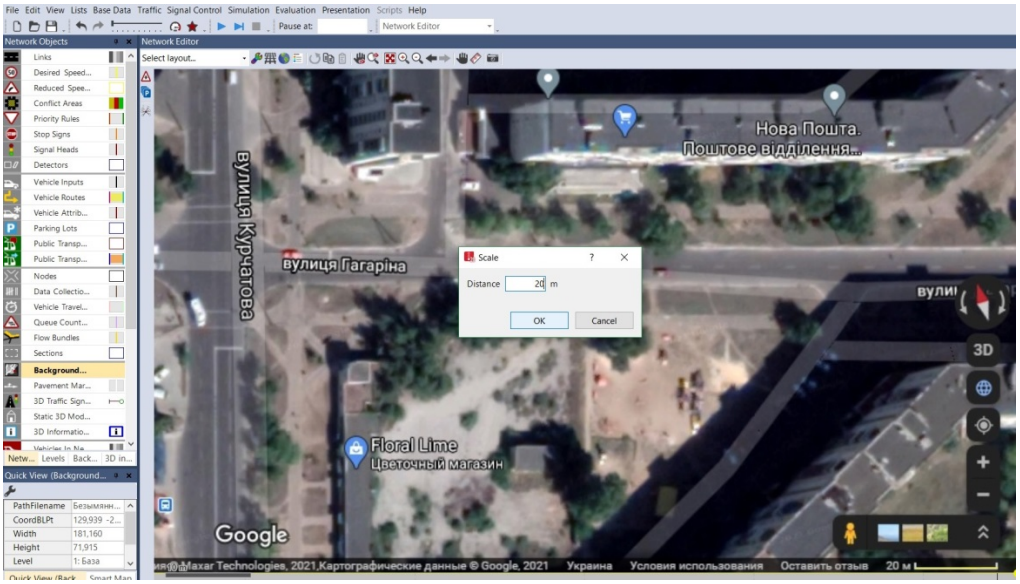


Рис. 1. Масштабування растрової основи

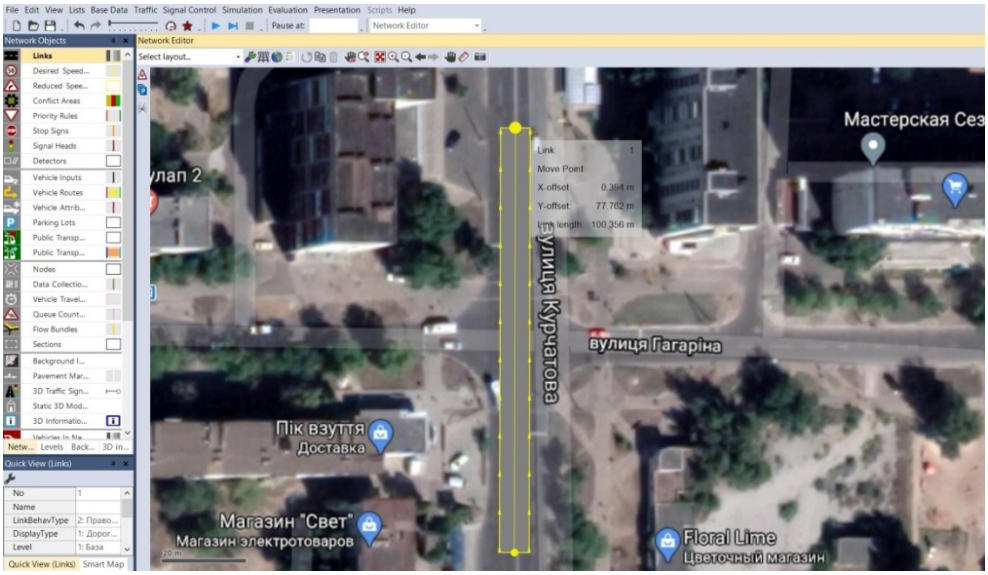


Рис. 2. Введення відрізків на модель перехрестя

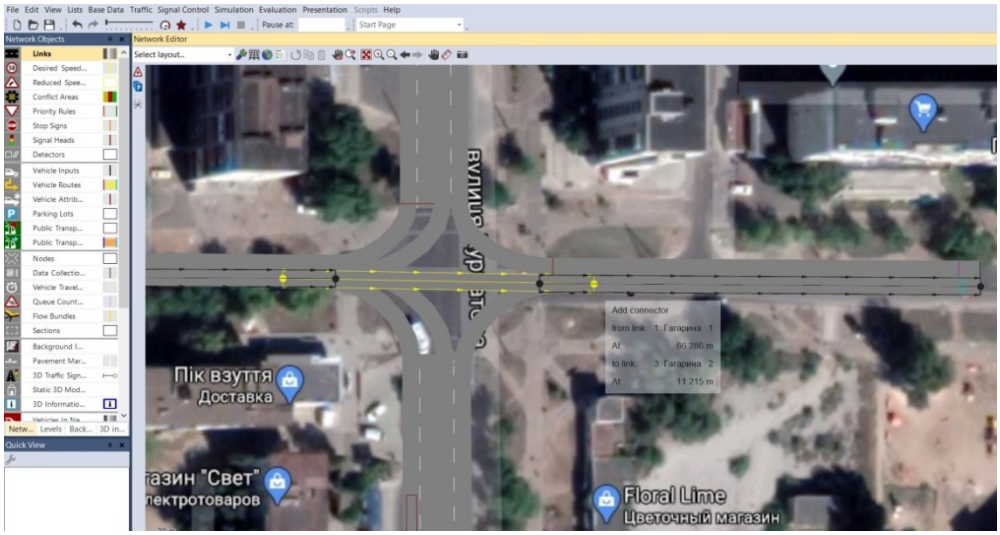


Рис. 3. Введення з'єднувальних відрізків на модель перехрестя

3) типи манери їзди відрізків – деякі попередньо встановлені типи манери їзди, що дозволяють присвоїти кожному з класів транспортних засобів свій тип манери їзди на зазначеному відрізку [5].

Після того, як отмасштабований план перехрестя і задані базові параметри, слід визначити відрізки для створення моделі перехрестя, за допомогою функції «Відрізки» (рис. 2), що дозволяє задавати напрямок руху ТЗ, довжину дорожнього відрізка і його ширину, кількість смуг руху з візуалізацією дорожнього полотна (залізниця, пішохідна зона, дорога сірого кольору), тип манери поведінки водія (місто, автострада, пішохідна доріжка, велосипедна доріжка), поздовжній ухил дороги, критерії обгону ТЗ по смузі зустрічного руху, в тому числі і громадського транспорту. Функція «Відрізки» дозволяє створювати як ділянки доріг прямого напрямку (основні відрізки), так і поворотного (з'єднувальні відрізки), які утворюють повноцінний транспортний вузол [6].

Відрізок є основним елементом дорожньо-транспортної мережі VISSIM і представлений однією або декількома смугами руху. Відрізки задаються не тільки для здійснення транспортного руху, а й в якості пішохідних переходів. Однак недостатньо ввести лише основні відрізки для того, щоб транспортні засоби змогли здійснити рух. Між ними потрібно вставити з'єднувальні відрізки, які забезпечують перехід транспортного потоку від одного відрізка до іншого і дозволяють моделювати поворотний рух на перехресті.

Виконання зазначеного завдання проводиться в два етапи – створення основних і з'єднувальних відрізків (рис. 3). У мережі VISSIM представляється можливим влаштовувати дорожню розмітку. Дорожня розмітка не впливає на манеру їзди, проте, після її введення модель перехрестя набуває більш реалістичний вигляд [7].

Наступний етап – створення необхідних розподілів: бажаних швидкостей, кольорів, моделей тран-

спортних засобів та пішоходів. Особливо важливим параметром, що впливає на пропускну здатність відрізка, є функція розподілу бажаних швидкостей. При цьому бажана швидкість являє собою швидкість, з якою б рухався транспортний засіб, якби йому не перешкоджали інші транспортні засоби або елементи мережі, наприклад, світлосигнальні пристрої або стоп знаки. Таким чином, транспортний засіб, бажана швидкість яка вище актуальною швидкості, "перевіряє", чи існує можливість обгону без перешкод іншим транспортним засобам. Чим більше діапазон бажаних швидкостей, тим швидше утворюються групи транспортних засобів на дорозі. Розподіл моделей визначає різні розміри, кольори і текстури, релевантні для графічного відображення типів транспортних засобів і пішоходів. Наприклад, для легкового транспорту, замість однієї моделі кузова може відображатися до десяти різних моделей, що мають різні геометричні характеристики. У VISSIM існує повноцінна концепція відмінності типів і класів транспортних засобів. Тип транспортних засобів являє собою їх групу, яка описується певними технічними характеристиками. Наприклад, такими групами є: легковий транспорт, вантажний транспорт, автобус, трамвай, велосипедний транспорт і мототранспорт, а також пішоходи, як особливий тип транспортного засобу. Крім типів транспортних засобів, встановлених за замовчуванням, можна визначити будь-яку кількість інших їх типів. Клас транспортних засобів охоплює один або кілька вже певних їх типів. Представляється можливим об'єднувати будь-які типи транспортних засобів і створювати таким чином новий клас транспортних засобів, який служить, наприклад, для їх колірної відмінності під час імітації [8].

Після того, як задані типи і класи транспортних засобів, створюються транспортні потоки. Напрямок та склад вхідних потоків ТЗ задається за допомогою функції «Вхідні потоки ТЗ». За замовчуванням їх склад складається з автомобілів, вантажних машин, і автобусів, проте додатково передбачена його коригування відповідно до умов модельованого транспортного вузла, а саме, зміна типу ТЗ і їх відсоткового співвідношення в загальному потоці. Наступним етапом після створення вхідних потоків для різних напрямків є завдання транспортних навантажень (інтенсивностей).

Для пішохідних потоків використовується функція «Вхідні пішохідні потоки», яка також дозволяє моделювати їх інтенсивність і склад. Він може включати в себе жінок, чоловіків, жінок з дітьми, інвалідів або ж пасажирів, які будуть збиратися на зупинках громадського транспорту. Програма дозволяє враховувати, в тому числі, манеру ходьби кожного типу пішоходів.

Для вхідних потоків необхідно створити маршрути, під якими розуміється фіксована послідовність відрізків, що має початок (червона лінія) і місце призначення (зелена лінія) (рис. 4). Маршрут в залежності від розмірів створюваної моделі відповідає тільки руху ТЗ на перехресті, або простягається через всю ДТМ. Напрямок маршруту будь-якого ТЗ може бути прямо, наліво, направо або являти собою розворот. Програма дозволяє враховувати відсоткові частки кожного з таких маршрутів в загальному транспортному потоці для різних сторін руху.

Цільовим пунктом моделювання є аналіз, тобто отримання кількісних даних про взаємодію транспортних засобів і пішоходів у конкретно заданих умовах. Після розробки моделі транспортного руху в VISSIM можна отримати ряд даних для аналізу виконаної роботи. Тобто можливо не тільки візуально оцінити результати вашого проекту, але і отримати звіти, що дозволяють робити обгрунтовані висновки. Існує кілька видів звітності. Для отримання даних аналізу необхідно не тільки встановити і вказати параметри лічильників для збору інформації, але і включити необхідні опції і їх налаштування в «Аналіз/Конфігурація».

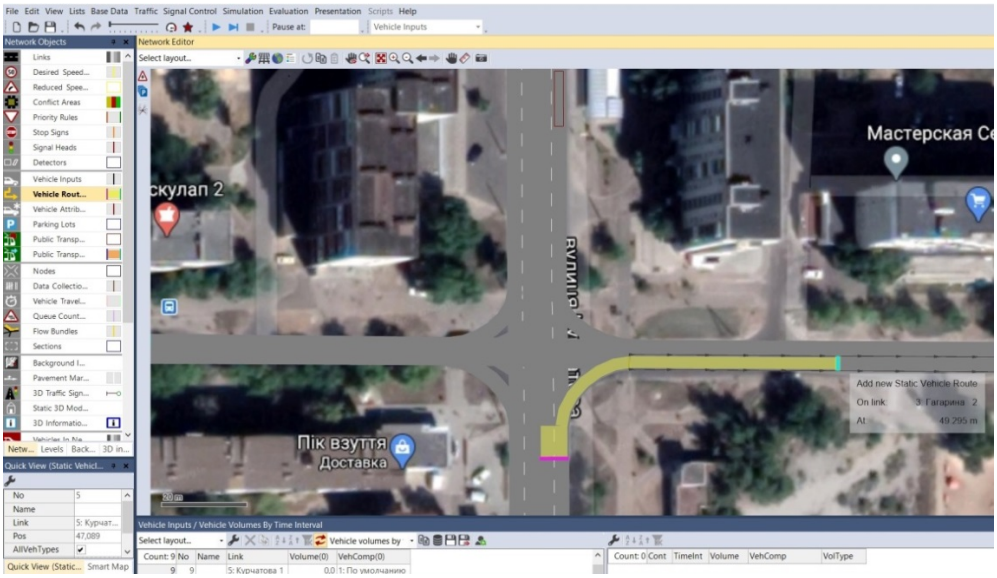


Рис. 4. Задавання вхідних потоків ТЗ за напрямками

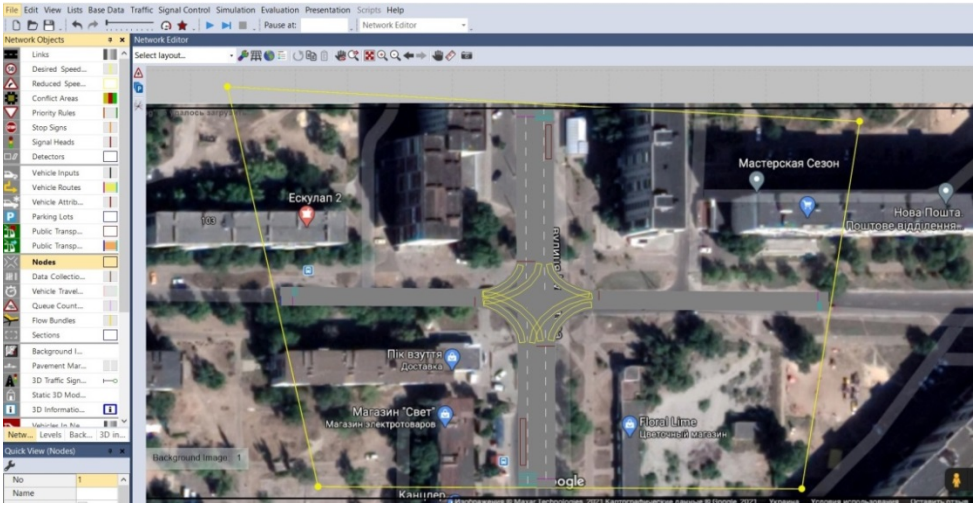
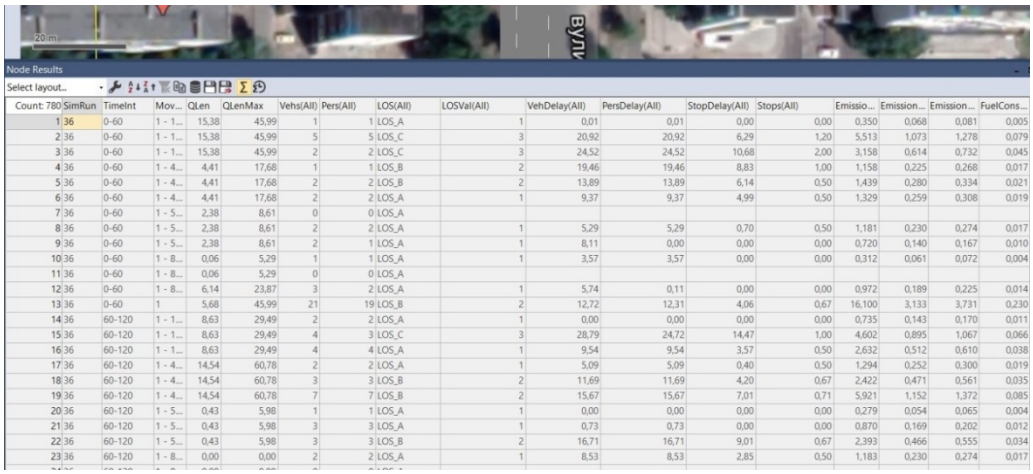


Рис. 5. Створення чотирикутника вузлів моделі перехрестя



Node Results

Count: 780	SimRun	TimeInt	Mov...	QLen	QLenMax	Vehs(All)	Pers(All)	LOS(All)	LOSVal(All)	VehDelay(All)	PersDelay(All)	StopDelay(All)	Stops(All)	Emissio...	Emission...	Emission...	FuelCons...
1	36	0-60	1 - 1...	15,38	45,99	1	1	LOS_A	1	0,01	0,01	0,00	0,00	0,350	0,068	0,081	0,005
2	36	0-60	1 - 1...	15,38	45,99	5	5	LOS_C	3	20,92	20,92	6,29	1,20	5,513	1,073	1,278	0,079
3	36	0-60	1 - 1...	15,38	45,99	2	2	LOS_C	3	24,52	24,52	10,68	2,00	3,158	0,614	0,732	0,045
4	36	0-60	1 - 4...	4,41	17,68	1	1	LOS_B	2	19,46	19,46	8,83	1,00	1,158	0,225	0,268	0,017
5	36	0-60	1 - 4...	4,41	17,68	2	2	LOS_B	2	13,89	13,89	6,14	0,50	1,439	0,280	0,334	0,021
6	36	0-60	1 - 4...	4,41	17,68	2	2	LOS_A	1	9,37	9,37	4,99	0,50	1,329	0,259	0,308	0,019
7	36	0-60	1 - 5...	2,38	8,61	0	0	LOS_A									
8	36	0-60	1 - 5...	2,38	8,61	2	2	LOS_A	1	5,29	5,29	0,70	0,50	1,181	0,230	0,274	0,017
9	36	0-60	1 - 5...	2,38	8,61	2	1	LOS_A	1	8,11	0,00	0,00	0,00	0,720	0,140	0,167	0,010
10	36	0-60	1 - 8...	0,06	5,29	1	1	LOS_A	1	3,57	3,57	0,00	0,00	0,312	0,061	0,072	0,004
11	36	0-60	1 - 8...	0,06	5,29	0	0	LOS_A									
12	36	0-60	1 - 8...	6,14	23,87	3	2	LOS_A	1	5,74	0,11	0,00	0,00	0,972	0,189	0,225	0,014
13	36	0-60	1	5,68	45,99	21	19	LOS_B	2	12,72	12,31	4,06	0,67	16,100	3,133	3,731	0,230
14	36	60-120	1 - 1...	8,63	29,49	2	2	LOS_A	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,735	0,143	0,170	0,011
15	36	60-120	1 - 1...	8,63	29,49	4	3	LOS_C	3	28,79	24,72	14,47	1,00	4,602	0,895	1,067	0,066
16	36	60-120	1 - 1...	8,63	29,49	4	4	LOS_A	1	9,54	9,54	3,57	0,50	2,632	0,512	0,610	0,038
17	36	60-120	1 - 4...	14,54	60,78	2	2	LOS_A	1	5,09	5,09	0,40	0,50	1,294	0,252	0,300	0,019
18	36	60-120	1 - 4...	14,54	60,78	3	3	LOS_B	2	11,69	11,69	4,20	0,67	2,422	0,471	0,561	0,035
19	36	60-120	1 - 4...	14,54	60,78	7	7	LOS_B	2	15,67	15,67	7,01	0,71	5,921	1,152	1,372	0,085
20	36	60-120	1 - 5...	0,43	5,98	1	1	LOS_A	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,279	0,054	0,065	0,004
21	36	60-120	1 - 5...	0,43	5,98	3	3	LOS_A	1	0,73	0,73	0,00	0,00	0,870	0,169	0,202	0,012
22	36	60-120	1 - 5...	0,43	5,98	3	3	LOS_B	2	16,71	16,71	9,01	0,67	2,393	0,466	0,555	0,034
23	36	60-120	1 - 8...	0,00	0,00	2	2	LOS_A	1	8,53	8,53	2,85	0,50	1,183	0,230	0,274	0,017

Рис. 6. Список результатів аналізу вузлів

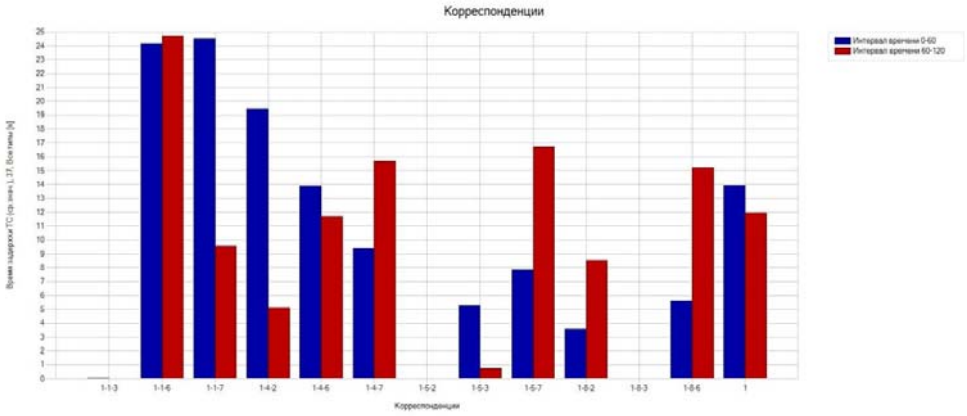


Рис. 7. Діаграма часу затримки за різними напрямками

VISSIM дозволяє в процесі моделювання проводити наступні види аналізу:

- аналіз управління дорожнім рухом на автомагістралях і міських вулицях, контроль за напрямком руху як на окремих смугах, так і на всій проїжджій частини;
- аналіз можливості надання пріоритету громадському транспорту;
- аналіз зміни відстані між примусовими зупинками транспорту, перевірка під'їздів, організація одностороннього руху громадського транспорту;
- аналіз пропускної здатності транспортної мережі або її окремих вузлів.

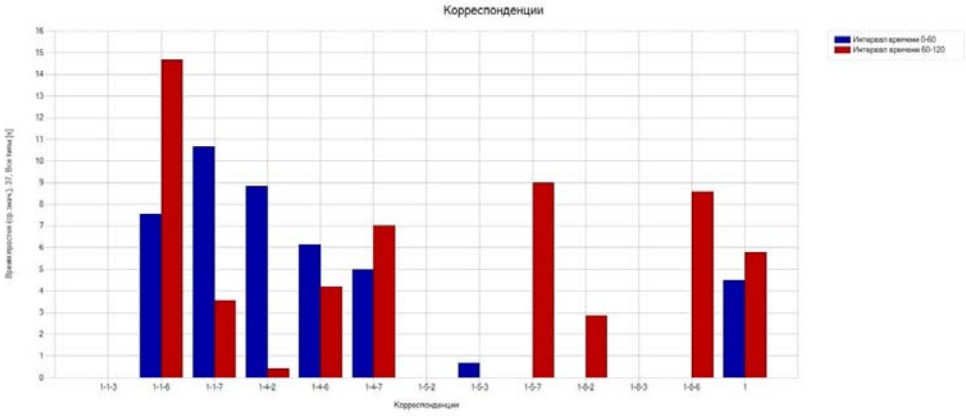


Рис. 8. Діаграма часу простою за різними напрямками

Одним з основних видів виведення аналізів є висновок даних у вікно (рис. 6).

Виведення даних у вікно можливо здійснювати для одного або декількох транспортних засобів або пішоходів. Слід зазначити, що в тривимірному режимі імітації позиція камери автоматично переходить в стан водія або пішохода, рух якого в даний момент аналізується. Тут можна бачити середній час затримки транспортних засобів різних напрямків руху або середній час простою (час простою кожного транспортного засобу в секунду без зупинки на автостоянках і зупинках громадського транспорту. Якщо виділити параметри, які нас цікавлять, наприклад, час затримок «ТЗЗатримки(Всі)» та «ЧасПростою(Всі)», то для обраних атрибутів PTV VISSIM побудує зазначені діаграми, які представлені на рис. 7 та рис. 8 [9].

Висновки. Програмне забезпечення PTV VISSIM, яке було описано і проаналізовано вище, дає можливість аналізувати рух транспортних засобів, прогнозувати виникнення заторів, організовувати оптимальні графіки руху громадського транспорту і виконує багато інших завдань, метою яких є створення на існуючій або планованій мережі вулиць досить швидкого, безпечного, і зручного руху транспортних засобів.

Література

1. Ахметзянов, А. Моделирование грузовых и пассажирских потоков в городе и регионе/ А. Ахметзянов//Логинфо. –2002. – №2.
2. Вельможин, А.В. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта: Монография/ А.В. Вельможин, В.А. Гудков, А.В. Куликов, А.А. Сериков. – Волгоград, 2002.
3. Клинковштейн, Г.А. Организация дорожного движения: учеб. Для вузов/ Г.А. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001.
4. Taran I.A. Organization of travelling motion. Methodical recommendations to implementation of laboratory works for the students of daily and extra-mural forms of studies straight of preparation 0701 Transport technologies / I.A. Taran, I.V. Kozina, V.V. Lytvyn; Department of education and science of Ukrain; National Mining University. – D.: NNU, 2014. – 43 p.
5. Мирошниченко А. Н., Литвин В. В. Имитационное моделирование транспортных потоков с помощью программного обеспечения PTV Vision VISSIM / Материалы доклада первой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Молодежь: наука и инновации" / Днепропетровск, 2013.
6. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие / Издание 2-е, испр. и доп. А.В. Гасников и др. Под ред. А.В. Гасникова. — М.: МЦНМО, 2013. — 430 с.
7. Имитационное моделирование в проектах ИТС: учебное пособие / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, А.В. Шадрин, М.В. Гаврилюк; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.В. Жанказиева. – М.: МАДИ, 2016. – 92 с.
8. Жанказиев, С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 104 с.
9. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Моделювання автотранспортних потоків» (для здобувачів, які навчаються за спеціальністю 275.03 – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», для усіх форм навчання) (Електронне видання) / Уклад.: Н.Б. Чернецька-Білецька, А.С. Роговий, І.О. Баранов, Є.В. Полупан – Сєвєродонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2020. – 96 с.

References

1. Ahmetzyanov, A. Modelirovanie gruzovyh I passazhirskih potokov v gorode iregione / A. Ahmetzyanov// Loginfo. – 2002. – №2.
2. Vel'mozhin, A.V. Effektivnost' gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta: Monografiya/ A.V. Vel'mozhin, V.A. Gudkov, A.V. Kulikov, A.A. Serikov. – Volgograd, 2002.
3. Klinkovshtejn, G.A. Organizaciya dorozhnogo dvizheniya: ucheb. Dlyavuzov/ G.A. Klinkovshtejn, M.B. Afanas'ev. – M.: Transport, 2001.
4. Taran I.A. Organization of travelling motion. Methodical recommendations to implementation of laboratory works for the students of daily and extra-mural forms of studies straight of preparation 0701 Transport technologies / I.A. Taran, I.V. Kozina, V.V. Lytvyn; Department of education and science of Ukrain; National Mining University. – D.: NNU, 2014. – 43 p.

5. Miroshnichenko A. N., Litvin V. V. Imitacionnoe modelirovanie transportnyh potokov s pomoshch'yu programmnogo obespecheniya PTV Vision VISSIM / Materialy doklada pervoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov, aspirantov I molodyh uchenyh "Molodezh': nauka I innovacii" / Dnepropetrovsk, 2013.
6. Vvedenie v matematicheskoe modelirovani etransportnyh potokov: Uchebnoe posobie / Izdanie 2-e, ispr. idop. A.V. Gasnikovidr. Pod red. A.V. Gasnikova. — M.: MCNMO, 2013. — 430 s.
7. Imitacionnoe modelirovanie v proektah ITS: uchebnoe posobie / S.V. ZHankaziev, A.I. Vorob'ev, A.V. SHadrin, M.V. Gavrilyuk; pod red. d-ratekhn. nauk, prof. S.V. Z Hankazieva. – M.: MADI, 2016. – 92 s.
8. ZHankaziev, S.V. Razrabotka proektov intellektual'nyh transportnyh sistem / S.V. ZHankaziev. – M.: MADI, 2016. – 104 s.
9. Metodichni vkazivki do praktichnih zanyat' z disciplini «Modelyuvannya avtotransportnih potokiv» (dlya zdobuvachiv, yaki navchayut'sya za special'nistyu 275.03 – «Transportni tekhnologiï (na avtomobil'nomu transporti)», dlya usih form navchannya) (Elektronne vidannya) / Uklad.: N.B. CHernec'ka-Bilec'ka, A.S. Rogovij, I.O. Baranov, Є.V. Polupan – Severodonec'k: vid-vo SNU im. V. Dalya, 2020. – 96 s.

Chernetskaya-Beletskaya N.B., Shtykov A.R. Analysis of the application of PTV VISSIM software for modeling traffic flows.

The article is devoted to the study of the PTV VISSIM software package. The paper presents an analysis of the application of the PTV VISSIM software, which is designed to create simulation models of the street and road network. The purpose of the work is to study and use the capabilities of VISSIM on the example of the model of the existing road network, as modern engineering approach to the planning and analysis is impossible to imagine without a modeling tool, especially when it comes to the planning of road traffic. The simulation results can be used to analyze the movement of vehicles, predict the occurrence of congestion, organize rational schedules for public transport and solve many other problems that allow creating a sufficiently fast, safe and convenient movement of vehicles on the street network. It has been established that in the global automotive industry in the last decade, there has been a steady trend associated with the growth of private vehicles with an increase in demand for transport services, which inevitably leads to an increase in traffic on urban roads, is the cause of many transport problems. The latter most often include the uneven distribution of vehicles along city routes, the formation of traffic jams, an increase in noise levels, an increase in the environmental load on certain sections of urban road networks, as well as additional costs of fuel and lubricants. In this regard, there is an urgent need to radically revise the approach to the design of the road network, to support the introduction of intelligent transport modeling systems and other modern methods of traffic planning. A modern engineering approach to planning and analysis cannot be imagined without a simulation tool, especially when it comes to motion planning. Thus, PTV VISION VISSIM is an indispensable tool for managing the transport process at all its levels, including modeling and analysis of pedestrian and transport traffic, and its study and use can significantly reduce the duration and complexity of designing complex elements of transport infrastructure, providing this maximizes the efficiency and safety of their functioning. In order to demonstrate its capabilities, a simulation model of a real intersection has been developed.

Keywords: *simulation modeling, street-road network, PTV VISSIM, vehicle, incoming flows, analysis, forecasting.*

Чернецька-Білецька Наталія Борисівна – д.т.н., професор, завідувач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, e-mail: logistyka.snu.edu.ua@gmail.com

Штиков Антон Романович – студент 1 курсу магістратури кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля.

Стаття подана 07.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-112-117

УДК 656.025

ПРОЄКТНІ РИЗИКИ РОЗВИТКУ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТУ

Шворнікова Г.М., Сорока С.І.

PROJECT RISKS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT

Shvornikova H.M., Soroka S.I.

Стаття присвячена дослідженню актуальних питань, що пов'язані з визначенням ризиків у проєктах розвитку транспортної інфраструктури. У роботі проведено аналіз досліджень проблем управління ризиками у транспортному будівництві, визначено поняття проєктного ризику та факторів, що визначають можливість їх настання. Наведено статистичні дані щодо інвестицій у транспорту галузь та підтверджено необхідність розробки інвестиційних проєктів щодо розвитку інфраструктури транспорту. Запропоновано класифікацію ризиків при реалізації проєктів транспортної інфраструктури на кожному етапі життєвого циклу, визначено фактори ризиків.

Ключові слова: *транспортна інфраструктура, інвестиційний проєкт, проєктні ризики, класифікація, фактори ризику, індикатор ризику.*

Вступ. Очевидним фактом є те, що транспортна галузь є однією з провідних галузей економіки. Особливо це важливо для економіки України, що наразі знаходиться на важкому етапі становлення та розвитку. Транспорт є ланкою, що з'єднує різні галузі економіки країни, забезпечує пересування матеріального потоку від сировини до споживача на всіх етапах життєвого циклу. Крім того належне забезпечення транспортної мобільності сприяє підвищенню якості життя населення.

Курс на інтеграцію транспортної системи України до транспортної системи країн ЄС вимагає реструктуризації та розвитку транспортного сектору, зокрема транспортної інфраструктури, а також гармонізації чинних стандартів та законодавства відповідно до встановлених норм Європейської Співдружності. Таким чином, швидкий та гармонійний розвиток економіки країни неможливий без ефективної роботи транспортної системи.

Аналіз впливу розвитку транспортної інфраструктури на економічне зростання країн і регіонів в останні десятиліття набув широкого поширення. Визначається позитивна роль розвитку автомобільної та залізничної мереж в процесах концентрації і спеціалізації виробництва, підвищенні конкурентоспроможності країн і економічних регіонів, зниженні транспортної складової в кінцевій вартості товарів, відкритті доступу до нових ринків.

Управління ризиками у на транспорту є одним з важливіших аспектів при реалізації інвестиційних проєктів у галузі. Тому детальна класифікація та визначення основних факторів їх виникнення необхідна для якомога ширшого їх урахування. Багато зарубіжних та вітчизняних науковців приділяють велику увагу цьому питанню, про що свідчить велика кількість публікацій, але незважаючи на це, недостатньо уваги приділялося системі управління ризиками інфраструктурних проєктів на транспорті.

Такі вчені, як Д. Бургес [1] та К. Мейх'ю [2] робили наголос на прикладному аспекті розв'язання проблеми управління ризиками, без уваги залишався системний підхід до ризик-менеджменту, що враховував би визначення факторів з можливістю їх подальшої декомпозиції чи врахування можливих сценаріїв розвитку. Дослідження В. Государєва [3], К. Пуліковського [4] та С. Петрова [5] були направленні на попередження ризику, але не пропонували детального аналізу системи управління ризиком з деталізацією її елементів, що робить неможливим однозначне розуміння факторів і джерел ризику проєктів розвитку транспортної інфраструктури.

Метою роботи є дослідження підходів до визначення сутності ризиків та факторів їх виникнення при реалізації проєктів розвитку транспортної інфраструктури; деталізація та класифікація ризиків на кожному етапі життєвого циклу проєкту з урахуванням особливостей галузі транспортної інфраструктури.

Виклад основного матеріалу дослідження. Особливість транспортної галузі полягає в тому, що держава має відігравати ключову роль у її модернізації**.** В цілому, результати досліджень показують наявність зв'язку між економічним зростанням та інвестиціями в інфраструктуру на національному рівні. У той же час оцінки на регіональному рівні не настільки однозначні, і тут дослідники сходяться на

думці про існування просторових екстерналій, які продукуються інфраструктурою, кількісна оцінка яких важлива, оскільки є аргументом при виборі джерела фінансування транспортної інфраструктури.

Загальні інвестиції в транспортну галузь в Україні досягають тільки 2% від ВВП, тоді як у країнах ЄС - 3%, бюджетне фінансування в Україні перебуває на рівні 0,33% ВВП, в ЄС - 1,1 % [6]. Часовий аналіз капітальних вкладень у транспорт показав, що з різних джерел фінансування, але переважно з власних коштів підприємств, інвестування було на рівні 30–50 % від потреби. За офіційними даними, в Україні за останні 7 років в усі види транспортної інфраструктури було вкладено близько 15–16 млрд. євро, або 1,5–2,2 млрд. євро щорічно. Водночас щорічні потреби у фінансуванні транспортної інфраструктури України оцінюються у 4,5 млрд. євро [7] (рис. 1).

Однак слід зазначити, що в даний час діяльність будь-якого підприємства пов'язана з виникненням ризикових ситуацій, які можуть привести до значного збитку або припинення функціонування підприємства. При цьому ймовірність виникнення ризику може створитися в будь-якій частині транспортного процесу. Крім того, в результаті розвитку інформаційно-транспортних комунікацій кількість ймовірних негативних подій буде тільки збільшуватися і наростати. Максимальний рівень відповідальності в процесі управління і виконання робіт в процесі реалізації інвестиційного проєкту завжди лежить на підрядникові, так як саме він і несе всю повну відповідальність за проєктний об'єкт.

В даний час саме поняття «ризик» застосовують в багатьох соціальних, громадських та природничих науках. Отже, ризик можна визначити, як міждисциплінарний об'єкт наукового дослідження.

При оцінці проєктних ризиків проєкту слід враховувати, що ризики мають цілком конкретні показники [8]:

1. Фактори ризику (події, що здатні привести до недосягнення поставленої мети проєкту).

2. Значимість наслідків ризику (величина відхилення фактичних показників проєкту від запланованих).

3. Імовірність настання ризикової ситуації.

Очевидним є той факт, що при здійсненні проєктів у галузі транспорту вся фінансова відповідальність не повинна лежати лише на державному секторі, потрібно всіляко долучати до реалізації проєктів і приватні підприємства, що є користувачами продукту транспорту. Оптимальний розподіл ризиків між державним і приватним секторами забезпечує виконання довгострокових вимог проєкту, а невірний розподіл ризиків може призвести до погіршення співвідношення ціна і якість продукту проєкту. Раціональний розподіл ризиків дозволяє мінімізувати ймовірність передчасного завершення проєкту і визначає порядок дій і зобов'язань сторін при виникненні таких ризиків.

Управління ризиками можливо лише при чіткому розумінні причин та факторів їх виникнення, для чого вони повинні бути детально класифіковані.

Ризики проєктного фінансування можуть бути поділені на три основних види [9, 10]:

- комерційні ризики (проєктні) – це ризики, що відносяться до самого проєкту чи ринку, на якому він функціонує;
- макроекономічні ризики (фінансові) – відносяться до зовнішнього економічного впливу, що здійснюють непрямий вплив на проєкт (інфляція, відсоткова ставка, курс валют та ін.);

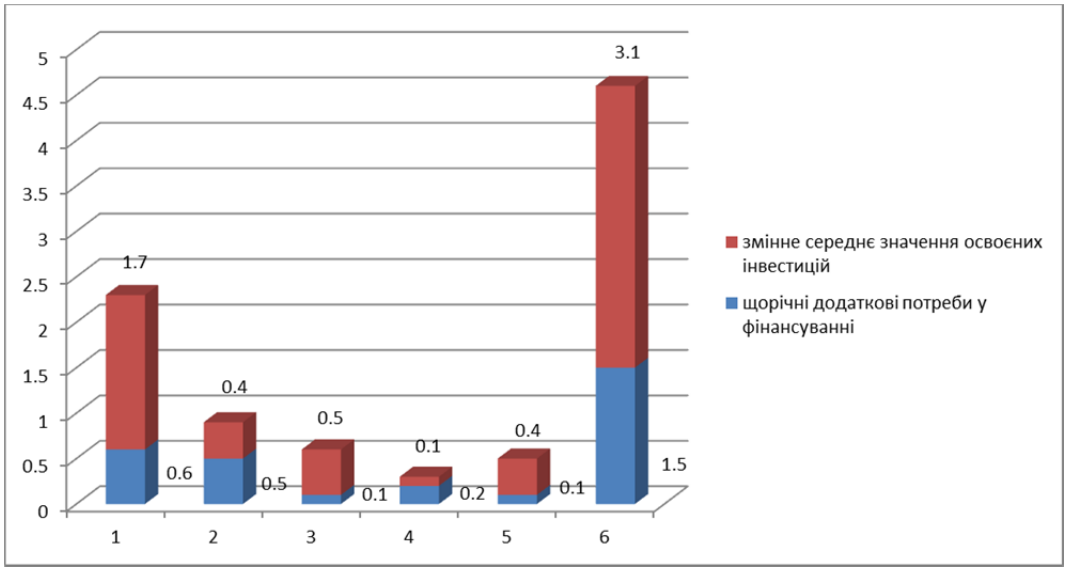


Рис. 1. Додаткові потреби у фінансуванні транспорту та інфраструктури (млрд. євро):
1 – у залізничний транспорт; 2 – в автомобільний транспорт; 3 – у трубопровідний транспорт;
4 – у авіаційний транспорт; 5 – у водний транспорт; 6 – всього в транспорт та інфраструктуру

- політичні ризики – пов’язані з діяльністю уряду чи політичними форс-мажорними обставинами (війна, революція, акції протесту та ін.). Цей вид ризику більшою мірою виникає при міжнародному фінансуванні та є досить актуальним для України.

До визначення ризиків в транспортному та інфраструктурному будівництві слід відносити негативні події і їх розмір в грошовому еквіваленті, які відображають їх, а також супроводжують збитки або втрати. Розглянуті обставини можуть бути спровоковані помилками в процесі проєктування, недоліків в процесі обґрунтування необхідності будівництва конкретних об'єктів, а також неефективного менеджменту проєкту на кожному з етапів проєктного циклу. Дотримуючись визначення ризику та з метою підвищення ефективності управління ними, варто визначити сутність і конкретизувати поняття «фактор ризику».

Під факторами ризику розуміють обставини, що можуть бути причинами ризику і ведуть до ситуацій ризику [11]. Відповідно до даного визначення ризикова ситуація настає обов'язково. Відповідаючи сучасній концепції і специфіці управління ризиками транспортного будівництва, ризик-менеджмент повинен носити превентивний характер, тобто спрямовуватися до того, щоб дана ризикова подія не змогла наступити, або, її вплив був передбачуваними і мінімальним. Вивчивши запропонований підхід, під фактором ризику необхідно мати на увазі ті явища, при яких причини появи загроз і ситуації ризику можуть бути виявлені і приведуть (або не приведуть) до небажаних ризикових подій і ситуацій [12].

У науковій літературі під факторами виникнення ризику розуміють:

- об'єктивні чи суб'єктивні дії, що ведуть до виникнення несподіваних несприятливих наслідків;
- умови, що викликають напругу;
- фактори, які визначають ступінь невизначеності середовища.

Причини загального характеру, що можуть спричинити виникнення ризикових ситуацій, представлені на рис. 2.

Дані причини можуть бути каталізатором цілої низки ризиків, таких як нестача сировини і матеріалів, відсутність оплати за виконану роботу або несвоєчасне отримання платежів за продану продукцію, відмова покупця від платної продукції, неотримання кредитів, інвестицій і т. д.

Наведений вище перелік факторів не є повним. На думку ряду експертів, джерела ризиків можуть класифікуватися за різними ознаками. По-перше, всі джерела ризиків можна поділити на внутрішні і зовнішні. Рішення проблем аналізу, оцінки та управління ризиками вимагає всебічного дослідження і всіх факторів, які так чи інакше можуть впливати на здатність підприємств домагатися своїх цілей [13]. Водночас систематичний підхід передбачає пошук причин проблемних ситуацій, в тому числі і пов'язаних з ризиками, в першу чергу, у зовнішньому середовищі. У зв'язку з вищезазначеним багато внутрішніх проблеми підприємств можуть визначатися зовнішніми факторами, представленими на рис. 3.

Крім поданої вище класифікації, джерела ризику можуть поділятися на групи факторів прямого і непрямого впливу. До першої категорії можна віднести:

- зміни та внесення поправок в законодавство, що регулює економічну діяльність;
- непередбачені дії органів державної влади, а також органів місцевого самоврядування;
- зміни податкового законодавства;
- партнерські відносини.

У свою чергу, факторами непрямого впливу є:

- політичні умови;
- економічна нестабільність;
- форс-мажорні ситуації;
- економічний розвиток сфери діяльності.

Рис. 2. Загальні фактори виникнення ризиків

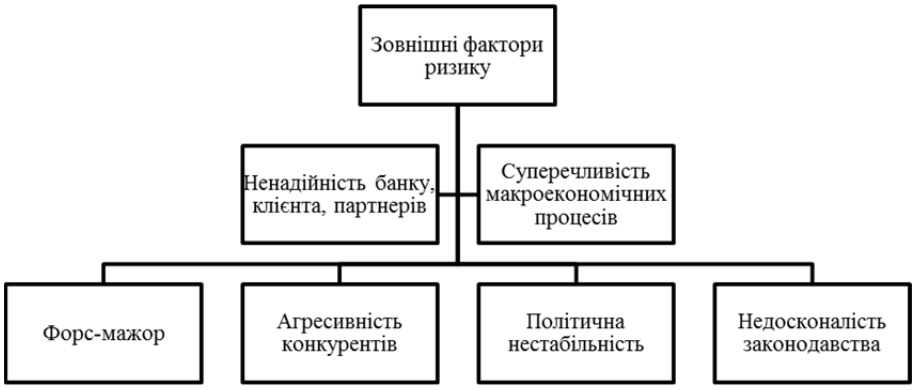


Рис. 3. Зовнішні фактори виникнення ризиків

Таблиця

Класифікація ризиків при реалізації транспортного інфраструктурного проєкту

Фази життєвого циклу проєкту	Види ризиків	Можливі варіанти ризику
Передінвестиційна фаза	Невірно визначений обсяг перевезень	Недооцінка обсягу перевезень; Переоцінка обсягу перевезень.
	Проєктні ризики	Ризик отримання негативного висновку експертиз; Недостатній рівень компетентності розробників технічного завдання; Недостатній рівень компетентності розробників проєктної документації.
	Ризик недостатнього нормативно-правового забезпечення	Відсутність актуальних нормативно-правових актів, що діють на території України; Невідповідність норм і правил Українського та міжнародного законодавства.
	Ризик несистемності	Ризик недооцінки наявності «вузьких місць»; Випереджаюче зростання обсягів будівництва житлового призначення.
	Ризики при узгодженні територій під будівництво	Ризик негативного ставлення населення; Археологічні ризики; Ризик вибору неоптимального варіанту в слідстві протидії власників земельних ділянок будівництва.
Інвестиційна фаза	Фінансові ризики	Ризик недофінансування; Ризик збільшення витрат в період будівництва; Ризик банкрутства учасників проєкту.
	Будівельні ризики	Ризик зниження якості виконуваних робіт; Ризик збільшення термінів робіт за проєктом; Ризик невиконання проєктних рішень; Логістичні ризики;
	Політичні ризики	Ризик виходу зарубіжних партнерів з проєкту; Виникнення протестних заходів; Ризик відмови зарубіжних партнерів в постачанні матеріалів, обладнання.
Експлуатаційна фаза	Ризик нестачі кваліфікованих кадрів	Ризик помилок прогнозування потреби кваліфікованих кадрів; Ризик неефективного використання кваліфікованих кадрів; Переоцінювання кадрового потенціалу.
	Екологічні ризики	Ризик виникнення техногенних надзвичайних ситуацій; Ризик погіршення стану навколишнього середовища.
	Експлуатаційні ризики	Зниження транспортного потенціалу; Зношеність або відсутність експлуатаційного парку.

Одними з умов виникнення ризиків є чинники економічного, політичного, правового, соціально-культурного, науково-технічного середовищ, а також різні методи корпоративного управління, мотивації персоналу та якість використання маркетингу та логістики на підприємстві. Дані фактори впливають на діяльність різноманітних суб'єктів ринку, проте існуючі класифікації не підходять для сфери транспорту.

Локальні фактори є постійним джерелом виникнення ризиків, в першу чергу це стосується контрагентів, діючих в ланцюгах постачань. Наприклад, дослідження в галузі управління проєктами транспортного будівництва показали, що при управлінні ризиками важливу роль несе робота з контрактами, так як умови контрактів можуть збільшити витрати на проєкт більш ніж в 8 разів.

Також зовнішні і внутрішні чинники і процеси можуть виступати в якості джерел ризику. Тим часом їх вплив відбивається на вартості і терміні проєкту. Обмеження діапазону джерел, які ініціюють появу критичних ризиків, дозволить сконцентрувати зусилля на контролі їх впливу і виборі кращих методів управління.

У якості системного елемента управління ризиками будівництва транспортної інфраструктури слід визначити, що таке індикатор ризику. Поняття «індикатор ризику» визначає собою інструмент, який може сигналізувати про можливе наближення або ймовірність прояви ризикових подій, будучи індикатором можливого виникнення фактору ризику транспортного будівництва [12].

Інфраструктурне транспортне будівництво, поряд із загальними особливостями будівництва, має ряд специфічних особливостей, властивих лінійно протяжним об'єктам.

Аналізувати і виділяти ризики при будівництві транспортної інфраструктури слід, виходячи з позицій життєвого циклу інвестиційного проєкту.

В економічній літературі представлено безліч підходів до класифікації факторів ризику [16]. Частина авторів пропонують класифікувати інвестиційні ризики на технологічні, фінансові, інвестиційні політичні, законодавчо-правові [13]. Інші автори доповнюють перелічені групи інвестиційних ризиків технічними, ризиками фінансування, соціально-психологічними та інформаційними [14].

Відносно інфраструктурних інвестиційно-будівельних проєктів деякі вчені пропонують виділяти систематичні і несистематичні ризики [11, 15].

Однак, крім систематичних і несистематичних факторів ризику, для інфраструктурних інвестиційно-будівельних проєктів слід розглядати специфічні ризики, властиві тільки даній сфері і класифікувати їх за фазами життєвого циклу проєкту (табл.).

Висновки. Запропонована у статті класифікація має на меті сприяння підвищенню ефективності ризик-менеджменту в процесі реалізації транспортних інфраструктурних проєктів. Ефект буде досягатися за рахунок можливості служб управління сконцентруватися на конкретних факторах ризику, властивих даному етапу реалізації проєкту.

Література

1. Dan Burges. Cargo Theft, Loss Prevention, and Supply Chain Management / Dan Burges. – Butterworth-Heinemann, 2012. – 392 pages.
2. Claire Mayhew. The Detection and Prevention of Cargo Theft / Claire Mayhew // Trends & Issues in Crime and Criminal Justice. – September 2001. – No 214. – PP. 1 – 6.
3. Государев В.М. Управление экономическими рисками в международных транспортных коридорах: дис… канд. экон. наук: 08.00.05 [Текст] / Государев Виктор Михайлович. – Нижний Новгород, 2005. – 190 с.
4. Пуликовский К.Б. Повышение безопасности транспортировки нефти на основе управления риском: дис… канд. техн. наук: 05.26.03 [Текст] / Пуликовский Константин Борисович. – Уфа, 2007. – 130 с.
5. Петров С.В. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в чрезвычайных ситуациях при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте: дис… канд. техн. наук: 05.26.02 [Текст] / Петров Сергей Викторович. – Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. – М., 2009. – 142 с.
6. Никифорук О. І. Перспективи фінансування транспортних проектів у рамках міжнародної фінансової допомоги / О.І. Никифорук, Л.Ю. Чмирьова, Н.О. Федяй // Економіка України. - 2015. - № 4. - С. 45–57.
7. Цебенко Н. М. Фінансові ресурси оновлення транспортної інфраструктури України / Н. М. Цебенко // Наукові записки [Української академії друкарства]. - 2017. - № 1. - С. 82–98. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_2017_1_12
8. Ніжнік А. А. Ризики реалізації інвестиційних проектів дорожньо-транспортного комплексу на засадах державно-приватного партнерства / А. А. Ніжнік // Економіка та управління на транспорті. - 2018. - Вип. 6. - С. 35–38. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eut_2018_6_7
9. Управління проектами: навчальний посібник до вивчення дисципліни для магістрів галузі знань 07 «Управління та адміністрування» спеціальності 073 «Менеджмент» спеціалізації: «Менеджмент і бізнес-адміністрування», «Менеджмент міжнародних проектів», «Менеджмент інновацій», «Логістика»/ Уклад.: Л.Є. Довгань, Г.А.Мохонько, І.П Малик. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 420 с.
10. Шворнікова Г.М. Управління проектами у галузі міжнародних залізничних перевезень / Г.М. Шворнікова, С.І. Сорока // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2019. – № 2(250). – С. 120-124
11. Мороз В.М. Ризик-менеджмент : навч. посібник для студ. спец. 281 «Публічне управління та адміністрування» / В.М. Мороз, С.А. Мороз. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 140 с.
12. Капустина Н.В. Развитие организации на основе риск-менеджмента: теория, методология и практика: Монография. М.: ИНФРА-М, 2014. Сер. Научная мысль. 178 с.
13. Данченко О. Б. Класифікація відхилень в проектах: ризики, проблеми, зміни / О. Б. Данченко // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. - 2014. - № 9. - С. 72-79. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldubzh_2014_9_10
14. Старостіна А.О. Ризик-менеджмент: теорія та практика[Текст]: Навч. Посіб./ А.О. Старостіна, В.А.Кравченко. - К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2018. - 200 с.
15. Романова А.Т., Смолякова Е.В. Управление рисками в международных транспортных системах: Учебное пособие. – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – 133 с.
16. Клименко С.М. Особливості управління ризиками розвитку підприємства / С.М. Клименко // Стратегія економічного розвитку України. - 2013. - № 32. - С. 24-29.

R e f e r e n c e s

1. Dan Burges. Cargo Theft, Loss Prevention, and Supply Chain Management / Dan Burges. – Butterworth-Heinemann, 2012. – 392 pages.
2. Claire Mayhew. The Detection and Prevention of Cargo Theft / Claire Mayhew // Trends & Issues in Crime and Criminal Justice. – September 2001. – No 214. – PP. 1 – 6.
3. Gosudarev V.M. Upravlenie ekonomicheskimi riskami v mezhdunarodnyh transportnyh koridorah: dis… kand. ekon. nauk: 08.00.05 [Tekst] / Gosudarev Viktor Mihajlovich. – Nizhnij Novgorod, 2005. – 190 s.
4. Pulikovskij K.B. Povyshenie bezopasnosti transportirovki nefti na osnove upravleniya riskom: dis… kand. tekhn. nauk: 05.26.03 [Tekst] / Pulikovskij Kon-stantin Borisovich. – Ufa, 2007. – 130 s.
5. Petrov S.V. Sovershenstvovanie metodov ocenki i upravleniya avarijnym riskom v chrezvychajnyh situa-ciyah pri perevozke nefteproduktov na zheleznodo-rozhnom transporte: dis… kand. tekhn. nauk: 05.26.02 [Tekst] / Petrov Sergej Viktorovich. – Mosk. gos. un-t putej soobshch. (MIIT) MPS RF. – M., 2009. – 142 s.
6. Nikiforuk O. I. Perspektivi finansuvannya transportnih proektiv u ramkah mizhnarodnoї finansovoї dopomogi / O.I. Nikiforuk, L.YU. CHmir'ova, N.O. Fedyaj // Ekonomika Ukraïni. - 2015. - № 4. - S. 45–57.
7. Cebenko N. M. Finansovi resursi onovlennya transportnoї infrastrukturi Ukraini / N. M. Cebenko // Naukovi zapiski [Ukraïns'koї akademiї drukarstva]. - 2017. - № 1. - S. 82–98. - Rezhim dostu-pu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_2017_1_12
8. Nizhnik A. A. Riziki realizacii investicijnih proektiv dorozhn'o-transportnogo kompleksu na zasadah derzhavno-privatnogo partnerstva / A. A. Nizhnik // Ekonomika ta upravlinnya na transporti. - 2018. - Vip. 6. - S. 35–38. - Rezhim dostu-pu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eut_2018_6_7
9. Upravlinnya proektami: navchal'nij posibnik do vivchennya disciplini dlya magistriv galuzi znan' 07 «Upravlinnya ta administruvannya» special'nosti 073 «Menedzhment» specializaciї: «Menedzhment i biznes-administruvannya», «Menedzhment mizhnarodnih proektiv», «Menedzhment innovacij», «Logistika»/ Uklad.: L.Є. Dovgan', G.A.Mohon'ko, I.P Malik. – K.: KPI im. Igorya Sikors'kogo, 2017. – 420 s.
10. Shvornikova H.M. Upravlinnya proektami u galuzi mizhnarodnih zaliznichnih perevezen' / G.M. Shvornikova, S.I. Soroka // Visnik Skhidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu im. V. Dalya. – 2019. – № 2(250). – S. 120-124
11. Moroz V.M. Rizik-menedzhment : navch. posibnik dlya stud. spec. 281 «Publichne upravlinnya ta administruvannya» / V.M. Moroz, S.A. Moroz. – Harkiv : NTU «HPI», 2018. – 140 s.
12. Kapustina N.V. Razvitie organizacii na osnove risk-menedzhmenta: teoriya, metodologiya i praktika: Monografiya. M.: INFRA-M, 2014. Ser. Nauchnaya mysl'. 178 s.
13. Danchenko O. B. Klasifikaciya vidhilen' v proektah: riziki, problemi, zmini / O. B. Danchenko // Visnik L'vivs'kogo derzhavnogo universitetu bezpeki zhit-tєdiyal'nosti. - 2014. - № 9. - S. 72-79. - Rezhim dostu-pu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldubzh_2014_9_10
14. Starostina A.O. Rizik-menedzhment: teoriya ta praktika [Tekst]: Navch. Posib./ A.O. Starostina, V.A.Kravchenko. - K.: IVC “Vidavnictvo «Politekh-nika»”, 2018. - 200 s.
15. Romanova A.T., Smolyakova E.V. Upravlenie riskami v mezhdunarodnyh transportnyh sistemah: Uchebnoe posobie. – M.: RUT (MIIT), 2019. – 133 s.
16. Klimenko S.M. Osoblivosti upravlinnya rizikami rozvitku pidpriємstva / S.M. Klimenko // Strategiya ekonomichnogo rozvitku Ukraïni. - 2013. - № 32. - S. 24-29.

Shvornikova H.M., Soroka S.I. Project risks of transport infrastructure development.

The article analyzes the problems associated with risk management in the implementation of transport infrastructure development projects. The concept of "risk" is used in many social, social and natural sciences. Thus, risk can be defined as an interdisciplinary object of scientific research. The approaches to the definition and essence of risks and risk factors of projects for the development and construction of transport infrastructure have been investigated. It has been established that transport risk management is one of the most important aspects in the implementation of investment projects in the industry. Therefore, a clear classification and definition of the main factors of their occurrence is necessary for their broader accounting. The issues of financing the transport industry, which at this stage depends mainly on state investments, are considered. Research findings show a link between economic growth and infrastructure investment at the national level. When implementing projects in the field of transport, all financial responsibility should not lie only with the public sector, it is necessary to involve in the implementation of projects and private enterprises that are users of the transport product. The optimal distribution of risks between the public and private sectors ensures the achievement of the project objectives, and the incorrect distribution of risks can lead to a deterioration in the price-quality ratio of the transport product. Rational distribution of risks minimizes the likelihood of early completion of the project and determines the procedure for actions and obligations of the parties in the event of such risks. Risk management is possible only with a clear understanding of the causes and factors of their occurrence, for this they must be classified in detail. The definition of risks in infrastructure construction should include negative events and their size in monetary terms. The article discusses the definitions of risk, risk factor and identifier. A classification of risks is proposed, taking into account the stages of the life cycle of the project and the features of infrastructure construction.

Keywords: *transport infrastructure, investment project, project risks, classification, risk factors, risk indicator.*

Шворнікова Ганна Михайлівна – к.т.н., доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, e-mail: shvorni@gmail.com.

Сорока Сергій Іванович – к.т.н., доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля.

Стаття подана 28.04.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-118-127

УДК 621.33:629.423:629.431/.432

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ТА ОЦІНКА РІВНЯ ЇХ ВПЛИВУ НА ПОКАЗНИК ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ

Сулим А.О., Мельник О.О., Бялобржеський О.В., Ломонос А.І.

INVESTIGATION OF FACTORS AND EVALUATION OF THE LEVEL OF THEIR INFLUENCE ON THE INDICATE OF SPECIFIC ELECTRICITY CONSUMPTION OF ROLLING STOCK

Sulym A.O., Melnyk O.O., Bialobrzheskyi O.V., Lomonos A.I.

В статті встановлено, що одним із актуальних питань залишається зниження експлуатаційних витрат та вартості життєвого циклу електрорухомого складу за рахунок підвищення його енергоефективності. Мета роботи – аналіз наявних факторів і дослідження рівня їх впливу на значення показника питомих витрат електроенергії на етапі розробки і виготовлення інноваційного електрорухомого складу з використанням спеціалізованого атестованого програмного забезпечення. Визначено основні фактори, що здійснюють вплив на значення показника питомих витрат електроенергії на тягу рухомого складу. Оцінено рівень впливу кожного фактору на значення питомих витрат електроенергії для рухомого складу метрополітену за результатами моделювання його динаміки руху та енергетичних процесів в спеціалізованому атестованому програмному забезпеченні. За результатами аналізу розрахунків встановлено, що для заданих умов найбільший вплив на значення питомих витрат електроенергії рухомого складу здійснює характеристика коефіцієнта корисної дії тягового приводу. Визначено, що такі характеристики та показники як сила тяги і гальмування, маса, основний опір руху, коефіцієнт інерції обертових мас рухомого складу у порівнянні з характеристикою коефіцієнта корисної дії тягового приводу, здійснюють значно менший рівень впливу на значення питомих витрат електроенергії. Виконано розрахунки можливих резервів заощаджень енергоресурсів для заданих умов за рахунок експлуатації рухомого складу метрополітену з покращеними характеристиками тягового приводу. Встановлено, що впровадження в експлуатацію рухомого складу метрополітену з покращеними характеристиками тягового приводу дозволить заощадити до 22,7 % електроенергії. Визначено термін окупності тягового приводу з покращеними характеристиками для заданих умов експлуатації рухомого складу метрополітену завдяки зменшенню експлуатаційних витрат перевізного процесу та за рахунок підвищення енергоефективності його рухомого складу.

Ключові слова: *тяговий двигун, електрорухомий склад, коефіцієнт корисної дії, метрополітен, питомі витрати електроенергії на тягу, тяговий привод.*

Вступ та постановка проблеми. В Україні енергозбереження на сьогоднішній день визнано одним із пріоритетних напрямків економічного розвитку держави. Особливо це стосується транспортної галузі. Підприємства транспортної галузі, що мають та експлуатують електрорухомий склад (ЕРС), є потужними споживачами електроенергії у масштабах цілої держави. Близько 70-80 % електроенергії, що споживається цими підприємствами, витрачається на тягові потреби ЕРС [1–3].

Основним напрямком розвитку теорії проектування ЕРС є зниження витрат його життєвого циклу. Витрати життєвого циклу складаються з витрат на розробку ЕРС (розробка нормативно-технічної документації, випробування, сертифікація та освоєння виробництва), витрат на виробництво, витрат на експлуатацію, витрат на утилізацію. Зважаючи на тривалий цикл експлуатації ЕРС, витрати на його розробку, виробництво і утилізацію незрівнянно нижчі за витрати на експлуатацію. Тому сучасні тенденції розвитку та виробництва ЕРС базуються на зниженні витрат на їх експлуатацію.

Витрати на експлуатацію ЕРС складаються з витрат на енергоресурси, а також витрат на технічне обслуговування та ремонт. Слід зазначити, що протягом останнього часу спостерігається збільшення частки витрат на енергоресурси за відношенням до загальних експлуатаційних витрат. Це явище можливо пояснити суттєвою динамікою зростання вартості електроенергії за останні декілька років [3]. Тому, зменшення витрат на енергоресурси та зниження вартості життєвого циклу ЕРС є досить нагальним питанням, яке потребує якнайшвидшого вирішення.

Аналіз останніх досліджень. Останнім часом питанню зниження витрат енергоресурсів під час експлуатації ЕРС присвячено чимало робіт як вітчи-

зняних вчених, так і закордонних вчених. В своїх дослідженнях [4–7] авторами розглянуто сучасні тенденції розвитку тягового приводу та його впровадження на інноваційному електрорухомому складі. В роботах [1, 2, 8–10] запропоновано активно впроваджувати на електрорухомому складі системи рекуперації та накопичення енергії. Ще одним перспективним напрямком економії енергоресурсів є розробка та впровадження систем раціонального ведення рухомого складу [11–13]. В роботах [14, 15, 16] запропоновано вдосконалювати допоміжні системи та впроваджувати інноваційні системи, які здатні покращити енергоефективність за рахунок ефективного використання режимів тяги і рекуперації. В дослідженнях [17, 18, 19] запропоновано застосовувати системи і технології, що засновані на використанні відновлювальних джерел енергії.

Проте, аналіз зазначених досліджень та ряду інших робіт дозволив встановити, що питання зниження витрат енергоресурсів під час експлуатації ЕРС залишається невирішеним в повному обсязі та потребує проведення подальших досліджень в цьому напрямку. Зокрема, недостатньо приділено уваги питанню аналізу впливу факторів на значення показника питомих витрат на електроенергію. Враховуючи зазначене, в цій статті запропоновано розглянути це питання більш детально та за результатами проведених досліджень надати рекомендації щодо основних напрямків і резервів зниження витрат електроенергії на тягу в процесі експлуатації ЕРС.

Мета – аналіз наявних факторів і дослідження рівня їх впливу на величину показника питомих витрат електроенергії на етапі розробки інноваційного електрорухомого складу з використанням спеціалізованого атестованого програмного забезпечення.

Матеріал та результати досліджень. Основними показниками, які характеризують витрати електроенергії на тягу ЕРС, є кількість електроенергії, витраченої на тягу, та питомі витрати електроенергії на тягу. Слід зазначити, що показник питомих витрат електроенергії на тягу є більш універсальним і дозволяє комплексно визначати ефективність ЕРС.

Показник питомих витрат електроенергії $a_{пит.тяги}$, Вт·год/т·км, на тягу ЕРС у загальному вигляді визначають за формулою [20, 21]:

$$a_{пит.тяги} = \frac{\sum \bar{U} \cdot \bar{I} \cdot \Delta t}{m \cdot L \cdot 3600}, \qquad (1)$$

де $\bar{U}$ – середнє значення напруги на струмоприймачі, В; $\bar{I}$ – середнє значення струму споживання поїзда за час Δt, А; Δt – час руху, с; m – маса поїзда метрополітену, т; L – довжина перегону, км.

З формули (1) видно, що на показник питомих витрат електроенергії на тягу здійснює вплив кількість електроенергії споживання, маса поїзда та довжина перегону. Проте, насправді, факторів впливу значно більше, ніж описано математично в формулі (1). На кількість споживання електроенергії рухомого складу під час експлуатації, окрім явно виражених факторів описаних формулою (1), здійснюють наступні фактори: коефіцієнт корисної дії тягового приводу, характеристика сили тяги (гальмування) (налаштування системи керування), основний опір руху, коефіцієнт інерції обертових мас (конфігурація поїзда). Зазначені факти відомі за результатами аналізу літературних джерел [20, 21] та практики проведення тягово-енергетичних випробувань ЕРС.

Цей показник згідно діючих типових методик [20–22] визначається за умов максимального завантаження рухомого складу як в режимі руху з середньою швидкістю сполучення на перегоні, що вказана в технічній документації на рухомий склад, так і під час розгону до максимальної експлуатаційної швидкості руху з послідуючим рухом в режимах вибігу та гальмування. При цьому довжина перегону задається в нормативній або технічній документації залежно від типу електрорухомого складу.

В цій роботі запропоновано дослідити рівень впливу зазначених факторів на значення показника питомих витрат електроенергії на прикладі рухомого складу метрополітену. Слід зазначити, що в Україні метрополітен є досить перспективним видом транспорту. На даний час мережа вітчизняних метрополітенів постійно розвивається та розширюється. Так, в Києві будуються та вводяться в експлуатацію нові станції на вже діючих лініях метрополітену, а також активно триває будівництво Подільсько-Вигурівської лінії. Аналогічна ситуація в інших вітчизняних містах-мегаполісах. В Харкові та Дніпрі також будуються нові станції на вже діючих лініях метрополітену. Разом з тим, витрати на електроенергію в метрополітені постійно зростають.

В подальших дослідженнях для оцінки зазначених факторів впливу на значення показника питомих витрат електроенергії використано спеціалізоване атестоване програмне забезпечення (комп'ютерна програма «Rational trajectory»). Інтерфейс КП «Rational trajectory» представлений на рис. 1.

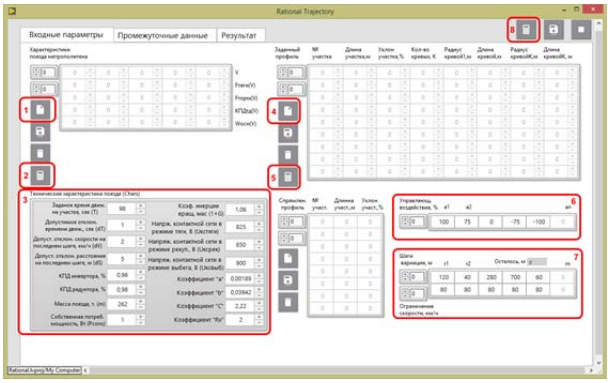


Рис. 1. Графічний інтерфейс КП «Rational trajectory».

З використанням програмного забезпечення виконано моделювання розгону, вибігу та гальмування під час руху поїзда на прямолінійному перегоні загальної довжини 1700 м без ухилів за умов реалізації середньої швидкості сполучення на перегоні 42 км/год та максимальної експлуатаційної швидкості руху 80 км/год (рис. 2).

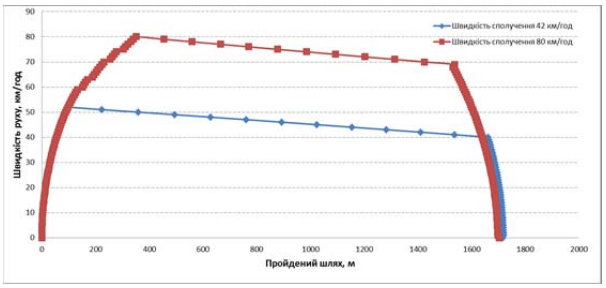


Рис. 2. Графіки руху поїзда за умов реалізації середньої швидкості сполучення на перегоні 42 км/год та максимальної експлуатаційної швидкості руху 80 км/год

В спеціалізованому програмному забезпеченні, за допомогою якого здійснювалось моделювання, прийнято наступні припущення: поїзд розглядається як матеріальна точка з центром тяжіння по середині; напруга контактної мережі для заданих режимів тяги, вибігу, рекуперативного гальмування є величиною незмінною. При цьому математична модель дозволяє враховувати конструктивні та технічні особливості поїзда, зміну ККД тягового двигуна залежно від швидкості руху в режимах тяги та гальмування, а також досліджувати енергетичні процеси в режимі рекуперативного гальмування рухомого складу метрополітену.

З урахуванням вищезазначеного, показник питомих витрат електроенергії на тягу є досить універсальним і дозволяє одночасно в комплексі враховувати декілька факторів впливу. Тому, в рамках цієї роботи в подальшому запропоновано дослідити рівень впливу кожного з зазначених вище факторів на значення питомих витрат електроенергії шляхом застосування спеціалізованого атестованого програмного забезпечення для моделювання динаміки руху поїзда.

Вплив коефіцієнта корисної дії тягового приводу. Дослідження впливу цього фактору запропоновано здійснити шляхом проведення трьох окремих тестів за умов застосування асинхронного тягового приводу від різних фірм-виробників. Під час проведення кожного з цих трьох тестів залежності коефіцієнта корисної дії є різними, а інші показники (характеристики) – незмінними. Аналогічним чином під час подальших тестів досліджуваний фактор впливу є величиною змінною, інші показники впливу – постійними.

Залежності зміни коефіцієнтів корисної дії асинхронного приводу від трьох різних фірм-виробників представлено на рис. 3.

Слід зазначити, що залежності коефіцієнта корисної дії (рис. 3) отримано експериментально під час стендових випробувань тягового приводу виробником або в процесі проведення тягово-енергетичних поїзних випробувань рухомого складу метрополітену.

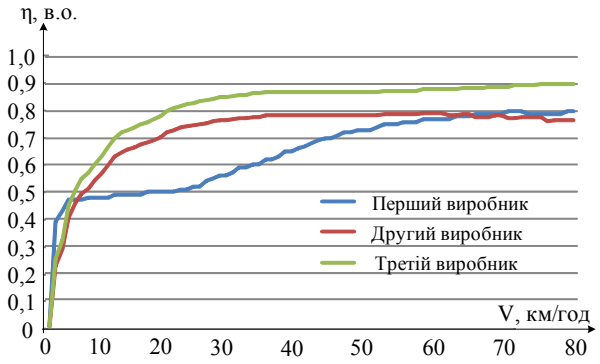


Рис. 3. Залежності коефіцієнта корисної дії тягового приводу від різних виробників

Інші характеристики та показники, які є незмінними, під час дослідження ступеню впливу коефіцієнта корисної дії тягового приводу, отримано за результатами експериментальних досліджень модернізованого рухомого складу метрополітену виробництва ПАТ «КВБЗ», який складається з вагонів моделей 81-7080, 81-7081, 81-7081-01. При цьому маса рухомого складу в максимально завантаженому стані складає 262 тони, коефіцієнт інерції обертових мас – 1,06. Графіки залежностей сили тяги та гальмування від швидкості цього рухомого складу зображено на рис. 4. Залежність основного опору руху поїзда від швидкості наведено на рис. 5.

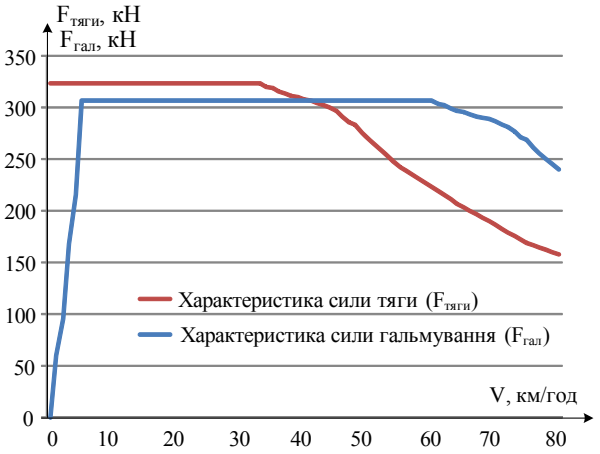


Рис. 4. Графіки залежностей сили тяги та гальмування від швидкості руху

Залежність основного опору руху поїзда від швидкості отримано експериментально під час проведення тягово-енергетичних випробувань.

Результати визначення питомих витрат електроенергії на тягу поїзда метрополітену за проведеним моделюванням динаміки руху розраховано за формулою (1), наведено в табл. 1.

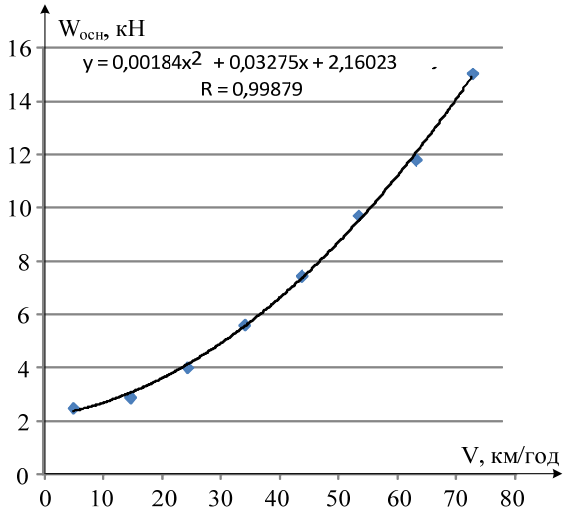


Рис. 5. Залежність основного опору руху поїзда метрополітену від швидкості

Таблиця 1

Результати розрахунків значень питомих витрат

Виробник АТД	Значення питомих витрат електроенергії на тягу поїзда, Вт·год/т·км	
	Швидкість сполучення 42 км/год	Розгін до 80 км/год – вибіг – гальмування
Перший виробник	32,05	68,25
Другий виробник	26,51	62,94
Третій виробник	23,92	55,78
Різниця між найбільшим і найменшим значенням, %	25,4	18,3

Аналіз результатів розрахунків (табл. 1) дозволив встановити, що для заданих умов значення питомих витрат електроенергії залежно від обраного виробника тягового приводу змінюється в межах до 25,4 % та 18,3 % відповідно для середньої швидкості на перегоні 42 км/год та під час розгону до 80 км/год.

Вплив налаштування системи керування (вибір характеристик сил тяги та гальмування). Дослідження впливу цього фактору запропоновано здійснити шляхом проведення трьох окремих тестів за умов застосування тягового приводу від одного виробника, проте з різним налаштуванням системи керування тяговим і гальмівним обладнанням. Під час цих тестів змінними є характеристики сил тяги та гальмування.

Характеристики сил тяги та гальмування для трьох тестів, зображено на рис. 6, 7. Ці характеристики було обрано таким чином, щоб вони забезпечували необхідні вимоги за динамікою розгону (гальмування) та темпу прискорення (сповільнення) поїзда із зазначеними раніше параметрами. Тому, для виконання цих умов, обрані тягові (гальмівні) характеристики забезпечують максимальні значення прискорення в межах від 1,2 до 1,4 м/с^2 та сповільнення в межах від 1,15 до 1,35 м/с^2 під час номінального завантаження. Також ці характеристики обрано з урахування обмежень сил тяги (гальмування) за коефіцієнтом зчеплення коліс з рейками.

Як тяговий привод обрано привод від третього виробника (рис. 3), коефіцієнт корисної дії якого є вищим у порівнянні з іншими виробниками. Характеристика основного опору руху під час виконання досліджень відповідає експериментально отриманій залежності, що зображена на рис. 5.

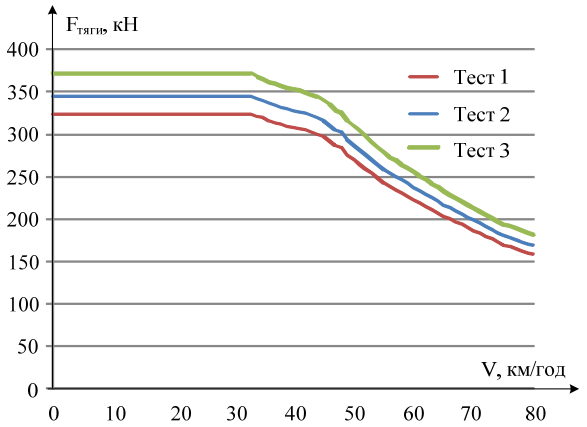


Рис. 6. Характеристики сил тяги рухомого складу

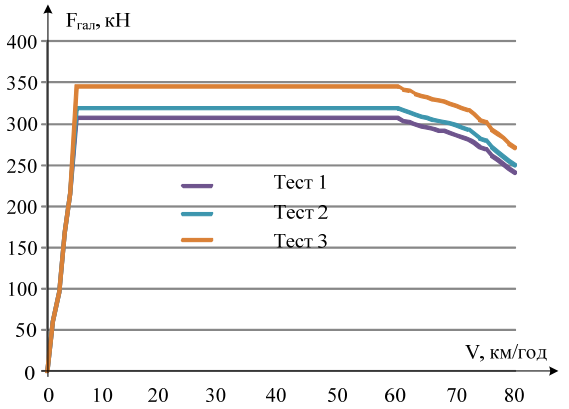


Рис. 7. Характеристики сил гальмування рухомого складу

Результати досліджень впливу налаштування системи керування на значення питомих витрат електроенергії на тягу, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків значень питомих витрат

Характеристика сил тяги та гальмування АТД	Значення питомих витрат електроенергії на тягу поїзда, Вт·год/т·км	
	Швидкість сполучення 42 км/год	Розгін до 80 км/год – вибіг – гальмування
Характеристика 1	23,92	55,78
Характеристика 2	23,83	55,61
Характеристика 3	23,8	55,43
Різниця між найбільшим і найменшим значенням, %	0,5	0,6

Аналіз результатів розрахунків показує, що для заданих умов налаштування системи керування у порівнянні з характеристикою ККД тягового приводу здійснює незначний вплив на значення питомих витрат електроенергії. Цей вплив оцінюється в межах 0,5 % та 0,6 % відповідно для середньої швидкості на перегоні 42 км/год та під час розгону до 80 км/год.

Вплив маси рухомого складу. Аналіз технічних характеристик інноваційного рухомого складу метрополітену з асинхронним тяговим приводом, який введено в експлуатацію останнім часом, дозволив встановити, що маса такого складу при максимальному завантаженні (10 пас/м^2) знаходиться в межах від 227,5 т до 278,2 т. Зазначену масу рухомого складу наведено в розрахунку на п'ятивагонний зчеп. Виходячи з наведених меж, під час досліджень впливу маси рухомого складу на питомі витрати електроенергії, виконано три тести, в яких масу прийнято 227,5 т; 262,0 т; 278,2 т відповідно.

Під час виконання досліджень залежність ККД обрано максимально ефективну (тяговий привод від третього виробника (рис. 3)); коефіцієнт інерції обертових мас складає 1,06; характеристики сил тяги та гальмування відповідають залежностям, наведеним на рис. 4; характеристика основного опору відповідає залежності, зображеній на рис. 5. Обрані характеристики сил тяги та гальмування забезпечують необхідні значення динаміки руху складу і враховують обмеження за зчіпною вагою (зчеплення коліс з рейками).

Результати досліджень з впливу маси рухомого складу на значення питомих витрат електроенергії на тягу, наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків значень питомих витрат

Маса рухомого складу	Значення питомих витрат електроенергії на тягу поїзда, Вт·год/т·км	
	Швидкість сполучення 42 км/год	Розгін до 80 км/год – вибіг – гальмування
Мінімальна (227,5 т)	24,75	55,78
Середня (262,0 т)	23,92	55,78
Максимальна (278,2 т)	23,86	55,78
Різниця між найбільшим і найменшим значенням, %	3,6	-

Аналіз результатів розрахунків дозволив встановити, що для заданих умов питомі витрати електроенергії залежно від маси змінюється в межах 3,6 % для середньої швидкості на перегоні 42 км/год. Під час розгону поїзда до експлуатаційної швидкості 80 км/год значення питомих витрат залишаються незмінними незалежно від його маси.

Вплив характеристики основного опору руху. Дослідження з впливу характеристики основного опору руху на питомі витрати електроенергії на тягу виконано шляхом проведення трьох окремих тестів. Характеристики основного опору руху, які використано під час досліджень, зображено на рис. 8.

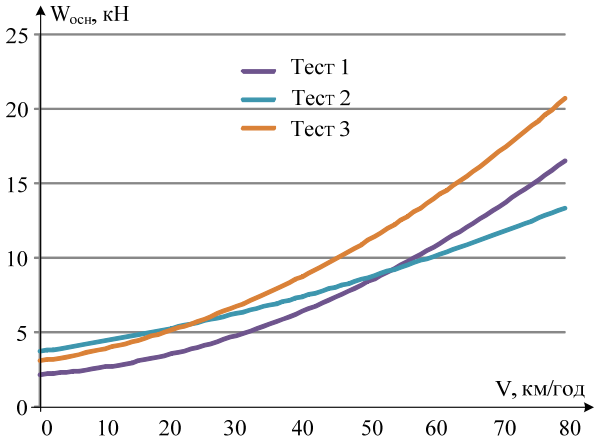


Рис. 8. Характеристики основного опору руху складу

Слід зазначити, що під час першого та другого тестів використано характеристики основного опору руху, отримані експериментально; під час третього тесту характеристику отримано розрахунковим шляхом на основі загальновідомої формули, яку наведено в роботі [23].

Під час виконання досліджень з впливу характеристики основного опору руху складу на питомі витрати електроенергії прийнято наступне: маса поїзда складає 262 т; коефіцієнт інерції обертових мас дорівнює 1,06; застосовано тяговий привод від третього виробника (рис. 3); тягова та гальмівна характеристики відповідають залежностям, наведеним на рис. 4.

Результати визначення значень питомих витрат електроенергії на тягу поїзда метрополітену з урахуванням різних характеристик основного опору руху, наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків значень питомих витрат

Характеристика основного опору руху	Значення питомих витрат електроенергії на тягу поїзда, Вт·год/т·км	
	Швидкість сполучення 42 км/год	Розгін до 80 км/год – вибіг – гальмування
Характеристика 1	24,84	55,78
Характеристика 2	23,92	55,58
Характеристика 3	26,8	56,61
Різниця між найбільшим і найменшим значенням, %	10,7	1,8

Аналіз результатів розрахунків (табл. 4) показав, що для заданих умов характеристика основного опору руху здійснює вплив на значення питомих витрат електроенергії на тягу в межах 10,7 % та 1,8 %

відповідно для середньої швидкості на перегоні 42 км/год та під час розгону до 80 км/год.

Вплив коефіцієнта інерції обертових мас. Коефіцієнт інерції обертових мас визначається експериментально під час проведення тягово-енергетичних випробувань або розрахунковим методом. Цей показник показує відношення маси обертових частин до загальної маси рухомого складу. Аналіз технічних характеристик інноваційного рухомого складу метрополітену з асинхронним тяговим приводом, який введено в експлуатацію останнім часом, дозволив встановити, що коефіцієнт інерції обертових мас такого складу при максимальному завантаженні (10 пас/м^2) знаходиться в межах від 1,04 до 1,08. Виходячи з наведених меж, під час досліджень впливу коефіцієнта інерції обертових мас рухомого складу на значення питомих витрат електроенергії, виконано три тести, в яких значення цього показника прийнято 1,04; 1,06; 1,08 відповідно.

Інші показники під час досліджень впливу показника коефіцієнта інерції обертових мас залишаються незмінними: характеристика ККД тягового приводу від третього виробника (рис. 3); графіки залежностей сил тяги та гальмування відповідають характеристикам наведеним на рис. 4; маса рухомого складу дорівнює 262 т; характеристику основного опору наведено на рис. 5.

Результати досліджень з впливу коефіцієнта інерції обертових мас рухомого складу на значення питомих витрат електроенергії на тягу, наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Результати розрахунків значень питомих витрат

Коефіцієнт інерції обертових мас	Значення питомих витрат електроенергії на тягу поїзда, Вт·год/т·км	
	Швидкість сполучення 42 км/год	Розгін до 80 км/год – вибіг – гальмування
Мінімальний (1,04)	23,9	54,73
Середній (1,06)	23,92	55,78
Максимальний (1,08)	23,93	56,83
Різниця між найбільшим і найменшим значенням, %	0,1	3,7

Аналіз результатів розрахунків (табл. 5) дозволив встановити, що для заданих умов питомі витрати електроенергії залежно від коефіцієнта інерції обертових мас змінюється в межах 0,1 % та 3,7 % відповідно для середньої швидкості на перегоні 42 км/год та під час розгону до 80 км/год.

Рівень впливу перелічених факторів на значення показника питомих витрат електроенергії на тягу для заданих умов, зображено у вигляді діаграм на рис. 9, 10. За аналізом результатів розрахунків встановлено, що для заданих умов найбільший вплив на значення питомих витрат електроенергії на тягу здійснює ККД тягового приводу (рис. 9, 10), інші характеристики (показники) мають значно менший вплив.

Рис. 9. Рівень впливу факторів на значення питомих витрат електроенергії для середньої швидкості на перегоні 42 км/год

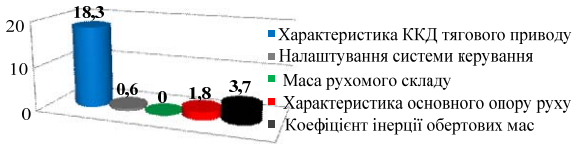


Рис. 10. Рівень впливу факторів на значення питомих витрат електроенергії під час розгону до швидкості 80 км/год

Слід зазначити, що сумарний вплив таких характеристик (показників) як сила тяги та гальмування, маса, основний опір руху, коефіцієнт інерції обертових мас порівняно із впливом ККД тягового приводу менший на 10,5 % та на 12,2 % відповідно для середньої швидкості на перегоні 42 км/год та під час розгону до 80 км/год.

Тому, запропоновано виконати оцінку заощаджень від зменшення витрат на енергоресурси саме за рахунок впровадження ефективного економічного асинхронного тягового приводу для заданих умов експлуатації рухомого складу метрополітену.

Як дослідну ділянку під час розрахунків обрано Святошинсько-Броварську лінію КП «Київський метрополітен». Дослідний рухомий склад представляє собою п’ятивагонний поїзд з асинхронним тяговим приводом та системами рекуперації. Прийнято, що поїзд протягом доби експлуатується наступним чином:

– у робочі дні (5 днів на тиждень) сім повних кіл з дотриманням «непікового» графіку руху (2 кола з мінімальним завантаженням та 5 кіл з номінальним завантаженням) та два повних кола з дотриманням «пікового» графіку руху з максимальним завантаженням;

– у вихідні дні (2 дні на тиждень) сім повних кіл з дотриманням «непікового» графіку руху (1 коло з мінімальним завантаженням та 6 кіл з номінальним завантаженням).

Протягом року поїзд експлуатується 315 днів, з яких 225 робочих і 90 вихідних.

Як тяговий привод використано асинхронний привод від трьох різних фірм-виробників з характеристиками ККД (рис. 3). Моделювання динаміки руху поїзда та енергетичних процесів на заданій ділянці здійснено за допомогою атестованого спеціалізованого програмного забезпечення (рис. 1).

Під час досліджень прийнято, що ККД редуктора є незмінною величиною, яка становить 0,98.

Підсумкові значення кількості споживання електроенергії на тягу рухомим складом за результатами обробки даних моделювання за допомогою атестованого спеціалізованого програмного забезпечення залежно від типу обраного асинхронного тягового приводу, наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Результати розрахунків кількості споживання електроенергії на тягу рухомим складом

Завантаження поїзда	Значення кількості споживання електроенергії на тягу поїзда, кВт·год		
	Академмістечко-Лісова	Лісова-Академмістечко	Повне коло
Тяговий привод від першого виробника			
Мінімальне	183,3	198,6	381,9
Номінальне	279,7	295,9	575,6
Максимальне	338,4	363,7	702,1
Тяговий привод від другого виробника			
Мінімальне	154,9	163,8	318,7
Номінальне	234,2	261,1	495,3
Максимальне	285,2	315,2	600,4
Тяговий привод від третього виробника			
Мінімальне	140,2	149,3	289,5
Номінальне	215,9	230,7	446,6
Максимальне	262,5	282,1	544,6

Кількість спожитої електроенергії за один день визначається за формулою [24]:

$$E_d = m_1 \cdot E_{k1} + m_2 \cdot E_{k2} + ... + m_n \cdot E_{kn}, \qquad (2)$$

де m – кількість кіл за день для типової умови експлуатації поїзда; n – кількість типових умов експлуатації поїзда.

Кількість спожитої електроенергії за рік визначається за формулою [24]:

$$E_r = l_1 \cdot E_{d1} + l_2 \cdot E_{d2}. \qquad (3)$$

де l_1, l_2 – кількість робочих і вихідних днів на рік; E_{d1}, E_{d2} – кількість спожитої електроенергії у робочий та вихідний дні відповідно.

Результати кількості споживання електроенергії за рік залежно від типу впровадженого тягового приводу для заданих умов експлуатації поїзда, наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Результати розрахунків кількості споживання електроенергії поїздом на тягу за рік

Виробник тягового приводу	Значення кількості споживання електроенергії на тягу поїзда, кВт·год			Економічний ефект, %
	У робочий день	У вихідний день	За рік	
Перший	5046	3836	1480545	-
Другий	4315	3291	1266953	14,4
Третій	3901	2969	1144989	22,7

Розрахунок терміну окупності виконується за різницею вартості тягового приводу за проектним та базовим варіантами. Базовий варіант представляє впровадження тягового приводу з найбільшою кількістю споживання електроенергії на тягу (в нашому випадку тяговий привод від першого виробника), проектні варіанти – впровадження тягового приводу від другого та третього виробників. В розрахунках прийнято вартість одного комплекту тягового приводу від першого виробника 560 тис. грн.; від другого – 700 тис. грн.; від третього – 840 тис. грн. Відповідно для п'ятивагонного поїзда з трьома моторними вагонами вартість тягового приводу від першого виробника становить 6720 тис. грн., від другого – 8400 тис. грн.; від третього – 10080 тис. грн.

Величина терміну окупності визначається за відношенням вартості від впровадження тягового приводу залежно від виробника до вартості заощадженої електроенергії цим приводом за рік [24]:

$$T_{ok} = \frac{Q}{T_e \cdot E_r}, \qquad (4)$$

де Q – вартість тягового приводу; T_e – тариф на електроенергію (T_e = 2,27371 грн./кВт·год).

Енергоефективність від впровадження проектних варіантів розраховується за формулою:

$$E = \frac{A_n}{A_б}, \qquad (5)$$

де A_n – споживання за проектним варіантом; $A_б$ – споживання за базовим варіантом.

Результати досліджень терміну окупності тягового приводу наведено у вигляді графіків на рис. 11.

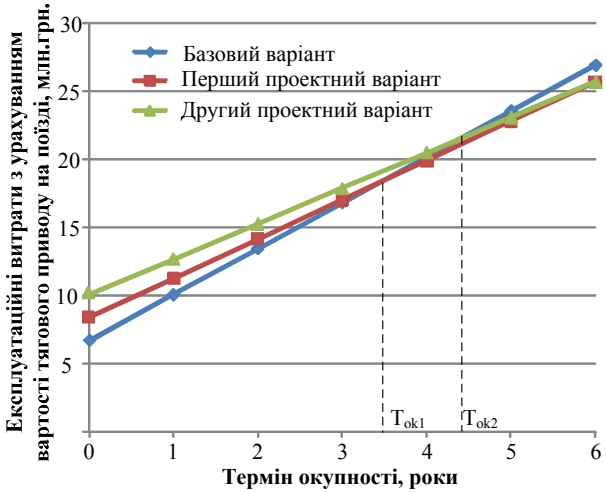


Рис. 11. Термін окупності тягового приводу для проектних варіантів

На підставі виконаних розрахунків (табл. 7, рис. 11) визначено річний економічний ефект та термін окупності від впровадження тягового приводу

за проектними варіантами для заданих умов руху поїзда метрополітену. Встановлено, що завдяки впровадженню ефективного тягового приводу з покращеними енергетичними характеристиками, можливо досягти заощаджень енергоресурсів до 22,7 %. При цьому щорічний економічний ефект від впровадження ефективного тягового приводу буде становити на рівні 490–763 тис. грн., а термін окупності – 3,5–4,4 роки.

Висновки.

1. Визначено фактори та рівень їх впливу на показник питомих витрат електроенергії на тягу рухомого складу. Встановлено, що вплив на показник питомих витрат здійснюють наступні фактори: коефіцієнт корисної дії тягового приводу, налаштування системи керування тяговим і гальмівним обладнанням, основний опір руху, коефіцієнт інерції обертових мас (схема формування поїзда). За аналізом результатів розрахунків встановлено, що для заданих умов найбільший вплив на значення питомих витрат електроенергії на тягу здійснює ККД тягового приводу, інші характеристики (показники) мають значно менший вплив. Для заданих умов сумарний вплив таких характеристик (показників) як сила тяги та гальмування, маса, основний опір руху, коефіцієнт інерції обертових мас у порівнянні з впливом ККД тягового приводу менший на 10,5 % та на 12,2 % відповідно для середньої швидкості на перегоні 42 км/год та під час розгону до 80 км/год.

2. Результати досліджень засвідчили, що завдяки впровадженню ефективного тягового приводу з покращеними енергетичними характеристиками, можливо досягти заощаджень енергоресурсів до 22,7 %.

3. Результати досліджень показали, що впровадження ефективного тягового приводу з покращеними характеристиками, дозволить досягти щорічного економічного ефекту на рівні 490-763 тис. грн. При цьому термін окупності такого тягового приводу становить 3,5-4,4 роки.

Подальші дослідження необхідно зосередити на розробці комплексного критерію для вибору раціональних параметрів тягового приводу для інноваційного рухомого складу на етапі його проектування з метою мінімізації експлуатаційних витрат та здешевлення перевізного процесу, що в цілому дозволить зменшити вартість життєвого циклу рухомого складу.

Література

1. Шевлюгин М.В., Желтов К.С. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии. НТТ – Наука и техника транспорта. 2008. Вып. № 1. С. 15–20.
2. Yatsko S., Sidorenko A., Vashchenko Ya., Lyubarskyi B., Yeritsyan B. Method to improve the efficiency of the traction rolling stock with onboard energy storage. International journal of renewable energy research. Vol. 9. No. 2. P. 848–858.
3. Донченко А.В., Сулим А.О., Сіора О.С., Мельник О.О., Федоров В.В. Аналіз питань енергозбереження та енергоефективності під час експлуатації рухомого складу метрополітену. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпр. нац. ун-ту залізничного трансп. 2016. № 3(63). С. 108–119. DOI: https://doi.org/ 10.15802/stp2016 /74732.
4. Устенко О.В., Пасько О.В. Тенденции развития тяговых двигателей подвижного состава. Електротехніка і електромеханіка. 2013. № 1. С. 65-68.
5. Титова Т.С., Евстафьев А.М., Изварин М.Ю. Сычугов А.Н. Перспективы развития тягового подвижного состава. Часть 1. Транспорт Российской Федерации. 2018. № 6 (79). С. 40-44.
6. Хворост М.В., Шпіка М.І., Бесараб А.І. Тяговий асинхронний електропривод для міського електротранспорту. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2012. № 3. С. 7-10.
7. Воронов Р.В. Дослідження тягової електромеханічної системи з двома синхронними двигунами з постійними магнітами, що живляться від одного інвертора. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2020. № 1 (49). С. 8-19. DOI: https://doi.org/10.30929/2072-2052.2020.1.49.8-19.
8. Саблін О.І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2014. Вип. 8 (72) /том 6/. С. 9–13. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30483.
9. Костин Н.А., Никитенко А.В. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока. Залізничний транспорт України. 2014. № 3. С. 15–23.
10. Sulym A., Lomonos A., Bialobrzheskyi O., Safronov O., Khozia P. Analysis of technical solutions for the implementation of on-board energy storage on the electric stock. Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychogo Universytetu. 2020. № 3. P. 59-66. DOI: https://doi.org/10.33271/ nvngu/2020-3/059.
11. Petrenko O., Liubarskiy B., Pliugin V. Determination of railway rolling stock optimal movement modes. Електротехніка і електромеханіка. 2017. № 6. P. 27-31. DOI: https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.6.04.
12. Баранов Л.А., Ерофеев Е.В., Мелешин И.С., Чинь Л.М. Оптимизация управления движением поездов / под ред. доктора технических наук Л.А. Баранова. – М.: МИИТ, 2011. – 164 с.
13. Кислий Д. М. Визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпр. нац. ун-ту залізничного трансп. 2016. № 1(61). С. 71–84. DOI: https://doi.org/10.15802/ stp2016/60983.
14. Khodaparastan M., Ahmad A. Mohamed, Brandauer W. Recuperation of regenerative braking energy in electric rail transit systems. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems. 2019. Vol. 20, Issue 8, P. 2831–2847. DOI: https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2886809.
15. Wieczorek M., Lewandowski M. Zasobnik energii umożliwiający przejazd tramwaju przez skrzyżowanie bez użycia sieci trakcyjnej. TTS Technika Transportu szynowego. 2018. № 10. P. 39–43.
16. Hetman H.K., Marikutsa S.L. Selection of rational parameters of the nominal mode electric trains with asynchronous traction drive. Science and Transport

Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. 2017. Issue 3 (69). P. 56–65. DOI: https://doi.org/10.15802/ stp2017/104767.
17. Шевлюгин М.В., Жуматова А.А. Возможность использования возобновляемых источников энергии в системе тягового электроснабжения железных дорог. НТТ – Наука и техника транспорта. 2008. Вып. № 4. С. 25–28.
18. Сокол Е.И., Жемеров Г.Г., Тугай Д.В. Силовая электроника и концепция энергетики «SMART GRID». Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2013. Спец. выпуск т.1, № 8 (114). С. 7–16.
19. Гольденберг В. Возобновляемая энергия на железнодорожном транспорте. Мир транспорта. 2017. Том 15. № 1. С. 64–74.
20. Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров : Под ред. И.П. Исаева. М.: Транспорт, 1995. 294 с.
21. Слепцов М.А. Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.А. Слепцов, Г.П. Долаберидзе, А.В. Прокопович и др. М.: Издательский центр «Академия». 2006. 464 с.
22. М 6.5.00684 Електрорухомий склад. Методика тягово-енергетичних випробувань. Кременчук, ДП "УкрНДІВ". 2016. 27 с.
23. Байрыева Л.С. Теория электрической тяги. Методическое пособие / Л.С. Байрыева, А.В. Прокопович. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 40 с.
24. Sulym A. Development of a comprehensive approach to determining the rational parameters of an onboard capacitive energy accumulator for a subway train / A. Sulym, O. Fomin, P. Khozia, O. Palant, V. Stamatin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Issue 3 (102). – P. 28–38. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183304

References

1. Shevlyugin M.V., Zheltov K.S. On reduction of electric power consumption in Moscow underground by application of capacitive energy storage devices. STT – Science and Technology in Transport. 2008. Vol. 1. P. 15–20.
2. Yatsko S., Sidorenko A., Vashchenko Ya., Lyubarskyi B., Yeritsyan B. Method to improve the efficiency of the traction rolling stock with onboard energy storage. International journal of renewable energy research. Vol. 9. No. 2. P. 848–858.
3. Donchenko A.V., Sulym A.O., Siora A.S., Melnyk A.A., Fedorov V.V. Analysis of energy saving and energy efficiency issues during operation of the metro rolling stock. Scientific and Technical Library Dnipro National University of Railway Transport. 2016. No. 3(63). P. 108–119. DOI: https://doi.org/ 10.15802/stp2016 /74732.
4. Ustenko A.V., Pasko O.V. Development trends for rolling stock traction motors. Electrical Engineering & Electromechanics. 2013. No. 1. P. 65–68.
5. Titova T.S., Evstaf'ev A.M., Izvarin M.Iu., Sychugov A.N. Prospects for development of traction rolling stock. Part 1. Transport of the Russian Federation. 2018 No. 6(79). P. 40–44.
6. Hvorost M.V., Shpika M.I., Besarab A.I. Hauling asynchronous drive is for city elektrotransportu. Energy saving. Power engineering. Energy audit. 2012. No. 3. P. 7–10.
7. Voronov R. Research of tractive electromechanical system with two synchronous motors with permanent magnets powering from by one inverter. Electromechanical and energy saving systems. 2020. No. 1 (49). P. 8–19. DOI: https://doi.org/10.30929/2072-2052.2020.1.49.8-19.
8. Sablin O. Study of the efficiency of the process of electricity recovery in the subway. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2014. Pub. 8 (72) /Vol. 6/ P. 9–13. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30483.
9. Kostin M., Nikitenko A. Recuperative braking autonomy is a basis of reliable and efficient energy recuperation in DC electric rolling stock. Railway Transport of Ukraine. 2014. №3. P. 15–23.
10. Sulym A., Lomonos A., Bialobrzheskyi O., Safronov O., Khozia P. Analysis of technical solutions for the implementation of on-board energy storage on the electric stock. Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychogo Universytetu. 2020. № 3. P. 59-66. DOI: https://doi.org/10.33271/ nvngu/2020-3/059.
11. Petrenko O., Liubarskiy B., Pliugin V. Determination of railway rolling stock optimal movement modes. Електротехніка і електромеханіка. 2017. № 6. P. 27-31. DOI: https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.6.04.
12. Baranov L.A., Yerofeyev Ye.V., Meleshin I.S., Chin L.M. Optimizatsiya upravleniya dvizheniyem poyezdov [Optimization of train traffic control]. Moscow, MIIT Publ., 2011. 164 p.
13. Kyslyi D.M. Energy Saving Modes Definition of Trains Handling. Scientific and Technical Library Dnipro National University of Railway Transport. 2016. No. 1 (61).
P. 71–84. DOI: https://doi.org/ 10.15802/stp2016/60983.
14. Khodaparastan M., Ahmad A. Mohamed, Brandauer W. Recuperation of regenerative braking energy in electric rail transit systems. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems. 2019. Vol. 20, Issue 8, P. 2831–2847. DOI: https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2886809.
15. Wieczorek M., Lewandowski M. Zasobnik energii umożliwiający przejazd tramwaju przez skrzyżowanie bez użycia sieci trakcyjnej. TTS Technika Transportu szynowego. 2018. № 10. P. 39–43.
16. Hetman H.K., Marikutsa S.L. Selection of rational parameters of the nominal mode electric trains with asynchronous traction drive. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. 2017. Issue 3 (69). P. 56–65. DOI: https://doi.org/ 10.15802/stp2017/104767.
17. Shevliugin M.V., Zhumatova A.A. Application possibility of perpetual energy sources in the traction electric supply system on railways. STT – Science and Technology in Transport. 2008. Vol. 4. P. 25–28.
18. Sokol E. I., Zhemerov G. G., Tugay D.V. Power elektronics and energy development concept «SMART GRID». Energy saving. Power engineering. Energy audit. 2013. Special pub. Vol. 1 No. 8 (114). P. 7–16.
19. Goldenberg V. Renewable Energy in Railway Transport. World of transport and transportation, Vol. 15, Iss. 1, pp. 64–74 (2017).
20. Rosenfeld V. E., Isaev I. P., Sidorov N. N., Ozerov M.I.: Ed. I.P. Isaeva. Teoriya elektricheskoy tyagi [Theory of electric traction]. Moscow, Transport, 1995. 294 p.
21. Slepcov M.A., Dolabaridze G.P., Prokopovich A.V. Osnovy elektricheskogo transporta [Fundamentals of electric transport]. Moscow, Academy Publishing Center, 2006.
464 p.
22. M 6.5.00684 Elektrorukhomyy sklad. Metodyka tyahovo-enerhetychnykh vyprobuvan′. [Electric rolling stock.

Methods of traction and energy tests]. Kremenchuk, SE "UkrNDIV", 2016, 27 p.
23. Bayryeva L.S., Prokopovich A.V. Teoriya elektricheskoy tyagi. Metodicheskoye posobie [Theory of electric traction. Toolkit]. Moscow, MEI Publ., 2004. 40 p.
24. Sulym A. Development of a comprehensive approach to determining the rational parameters of an onboard capacitive energy accumulator for a subway train / A. Sulym, O. Fomin, P. Khozia, O. Palant, V. Stamatin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Issue 3 (102). – P. 28–38. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183304.

Sulym A.O., Melnyk O.O., Bialobrzheskyi O.V., Lomonos A.I. Investigation of factors and evaluation of the level of their influence on the indicate of specific electricity consumption of rolling stock

The article deals with the scientific research aimed at reducing energy consumption during the operation of electric rolling stock. The main areas of focus concerning energy savings in the electric rolling stock are determined. It is found out that one of the urgent issues is to reduce operating costs and the life cycle cost of the electric rolling stock by increasing its energy efficiency. The purpose of the paper is to analyze the available factors and study the intensity of their effect on the value of the electricity specific consumption at the stage of development and manufacture of innovative electric rolling stock using an application-specific simulation model. The main factors influencing the value of the specific electricity consumption of the rolling stock traction are identified. The level of influence of each factor on the value of specific electricity consumption for the metro rolling stock is estimated based on the results of modeling its traffic dynamics and energy processes using specific licensed software. Relying on the calculations analysis it is established that under the given conditions the efficiency of the traction drive has the highest influence on value of specific consumption of the electric power by a rolling stock. It is determined that such characteristics and indicators as traction and braking force, mass, running resistance to motion, rotational inertia coefficient of the rolling stock have a much lower influence on the value of specific electricity consumption in comparison with the characteristic of the efficiency of the traction drive (among above-mentioned characteristics (indicators) the characteristics of the resistance to motion exercise the maximum influence on the specific consumption). The calculations of possible energy savings for the given conditions due to the operation of the metro rolling stock with the efficient characteristics of the traction drive are performed. It is established that the commissioning of metro rolling stock with improved traction drive characteristics will save up to 22.7% of electrical energy by reducing the operating transportation costs and by increasing the energy efficiency of its rolling stock. The payback period of the traction drive with improved characteristics for the given operating conditions of the metro rolling stock is determined.

Keywords: *traction engine, electric rolling stock, efficiency factor, metro, specific electric energy consumption for traction mode, traction drive.*

Сулим А.О. – к.т.н., заступник директора з наукової роботи, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», e-mail: sulim1.ua@gmail.com.
Мельник О.О. – завідувач науково-дослідної групи науково-дослідної лабораторії досліджень залізничної техніки, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», e-mail: om.oleksandrmelnyk@gmail.com.
Бялобржеський О.В. – к.т.н., доцент, виконуючий обов'язки завідувача кафедри «Систем електроспоживання та енергетичного менеджменту», Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, e-mail: bialobrzeski@ukr.net
Ломонос А.І. – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій», Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, e-mail: ai_lomonos@ukr.net

Стаття подана 23.05.2021.

DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-128-132

УДК 004.9

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ АНАЛІТИЧНОЇ ПІДТРИМКИ ОБЛІКУ ПРОДАЖІВ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ

Шумова Л.О., Ячменьов А.В.

ANALYTICAL SUPPORT SOFTWARE FOR ONLINE STORE SALES ACCOUNTING

Shumova L.O., Yachmenev A.V.

У статті розглянуто питання щодо проектування інформаційно-аналітичної системи для обліку та прогнозування продажів інтернет-магазину з метою підвищення ефективності його управління. Розроблено базу даних у MySQL та необхідні програмні засоби для обліку торгових операцій інтернет-магазину; програмний модуль на C# для прогнозування обсягів продажів на основі моделі авторегресії. Представлено схему інтеграції розроблених програмних засобів у інформаційно-аналітичну систему управління інтернет-магазином.

Ключові слова: *інформаційна система, інтернет-магазин, база даних, авторегресія, C#.*

Вступ. За останні роки в Україні значно збільшилася кількість інтернет-магазинів та їх користувачів, і цей сегмент ринку стрімко розвивається [1]. Для більш ефективної організації інтернет-торгівлі широко використовуються сучасні інформаційні технології [2], а саме: Інтернет-технології для здійснення віддаленого доступу клієнтів, системи управління базами даних для ведення обліку продажів, програмні засоби аналітичної підтримки управлінських рішень. Інструментом, що реалізує всі ці можливості, є інформаційно-аналітичні системи. Тому для забезпечення ефективного управління інтернет-магазином актуальним завданням є розроблення інформаційно-аналітичної системи обліку торгових операцій.

Впровадження таких систем потребує рішення задач проектування баз даних, розробки моделей, алгоритмів і програмних засобів аналізу різних показників бізнесу.

Поставлені такі задачі: розробити базу даних у MySQL та необхідні програмні засоби для обліку торгових операцій інтернет-магазину; провести аналіз методів і моделей прогнозування і обрати найбільш доцільні для реалізації в системі управління інтернет-магазином; розробити програмний модуль на C# для прогнозування обсягів продажів на основі обраної моделі; представити схему інтеграції розроблених програмних засобів у інформаційно-аналітичну систему управління інтернет-магазином.

Метою досліджень є підвищення ефективності управління інтернет-магазином з використанням програмних засобів аналітичної підтримки обліку та прогнозування продажів.

Результати досліджень. Проектування інформаційних систем (ІС) не можливе без знань основних методологій і програмних засобів, які дозволяють в найкоротші терміни і без помилок управляти цим процесом [3]. На підставі проведеного аналізу моделей та методів проектування ІС вирішено використовувати функціональний підхід до моделювання. На прикладі інтернет-магазину комп'ютерної техніки проведено аналіз та моделювання бізнес-процесів на основі функціонального підходу з використанням нотацій IDEF0 (рис. 1) та IDEF3 (рис. 2).

Ядром ІС є база даних [4,5]. Для розробки бази даних (БД) обліку торгових операцій інтернет-магазину обґрунтовано використання MySQL [6]. Для обліку торгових операцій інтернет-магазину спроектована БД. На рисунку 3 представлена схема даних, що відображає структуру БД.

Кінцевою метою всієї діяльності будь-якого бізнесу є отримання прибутку. Для того щоб прибуток міг не тільки покривати витрати, але і допомагав зміцнювати позиції серед конкурентів і розвивати бізнес, необхідно вміти правильно визначати прогнозні значення виручки з продажів. Для вирішення стратегічних завдань управління торгівлею розглядається задача розробки і впровадження в систему управління інтернет-магазином програмного модуля прогнозування продажів. В результаті проведеного аналізу засобів прогнозування інтернет-торгівлі виділені три групи методів прогнозування:

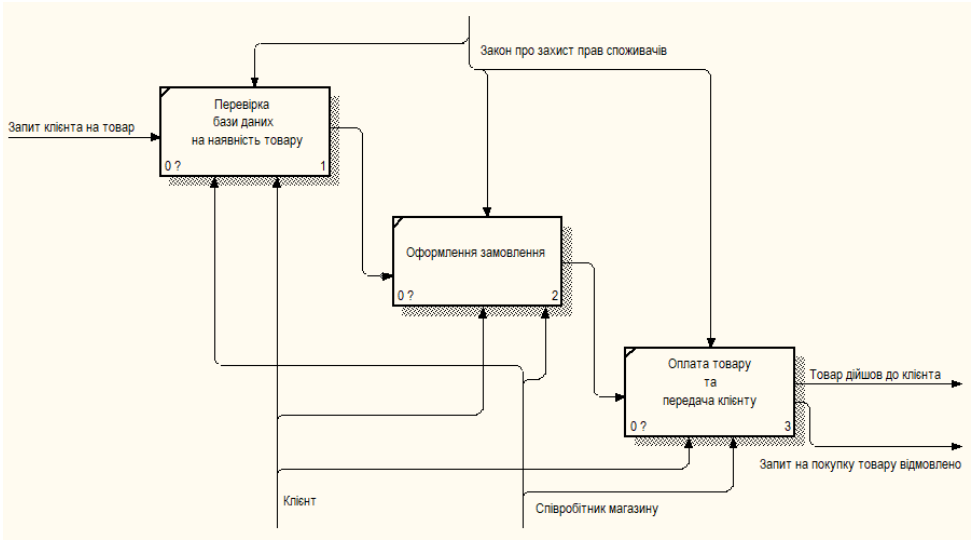


Рис. 1. Декомпозиція діаграми IDEF0

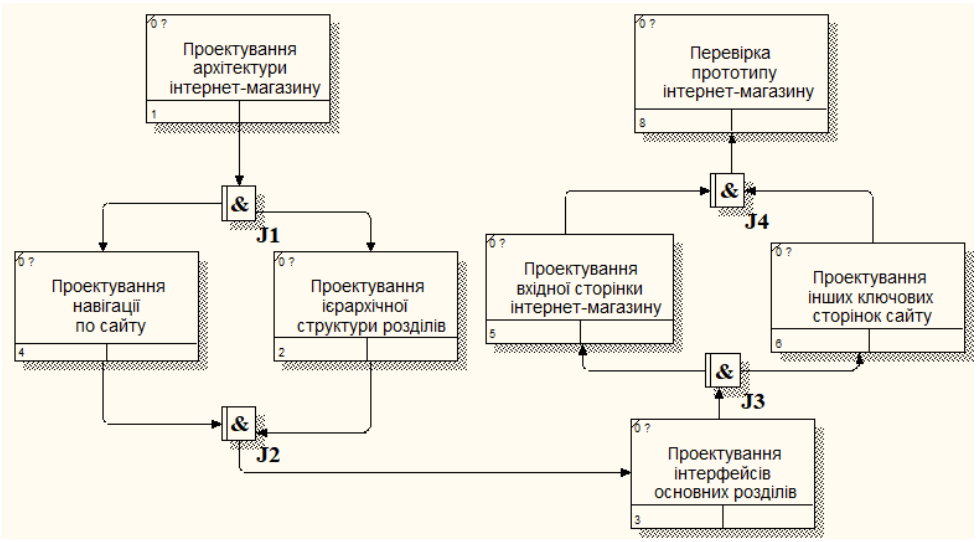


Рис. 2. IDEF3 діаграма процесу проектування інтернет-магазину

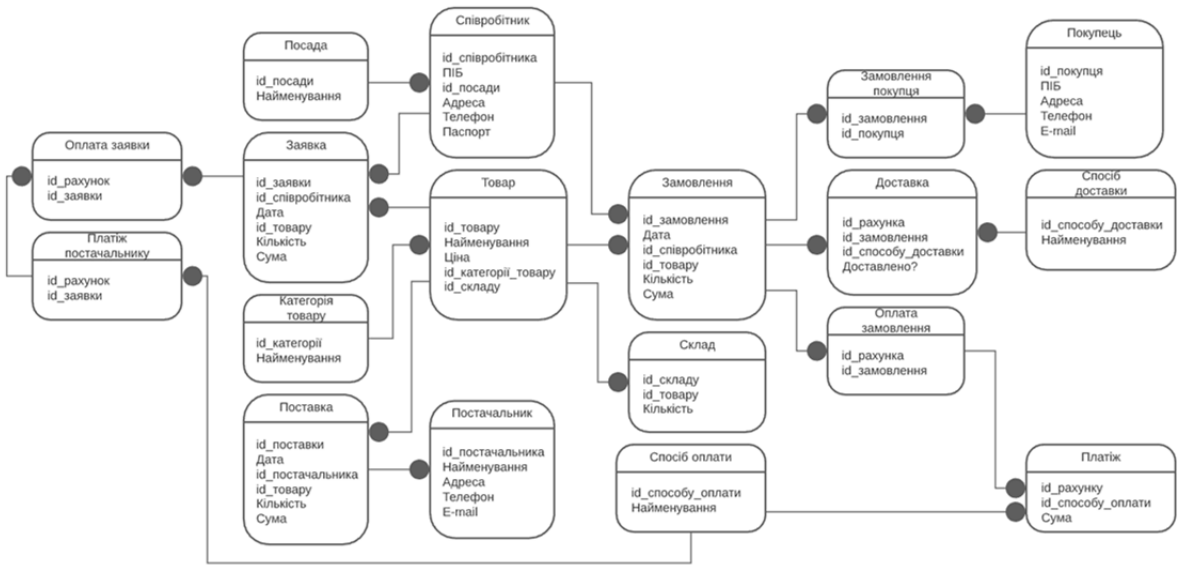


Рис. 3. Схема даних

– метод експертних оцінок, що передбачає попередній аналіз ринку;

– методи аналізу та прогнозування часових рядів, які засновані на побудові регресії;

– казуальні (причинно-наслідкові) методи.

Вибір методу залежить від того, які вихідні дані є в наявності. Прогноз продажів складається на підставі зібраних звітних даних про фактичну реалізацію продуктів і послуг. Організація БД всіх торгових операцій інтернет-магазину дозволяє формувати необхідні для аналізу вибірки даних про обсяги продажів - часові ряди. Тому для аналітичної підтримки автоматизованого управління продажами інтернет-магазину доцільно використовувати методи аналізу та прогнозування часових рядів

Проаналізовано методи та моделі прогнозування продажів на прикладі інтернет-магазину комп'ютерної техніки та зроблено висновок, що відсутність сезонного фактору в динаміці продажів комп'ютерної техніки і актуальність отримання короткострокових прогнозів для вирішення управлінських завдань обгрунтовує використання класичного методу прогнозування на основі авторегресійної моделі [7]. У загальному вигляді авторегресійну модель *p*-го порядку можна відобразити у вигляді (1).

$$y_t = \beta_0 + \beta \cdot y_{t-1} + \beta_2 \cdot y_{t-2} + \cdots + \beta_P \cdot y_{t-p} \quad (1)$$

де y_t– значення прибутку в момент часу;

β - параметри регресії, які оцінюються за допомогою методу найменших квадратів;

t - номер дня;

ε_t - помилка моделі.t

Авторегресійна модель прибутку в момент часу t залежить від її значення в попередні моменти: *t-1, t-2, … , t-p.*

Порядок авторегресії (p) визначається точністю одержуваної оцінки за принципом ефективності: як тільки підвищення порядку авторегресії не відображає підвищення ефективності моделі, приріст членів в модель припиняється.

Для вирішення завдання короткострокового прогнозування продажу інтернет-магазину комп'ютерної техніки розглянуто варіанти використання моделей авторегресії 1-го і 2-го порядків. Найбільш адекватною виявилась авторегресійна модель 1-го порядку (2).

$$y_t = \beta_0 + \beta \cdot y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

На основі моделі авторегресії розроблено програмний модуль прогнозування показників продажів інтернет-магазину на C#, що відображення прогнозного значення, проміжні фактори відношення, такі як індекс детермінації та помилка, параметри регресії та візуальне відображення графіку відповідно початковим та прогнозним значенням (рис.4).

Розроблені програмні засоби інтегруються у інформаційно-аналітичну систему для обліку торгових операцій інтернет-магазину (рис. 5).

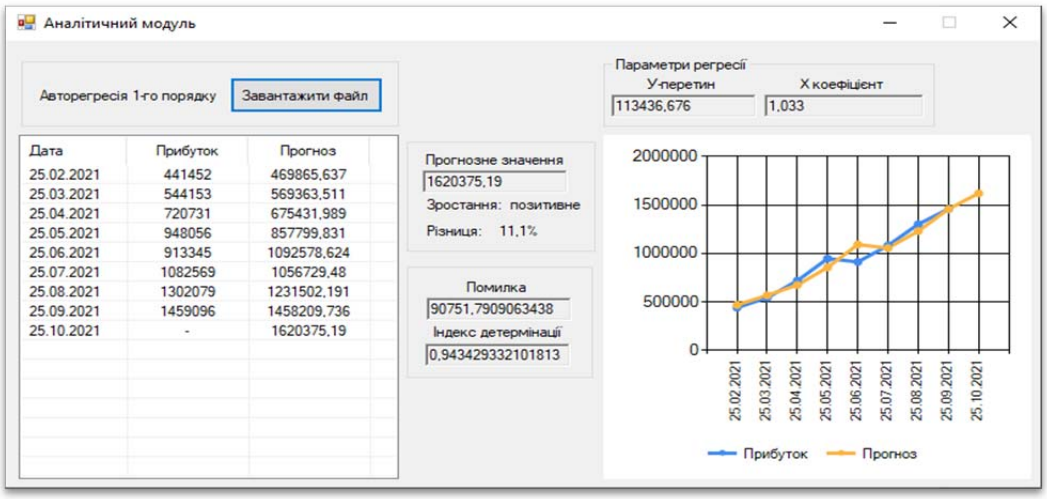


Рис. 4. Програмний модуль для прогнозування показників продажів

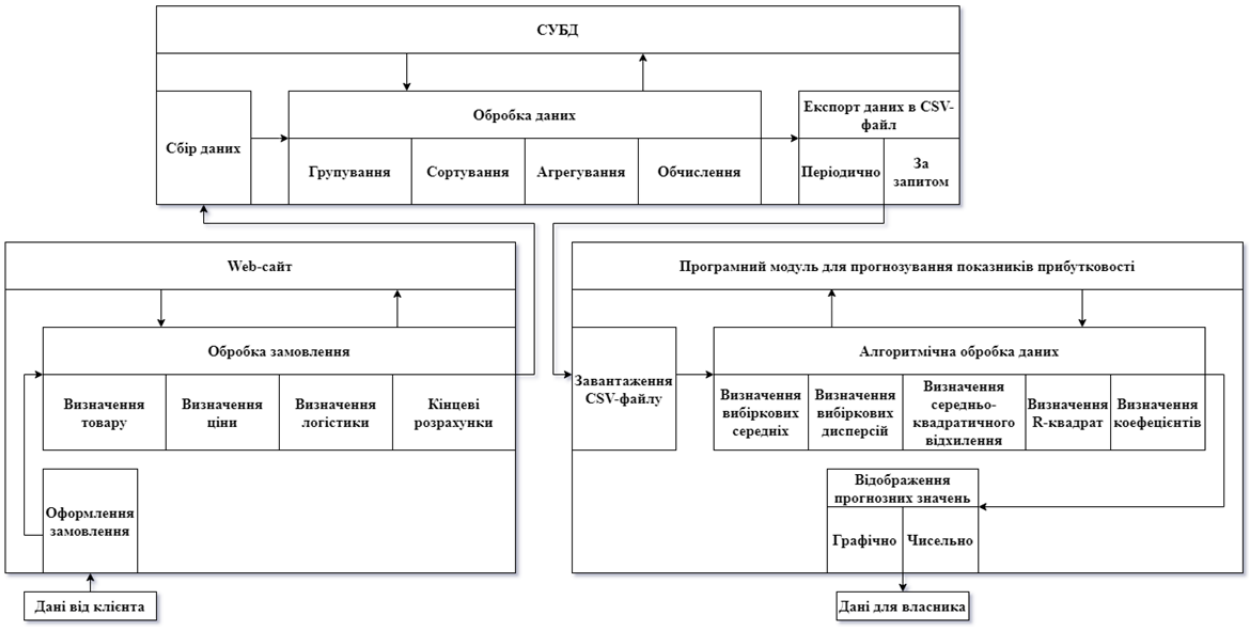


Рис. 5. Структурна схема інформаційно-аналітичної системи

Висновок. У роботі представлено рішення актуального завдання: проектування інформаційно-аналітичної системи для обліку та прогнозування продажів інтернет-магазину комп'ютерної техніки з метою підвищення ефективності його управління [8].

Результатом роботи є проект інформаційно-аналітичної системи для обліку та прогнозування прибутковості інтернет-магазину комп'ютерної техніки, що включає БД, програмні засоби обробки даних і програмний модуль аналізу та прогнозування обсягів продажів інтернет-магазину.

Реалізація запропонованих засобів дозволить підвищити оперативність і якість прийняття рішень з управління інтернет-магазином.

Література

1. Інформаційний інтернет-портал All Retail // Україна в 2020 р стала лідером по зростанню e-commerce в Східній Європі — Euromonitor International -2020. URL: - https://allretail.ua/news/67700-ukrajina-v-2020-r-stala-liderom-po-zrostannyu-e-commerce-v-shidniy-yevropi-euromonitor-international (дата звернення 02.06.2021).
2. Інформаційний інтернет-портал bakertilly // 7 причин того, чому інтернет-ритейлери відкривають фізичні магазини -2020. URL: - https://bakertilly.ua/news/id45301 (дата звернення 02.06.2021).
3. Гвоздева Т.В. Проектирование информационных систем: технология автоматизированного проектирования. – 2016. – 156 с.
4. Sciore's E.S. Database Design and Implementation // Introduces you to database systems. – 2020. – 466 p.
5. Гайдаржи В.С., Ізварін І.О. База даних в інформаційних системах. - Унів. "Україна", – 2018. – 418 с.
6. James R. Groff, Paul N. Weinberg, Andrew J. Oppel. SQL: The Complete Reference, 3rd Edition. – 2018. – 960 p.
7. Abraham B., Ledolter J. Statistical methods for forecasting. – New York: Wiley, 2003. – 421 p.
8. Ячменьов А. В. Інформаційно-аналітична система для обліку торгових операцій інтернет-магазину. / А. В. Ячменьов, Л. О. Шумова // Збірник наукових праць за матеріалами III міжнародної науково-методичної конференції «Комп'ютерні технології і мехатроніка», 27 травня 2021 р. – Харків, ХНАДУ, 2021. – С. 177-179.

References

1. Informatsiynyy internet-portal All Retail // Ukrayina v 2020 r stala liderom po zrostannyu e-commerce v Skhidniy Yevropi — Euromonitor International -2020. URL: - https://allretail.ua/news/67700-ukrajina-v-2020-r-stala-liderom-po-zrostannyu-e-commerce-v-shidniy-yevropi-euromonitor-international (data zvernennya 02.06.2021).
2. Informatsiynyy internet-portal bakertilly // 7 prychyn toho, chomu internet-ryteylery vidkryvayut′ fizychni mahazyny -2020. URL: - https://bakertilly.ua/news/id45301 (data zvernennya 02.06.2021).
3. Hvozdeva T.V. Proektyrovanye ynformatsyonnykh system: tekhnolohyya avtomatyzyrovannoho proektyrovanyya. – 2016. – 156 s.
4. Sciore's E.S. Database Design and Implementation // Introduces you to database systems. – 2020. – 466 p.
5. Haydarzhy V.S., Izvarin I.O. Baza danykh v informatsiynykh systemakh. - Univ. "Ukrayina", – 2018. – 418 s.
6. James R. Groff, Paul N. Weinberg, Andrew J. Oppel. SQL: The Complete Reference, 3rd Edition. – 2018. – 960 p.
7. Abraham B., Ledolter J. Statistical methods for forecasting. – New York: Wiley, 2003. – 421 p.
8. Yachmen′ov A. V. Informatsiyno-analitychna systema dlya obliku torhovykh operatsiy internet-mahazynu. / A. V. Yachmen′ov, L. O. Shumova // Zbirnyk naukovykh prats′ za materialamy III mizhnarodnoyi naukovo-metodychnoyi konferentsiyi «Komp″yuterni tekhnolohiyi i mekhatronika», 27 travnya 2021 r. – Kharkiv, KHNADU, 2021. – S. 177-179.

Shumova L.O., Yachmenev A.V. Analytical support software for online store sales accounting

The paper discusses the design of an information and analytical system for accounting and forecasting sales of an online store in order to improve the efficiency of its management.

Based on the analysis of models and methods of designing an information system, it was decided to use a functional approach to modeling.

On the example of an online store of computer equipment, the analysis and modeling of business processes based on a functional approach in the notations IDEF0 and IDEF3 have been carried out.

A database in MySQL and the necessary software for records of trade transactions of an online store have been developed.

To solve problems of strategic management, the problem of development and implementation of a software module for forecasting sales in the management system of an online store is considered.

Methods and models of sales forecasting are analyzed on the example of an online computer hardware store. There is no seasonal factor in the dynamics of sales of computer equipment. Also, short-term forecasts are relevant for solving considered control problems. Therefore, it is recommended to use the forecasting method based on the autoregressive model. Variants of using autoregressive models of the 1st and 2nd orders are considered. The most adequate was the 1st order autoregressive model.

The software in C# for forecasting sales volumes based on an autoregressive model has been developed.

The developed software can be integrated into the information and analytical system for recording trade operations of an online computer equipment store. The scheme of integration of the developed software into the information-analytical management system of the online store is presented.

The result of the work is a project of an information and analytical system for accounting and forecasting sales of an online store of computer equipment. The project includes a database, software for data processing and a software module for analyzing and predicting the dynamics of changes in sales of an online store.

The implementation of the proposed tools will improve efficiency and quality of decision-making when managing an online store.

Keywords: *information system, online store, database, autoregression, C #..*

Шумова Л.О. – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: shumova@snu.edu.ua

Ячменьов А.В. – бакалавр кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: spaidryha1@gmail.com

Стаття подана 16.05.2021.

ВІСНИК
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
№ 4 (268) 2021

Науковий журнал

Відповідальний за випуск Чернецька-Білецька Н.Б.

Оригінал-макет Могильна О.В.

Статті надруковано в авторській редакції

Підписано до друку 10.06.2021 р.
Формат 60 х 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 15,8. Обл.-вид. арк. 17,2.
Наклад 300 прим. Вид. № 3321. Замовл. № 21(2021). Ціна вільна.

Видавництво
Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса університета: просп. Центральний 59-А
м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна
E-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com

Надруковано:
Відділ технічного обслуговування СНУ ім. В. Даля
Адреса: просп. Центральний, 59-а
м. Сєвєродонецьк, 93400