Харківський національний
університет радіоелектроніки

Державне підприємство
"Південний державний
проектно-конструкторський
та науково-дослідний інститут
авіаційної промисловості"

Kharkiv National
University of Radio Electronics

State Enterprise
"Southern National Design
&
Research Institute
of Aerospace Industries"

СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОМИСЛОВОСТІ

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES

№ 4 (14), 2020

Щоквартальний
науковий
журнал

No. 4 (14), 2020

Quarterly
scientific
journal

Харків
2020

Kharkiv
2020

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES

No. 4 (14), 2020

ЗАСНОВНИКИ
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості"

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:
Україна, 61166, м. Харків, проспект Науки, 14
Інформаційний сайт: http://itssi-journal.com
E-mail редколегії: journal.itssi@gmail.com

ESTABLISHERS
Kharkiv National University of Radio Electronics,
State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries"

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Ave, 14
Information site: http://itssi-journal.com
E-mail of the editorial board: journal.itssi@gmail.com

Журнал включено до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть поблікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук" наказом Міністерства освіти і науки України від 16.07.2018 №775 (додаток 7).

Затверджений до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету радіоелектроніки (Протокол № 13 від 11 грудня 2020 р.).
Свідоцтво про державну реєстрацію журналу Серія КВ № 22696-12596Р від 04.05.2017 р.

№ 4 (14), 2020

ЗМІСТ

No. 4 (14), 2020

CONTENTS

Information Technology

Modern Enterprise Management Technologies

Engineering & Industrial Technology

Electronics, Telecommunication Systems & Computer Network

The author is responsible for the accuracy of the facts, quotations and other information

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

UDC 004.75 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.005

O. AVRUNIN, O. VLASOV, V. FILATOV

MODEL OF SEMANTIC INTEGRATION OF INFORMATION SYSTEMS PROPERTIES IN RELAY DATABASE REENGINEERING PROBLEMS

The **subject** of research is methods of semantic integration of subject areas of heterogeneous information systems and distributed databases. This class of systems are created on the basis of database technologies, are widespread and used in all areas of economic activity. Such systems are characterized by high complexity of design, maintenance and modification. The **purpose** of the research is the development of a subject area model based on the semantic properties and relationships of data elements; development of effective technology of integration of information resources of heterogeneous computer systems on the basis of technology of management of database systems; research and formalization of classes of inhomogeneity of data structures aimed at solving the problem of determining the types of information objects. Development of tools for the design and maintenance of application problems for the integration of heterogeneous information systems and distributed databases. **Results**: the analysis of existing methods and models of integration of subject areas on the basis of semantic properties and connections of data elements is carried out; developed an effective mathematical model, technology and algorithm for semantic integration of information resources of heterogeneous computer systems for relational databases; investigated and formalized classes of inhomogeneity of data structures aimed at solving the problem of determining the types of information objects; the model is developed and means of the logical description of properties of information objects for definition of border of the considered subject area are investigated. **Conclusion**: the article considers a formalized infographic model of the subject area, which focuses on the semantic relationships between information objects of databases. An axiomatic approach to the description of the subject area is formulated, which allows to consider the problem of modeling the relations of the elements of the subject area in the form of a set of rules that determine the existence of data elements. On the basis of the analysis of structures and models of databases of information systems the general approach to construction of the universal technology focused on the decision of problems of management of heterogeneous information resources of computer systems is defined.

Keywords: data model; data semantics; database; data integration; heterogeneous information system.

Introduction

Database-based information systems have gone from cumbersome systems organized as shared systems to flexible distributed intelligent information systems. Among the many factors that contribute to such progress are the improvement of the basic tools of database systems - programming and data management systems. This, in turn, is based on the achievement of theoretical research in the field of data modeling, methods of designing logical and physical structure, non-procedural data processing languages.

Research conducted by the authors of the article is aimed at creating systems for integrating and managing information resources of distributed computing systems. Integration means the management of heterogeneous information, which will allow organizing access to heterogeneous data contained in the generated structures data files and databases.

The solution to the problem of integrating heterogeneous information resources begins with attempts to integrate heterogeneous databases (DB). The direction of integrated or federated heterogeneous information systems appeared in connection with the need to share data based on different models and managed by different database management systems (DBMS). One of the options for solving the problem of integrating heterogeneous databases is to provide users with the ability to see the global schema of the domain. A global schema view is usually implemented in some data model, and supports automatic conversion of global data manipulation statements to statements understood by the corresponding local DBMS. With the strict integration of heterogeneous data, local systems lose their autonomy. Since users of information systems often do not agree to lose local autonomy, nevertheless wanting to be able to work with all local DBMS in one language and formulate queries with simultaneous indication of different local databases, recently much attention has been paid to research in the field of multi-databases. Systems of this class do not support the integrated database global schema, and special methods are used to access objects of local systems. As a rule, in this case, only data sampling is allowed at the global level, which allows you to maintain their autonomy.

As a rule, it is necessary to integrate heterogeneous data distributed in a computer network. This makes implementation much more difficult. In addition to its own integration problems, it is necessary to solve all the problems inherent in distributed DBMS: global transaction management, network query optimization, etc. For the external presentation of integrated and multi-databases, the relational data model is most often used. Therefore, the inclusion of a local relational DBMS into an integrated system is much easier and more efficient than the inclusion of a DBMS based on another data model.

Features of solving the problem of semantic integration

Among the reasons leading to the disagreement of information resources are the following:

1. *Heterogeneity, distribution and autonomy of information resources of the system*. The heterogeneity of resources can be syntactic or semantic (either different types of semantic rules are used, or different aspects of the domain are detailed and / or aggregated). A purely

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

realizable heterogeneity of information resources is also possible, due to the use of different computer platforms, operating systems, database management systems, programming systems, etc.

2. *Needs for the integration of information system components*. Obviously, the most natural way to organize a complex information system is its hierarchically nested construction. More complex function-oriented components are built from simpler components that could be designed and developed independently, which creates heterogeneity.

3. *System reengineering*. After the creation of the initial version of the information system, the process of its continuous alterations inevitably follows, due to the development and change of the corresponding business processes.

4. *Solving the problem of legacy systems*. Over time, any computer system becomes an object of attention for the organization that operates it, since it constantly has to solve the problem of embedding outdated information components into a system based on new technology and solving new problems.

5. *Extension of the life cycle of the information system*. The longer the information system functions, the more needs arise to change and / or add components designed and developed to meet new challenges.

There is no problem if from the very beginning the information system is designed and developed as an open system, when all components are interoperable. Unfortunately, in practice, such an implementation is difficult to achieve. For various reasons, there are needs for the integration of independently and differently organized information and computing resources.

The development of views on information resources is their representation in the form of a set of typed objects that combine the ability to preserve information content (their state) and information processing due to the presence of certain methods applicable to the object.

The main conclusion from the above analysis is that the problems of integrating heterogeneous information resources are relevant when considering the functioning of information resources, and at the same time it is required to use reasonable combinations of architectural, information and organizational solutions.

General approach to semantic modeling in data integration

By a data model we mean a formalized representation that allows you to implement data interpretation in accordance with the specified requirements. The concept of a model is closely related to the concept of abstraction. The abstraction of a system is a model of this system, in which some details are deliberately omitted [1].

The most general and rigorous concept of a model is defined in mathematics. By the model we mean the basic set of objects O and the set of relations D on O. Thus, the model M can be represented by the pair

$$M = < O, D > . \quad (1)$$

In contrast to a mathematical model, models in information technology must include not only structural but also operational specification. For modeling a subject area, the most acceptable abstraction is algebraic systems that combine, in addition to a set of objects O and relations between objects D, also a set of operations (functions) Ω defined on the main set O. In this case, the model views can be specified by three elements

$$M = < O, D, \Omega > . \quad (2)$$

To formalize the presentation of databases, the term "model" is usually used, implying a triplet $< O, D, \Omega >$ given the definitions introduced. Although, for a more detailed presentation of data semantics, this model will include rules describing possible states of the domain. It is not possible to present a database in a strict mathematical form, and even more so, some fixed subject area is not possible due to the severity of abstractions in the description of the mathematical model. That is, in a mathematical model it is impossible to express the meaning of objects from R, D and Ω. In reality, when designing, it is possible to use several types of models. Each model is defined by different types of relationships between objects of the subject area [2].

One way to establish links between objects is to categorize them. Objects of the same category are considered similar, and the similarity characteristics are usually specified by the category properties. In accordance with the level of requirements for data categorization, models are divided into two types: strongly typed - in which it is assumed that all objects should be assigned to a category; weakly typed – not bound by any assumptions about categories [3–4]. For example, in the *TEACHER* category, with a strongly typed model, all objects must have the same type of structure, which in this case cannot be true, since full-time, part-time workers, payroll, etc.

Unlike strongly typed models, weakly typed models provide data and category integration. It is convenient to provide the realization of such possibilities using the predicate calculus. Many models use predicate calculus to represent knowledge that is not implemented by the underlying means of the model. Modeling using predicate calculus assumes working with linear texts, and can be written both in the usual mathematical notation and in programming languages such as PROLOG or DATALOG. Thus, predicate calculus is not overly complex and poorly structured. With this approach, the emphasis is placed on ensuring the universality of the description tools without regard to artificial restrictions on the typing and categorization of data. The model defines the rules according to which the data is structured. However, structural specifications do not provide a way to fully interpret the semantics of the data and how it is used. Operations on objects and data must also be defined. For example, the objects of the model, depending on the allowed operations, can be added, removed or changed, and also, using operations on data, the values of objects that are not explicitly specified in the model can be obtained [5].

Considering the domain model, we define the properties that it displays. Let's distinguish two classes of

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

properties: static and dynamic. Static properties include properties that are invariant in time, they are always valid and unchanged. Dynamic properties are characterized by possible changes in the subject area. Any model must represent these two classes in some way. We will assume that the set of objects is determined by the requirements of the subject area. The choice of acceptable implementations of objects or links between them is set by specifying restrictions in the form of a set of rules that determine the dependencies between objects and possible extensions of the domain, that is, a set of output (calculated) objects.

Using the previously introduced designations, we define a model M as a set of objects O, a set of rules L, and a set of operations Ω. The rules will be set in the form of implications (the symbol "$\leftarrow$" is read as "if-then")

$$O \leftarrow O_1, O_2, ..., O_n, \qquad (3)$$

where O_i are domain objects of $i = 1 \div n$.

Rules (3) determine that if all objects O_i are included in the set O, then O must also be included in O. The rules L, generating additional objects O_i, with the help of operations Ω (in this case, the operation of adding) specify an extended set of objects S, including both specified and derived objects. Thus, the model can be defined as

$$M =< O, L, S, \Omega >. \qquad (4)$$

Definition. The database $DB(O, L)$ is a set of objects O reflecting the properties of the subject area and a set of integrity L constraints that determine the acceptable state of the database. In this case, the operating specification is determined by the data model used in the development of the database structure. The extension of the carrier O built according to the given rules L will be called the semantics of the database in the notation S. Two databases are equivalent if the rules L_1 and L_2 determine a one-to-one correspondence between semantics S_1 and S_2.

Example 1. Let a set of objects be given:

$O =$ (*Full name, Subject, Grade*), *and a set of rules,*

$L =$ (*Average mark* $\leftarrow$ *Full name, Assessment; Number of passed exams* $\leftarrow$ *Full name, Subject*).

Then, taking into account the fact that the presence in the S an object "*Average mark*" depends on the presence in O the objects "*Full name*", "*Grade*", and "*Number of passed exams*" depends on the presence in O the objects "*Full name*" and "*Subject*", you can build an extension:

$S =$ (*Full name, Subject, Grade, Average mark, Number of passed exams*), reflecting all possible objects, both static and obtained as a result of performing operations on a set O. Obviously, to assess the information state of the subject area, it is necessary to analyze the set S.

In the considered context of the representation of the data model, we will define how a set of objects in the domain O – let's call it a carrier, a set of rules L – integrity constraints. In this case, such restrictions are understood as the semantic properties of the carrier, which adequately reflect the dependencies between the objects of the subject area.

Example 2. Let the database DB_1 be defined by the set $O_1 =$ (*Full name, Subject Grade*) and a set of rules:

$L_1 =$ (*Average mark* $\leftarrow$ *Full name, Grade; Number of passed exams* $\leftarrow$ *Full name, Subject*),

and DB_2 is defined by the set $O_2 =$ (*Full name, Mathematics, Physics, History*) and a set of rules:

$L_2 =$ (*Average mark* $\leftarrow$ *Full name, Mathematics; Average mark* $\leftarrow$ *Full name, Physics; Average mark* $\leftarrow$ *Full name, History; Number of passed exams* $\leftarrow$ *Full name, Mathematics, Physics, History*).

Accordingly, the extensions for DB_1 and DB_2 will look like

$S_1 =$ (*Full name, Subject, Grade, Average mark, Number of passed exams*),

And accordingly

$S_2 =$ (*Full name, Mathematics, Physics, History, Average mark, Number of passed exams*).

It is intuitively clear that for DB_1 and DB_2 can be reflected the same information if you detail some objects, in particular, clarify what is included in the "*Subject*", what is a set of objects "*Mathematics,*" "*Physics*", "*History*" and how to get the "*Grade*" object.

If in the rules for DB_1 and DB_2 add the rules from $L_1^{'}$ и $L_2^{'}$.

$L_1^{'} =$ (*Mathematics, Mathematics, Physics, History* $\leftarrow$ *Subject*),

$L_2^{'} =$ (*Subject* $\leftarrow$ *Mathematics, Physics, History; Grade* $\leftarrow$ *Full name, Mathematics; Grade* $\leftarrow$ *Full name, Physics; Grade* $\leftarrow$ *Full name, History*), then the extensions S_1 и S_2 would be the same, that is,

$S_1 = S_2 =$ (*Full name, Mathematics, Mathematics, Physics, History, Subject, Grade, Average mark, Number of passed exams*).

Thus, having carried out the decomposition in the first case, the "*Subject*" object, and in the second, generalized the "*Mathematics, Physics, History*" object, performing the aggregation of the "*Grade*" object, using the appropriate rules $L_1^{'}$ and $L_2^{'}$ for this, we come to the conclusion about the equivalence of DB_1 and DB_2. In what follows, we will require that, when defining a set L, all objects of the subject area be detailed by the rules of generalization, decomposition or aggregation [6–7].

Research and development of a model for integrating subject areas of information systems

In the general case, generalization can be represented as an abstraction, in which a set of objects with common semantic properties is considered as one generalized object. In turn, decomposition is an abstraction in which one object can be replaced by a set of independent objects,

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

the totality of which expresses the semantics of the original object. In addition, an abstraction of the aggregation type is possible, in which an object is constructed from other objects and represents a semantic refinement or extension of the original object. On the other hand, an aggregate can act as an object that connects other objects, the semantic individuality of which in the considered subject area is not obvious [8–10].

Considering such an abstraction, many individual differences between objects can be ignored. So in the example, a lot of names of objects can be abstracted as a generalized object "*Subject*". This abstraction neglects individual differences between subjects, such as the fact that subjects have different names, are read by different teachers and listened to by different students. In turn, "*Grade*" is an aggregated object that includes semantically identical values for pairs of objects of the type "*Full Name ↔ Mathematics*", "*Full Name ↔ Physics*", "*Full Name ↔ History*", which is expressed by additional rules (extension rules).

The correctness of operations in the analysis and construction of the semantics of the database is determined by the assumption that each representation of a domain element and a set of requirements are complete and consistent [11-13]. This means that all objects are defined and that no additional detail is required within the views. Thus, the following conditions must be met:

1. The set of objects is complete in terms of the requirements of the subject area.

2. All objects have unique names (exclusion of homonymy).

3. Generalization of identical objects is not required (exception of synonymy).

Data research has mainly dealt only with aggregation (for example, Codd normal forms), and generalization has been largely ignored. The reason was that in simple models, generalization could be dispensed with by choosing a specific approach each time that was appropriate for a given case. Artificial intelligence research on knowledge bases, by contrast, has mainly dealt with generalization (e.g. Quillian's semantic networks), while aggregation has not been used. The opposite abstraction of decomposition was not considered at all when describing data structures [14].

The combination of the principles of generalization and aggregation decomposition can extend the data representation model using the methods used in artificial intelligence [15, 16].

When analyzing the structure of a database schema, it is essential to be able to explicitly represent the types of abstractions. This allows you to ensure that the naming conventions for objects are consistent with the database media. In particular, explicit naming of objects provides the following capabilities:

- applying operations to modified objects;
- replace a set of objects with a generalized or decomposed representation;
- specify the specification of links between objects

Let's go back to the extension rules from $L_1^{'}$ and $L_2^{'}$. As a result of applying these rules, objects that were not explicitly specified, but actually present in the subject area ("*Subject*", "*Grade*", "*Mathematics*", "*Physics*", "*History*") were included in the semantics. Objects included in the data carrier, as well as those obtained as a result of object detailing (generalization, decomposition, aggregation) and constituent elements of semantics are called extensional objects.

In addition to the rules expressing generalized, decomposed, and aggregated objects, when describing a subject area, rules can be specified that define a set of calculated objects. Such objects are initially absent in the medium and are formed as a result of performing final functions, using simple or complex arithmetic operations, logical values, etc. [18–21]. An example of obtaining calculated objects is discussed above.

So the set L contains the rules "*Average score ← Full name, Grade*", "*Number of passed exams ← Full name, Subject*", while the objects "*Average score*" and "*Number of passed exams*" obviously cannot be present in the DB extension, but they can be obtained as a result of performing arithmetic operations on the values of the objects "*Full Name*", "*Grade*", "*Subject*". Objects that are not explicitly specified in the database media, but obtained (calculated) based on the rules for expanding the database and constituting the elements of the database semantics, are called intensional objects. Thus, when obtaining the semantics of the database, it is necessary to take into account two types of rules: generating extensional and intensional objects. For greater detail of the subject area, the rules that generate various types of objects will be divided into two sets L^{ext} and L^{int} extensional and intensional, respectively [22].

It should be noted that if the division of rules into extensional and intensional is of practical importance, namely, during their formation, different construction logic is used, then the general inference logic is used in the construction of semantics, after which the operation of combining elements S^{ext} and S^{int} is performed. The division of semantics into two types enhances the clarity of the process and in some special cases may be of practical importance.

Analyzing the set S, one can draw attention to the obvious redundancy of objects, that is, the simultaneous presence in syntactically different S objects expressing the same semantics, thus, the third condition for the adequacy of the representation of the semantics of the subject area is violated, namely the emergence of synonymy.

Synonymy can arise mainly in the construction of extensional semantics, since it is during generalization, decomposition or aggregation that semantically unambiguous objects can arise, and synonymy can be between one object and the union of many objects. For example, the "*Supplier*" object expresses the same as the "*Address*" ∪ "*Name*" objects.

To exclude such a situation, when forming the rules for generalization, decomposition and aggregation, we will add compensating (excluding) rules of the form {¬ *Supplier* ←*Address, Name*}. (Here the symbol "¬" denotes the absence of an element in the set.) Moreover, it is obvious that the simultaneous presence of mutually

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

exclusive objects violates the logic of representing the subject area.

In this case, it is possible to construct an intensional semantics S^{int} for any variant of extensional semantics S^{ext} according to the given intensional rules L^{int}. This fact indicates the need to consider separately two types of rules when building a domain model – extensional and intensional rules. In turn, the general semantics S in the model should reflect one state of the subject area at a particular moment in time. Although during the operation of the system the ability to dynamically change S depending on changes in the requirements of the subject area or users must be taken into account, this issue is resolved at the stage of managing the database.

Thus, based on the introduced notation, the representation of model (4) will be written as

$$M = (O, L^{ext}, L^{\text{int}}, \Omega, S). \quad (5)$$

To confirm the correctness of the considered examples, describe the subject area, we describe the formal modeling apparatus based on the logic of first-order predicates.

Formal model for representing data semantics

Declarative specifications, formulas of propositional calculus, or first-order predicate calculus can be used as a means of defining the structural component. Data objects that meet the specified conditions constitute the valid state of the database [23–25].

We will consider a database as a set of predicates. In this case, the predicate will be considered as a functional statement. In contrast to arithmetic and logical functions, where the range of values and the range of changes in type arguments is the same, that is, homogeneous, the range of values of a function for predicates is logical, and the range of changes of arguments is subject. Thus, the predicate is a non-homogeneous function and can be used to simulate [26].

In predicate logic, an atomic formula is an elementary object with a truth value. An atomic formula consists of a symbolic notation for a predicate and a term. In general, the predicate can be represented as a formula $p(t)$, where p is the designation of the predicate, and t is the term. The number of terms determines the dimension of the predicate, that is, in this case, the predicate p is unary. Essentially, a predicate is a function that returns a Boolean value, true or false, depending on the value of a term.

In the context of database theory, the predicate will be considered as an information component that reflects the value of the corresponding object. In other words, if A is some data object, then

$$p(t) = \begin{cases} True, t \in A \\ False, t \notin A \end{cases}. \quad (6)$$

This representation can be used to describe the semantics of data. For example, for a relational model, when the structure of an information component (table) is defined by a relation of the form

$$\rho = DomA_1 \times DomA_2 \times \ldots \times DomA_n, \quad (7)$$

where $DomA_i$ – set of valid attribute A_i values or attribute domain $A_i (i = 1 \div n)$, ρ represents a set n of tuples in O (A_1, A_2, ..., A_n) media expressing the semantics of the database.

In this case, the predicate model represents the conjunction of a finite set of predicates corresponding to the relation scheme of a relational database presented in the form

$$P = p_1(t_1) \,\&\, p_2(t_2) \,\&\ldots\&\, p_n(t_n), \quad (8)$$

where $p_i(t_i)$ is a predicate corresponding to property (6) and $1 \le i \le n$, P – a set of objects expressing data semantics. Then the support can be represented as a set of unary predicates:

$$O(p_1(t_1) \,\&\, p_2(t_2) \,\&\ldots\&\, p_n(t_n)), \quad (9)$$

where predicate $p_i(t_i)$ corresponds to property (6), $1 \le i \le n$ and displays the values of the corresponding objects of the subject area. Let’s fix some alphabet ϑ containing constants, variables and predicates For a unary predicate p, a formula $p(t)$ will be called a positive literal l, and a formula $\neg p(t)$ a negative literal $\neg l$. A base literal is a positive or negative literal that does not contain variables. Thus, the set (9) will represent the extension, and will be written as

$$O(l_i, l_2, \ldots, l_n,). \quad (10)$$

The semantics of the database will be determined by a set of rules of the form

$$L = \{l \leftarrow l_i, l_2, \ldots, l_m,), \quad (11)$$

where $l \leftarrow l_i, l_2, \ldots, l_m$ are literals and $m \ge 1$.

The rule can be read as the expression " if $l_i, l_2, \ldots, l_m$ is executed, then l' is executed and expresses the intensional properties of the data. The condition for allowing objects in semantics S is that if all literals $l_i, l_2, \ldots, l_m$ are included in O, then l can be included in S. If this condition is not met and the literal being defined as l is included in S without defining literals $l_i, l_2, \ldots, l_m$, then data consistency may be violated. The main condition for correctness is the compatibility of objects in S. Compatibility consists in the absence of the same positive and negative literal.

Thus, for the predicate model, we will also consider two types of rules defining extensional L^{ext} and intensional L^{int}, and the general set of rules, respectively, as $L = L^{\text{int}} \cup L^{ext}$. It is assumed that the elements O may change depending on the data requirements, and it is necessary to adjust the rules describing the subject area, no matter what the relationships between objects, their details, and possible final operations are. However, the data semantics should automatically change in accordance with changes in O and L. Modification of a set O is

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

defined by the operation of adding or deleting a literal l, at execution of which S remains the same.

In other words, adding a literal means that l must be present in the semantics of the modified database, and deleting means that l should not be included in the semantics of the modified database, and the simultaneous presence of positive and negative literals is not allowed [27–30].

Algorithm for calculating database semantics

Based on the introduced concepts and assumptions, we can conclude that the information content O can be expanded in accordance with its semantics S by means of the given rules L. Thus, the problem of calculating semantics S arises, and S must be calculated with each change of O elements. Let's consider the calculation algorithm S.

Algorithm:

Input data: Database $DB(O,L)$.

Output data: database semantics S.

Method: calculate the literal sequence S according to the following rules.

1. S^0 is O.

2. S^{i+1} is S^i plus a set of literals l_i such as in L there is a certain rule $l \leftarrow l_i$ и $l \in S^i$. As $S = S^0 \subseteq ... \subseteq S^i \subseteq ... \subseteq A$ and A of course, finally there will be achieved such i, that $S^i = S^{i+1}$. That is $S^i = S^{i+1} = S^{i+2} = ...$.

3. Thus, there is no need to perform calculations after S^i, if $S^i = S^{i+1}$.

Algorithm is finished.

Let's consider an example illustrating the above algorithm.

Let $O = \{A, B\}$ and $L = \{A, B \leftarrow C;\ C \leftarrow A;\ B, C \leftarrow D:\ A, C, D \leftarrow B;$ $D \leftarrow E, G;\ B, E \leftarrow C;\ C, G \leftarrow B, D;\ C, E \leftarrow A, G\}$.

Consider $S^0 = A, B$. For calculating S^1 find rules that have on the right side either separately literals A or B, or a pair A, B together. There are two such rules $C \leftarrow A$ and $A, C, D \leftarrow B$. Attaching literals C and D to S^0 and we believe that $S^1 = A, B, C, D$.

To calculate S^2, look for the right-hand sides of the rules contained in S^1. We find $C, G \leftarrow B, D$, thus $S^2 = A, B, C, D, G$. To calculate S^3, we are looking for rules in which the right-hand sides contain literals A, B, C, D, G either separately or together. These requirements are met by the rules $C, E \leftarrow A, G$.

Thus, we have $S^3 = A, B, C, D, E, G$ – the set of all literals. Therefore, further computation will not change the semantics, since $S^3 = S^4 = ... = S$. As a result, the semantics of the original database $DB(O, L)$ corresponds $S = \{A, B, C, E, G\}$.

Let two databases $DB_1(O_1, L_1)$ and $DB_2(O_2, L_2)$ are given. We will say that DB_1 and DB_2 are equivalent (in designation $DB_1 \equiv DB_2$) if their semantics $S_1 = S_2 S$ are equal. To check the equivalence, it is necessary for each rule $X \leftarrow Y$ from the set of rules L_1 to check whether the left parts of these rules are contained in S_2; in this case, algorithm 1 can be used to calculate the semantics. If it turns out that some literals in L_1 do not belong S_2, then obviously $S_1 \neq S_2$. If every literal from the left side L_1 belongs to S_2, then every literal from S_1 will also belong S_2, and if the converse statement is also true, then the statement $S_1 = S_2$ is also true.

Thus, when comparing two databases, it is necessary to compare their semantics. Moreover, if its semantics did not change during modification, then we can assume that the information content also remained unchanged.

Conclusions

The article deals with a formalized infological model of the subject area, which is focused on semantic relations between information objects of databases. The main components of the domain model are highlighted and formal definitions are given to the basic entities: a set of information objects, the relationship between information objects (rules of logical existence), a support system for structural and information integrity. An axiomatic approach to the description of the subject area is formulated, which allows us to consider the problem of modeling the relations of the elements of the subject area in the form of a set of rules that determine the existence of data elements. Based on the analysis of structures and models of information systems databases, a general approach to the construction of a universal technology focused on solving problems of managing heterogeneous information resources of computing systems is determined.

References

1. Cycritis, D., Lokhovsky, F. (1985), *Data Models* : Trans. from English, Moscow, Finance and Statistics, 344 p.
2. Maltsev, A. I. (1970), *Algebraic systems*, Moscow, Nauka, 392 p.
3. Martin, J. (1980), *Database Organization in Computing Systems* :Tr. from English, Moscow, Mir, 662 p.
4. Buslik, M. M. (1993), *Optimal image of a real database* : Monograph, Kyiv, ISDO, 84 p.
5. Date, K. (2001), *Introduction to database systems* : trans. from English, Moscow, Publishing House "Williams", 1072 p.
6. Tanyanskiy, S. (2005), "Semanticheskaya model' predmetnoyoblasti v zadachakh integratsii neodnorodnykh informatsionnykh sistem", *Vestnik Khersonskogo Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*, Kherson, No 1 (21), P. 52–59.
7. Yesin, V. I. (2012), "Reinzhynirynh isnuyuchykh baz danykh", *Systemy obrobkyynformatsyy*, KHNU im. V. N. Karazina, Kharkiv, Vol. 2, No. 3 (101), P. 188–191.

8. Avrunin, O. G., Bodianskyi, Ye. V., Kalashnyk, M. V., Semenets, V. V., Filatov, V. O. (2018), *Suchasni intelektualni tekhnolohii funktsionalnoi medychnoi diahnostyky*, KhNURE, Kharkiv, 236 p. DOI: 10.30837/978-966-659-236-4.
9. Bermúdez Ruiz, F. J., García Molina, J., Díaz García, O. (2017), "On the application of model-driven engineering in data reengineering", *Information Systems*, No. 72, P. 136–160. DOI: 10.1016/j.is.2017.10.004.
10. Blackstock, S., Salami, B., Cummings, G. G. (2018), "Organisational antecedents, policy and horizontal violence among nurses: An integrative review", *Journal of Nursing Management*, No. 26 (8), P. 972–991. DOI: 10.1111/jonm.12623.
11. Filatov, V., Rudenko, D. Grinyova, E. (2014), "Means of integration of heterogeneous data corporate information and telecommunication systems", *Proceedings of the 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo-2014), 7-13 sept. 2014*, Sevastopol, Ukraine, P. 399–400.
12. Fioravanti, S., Mattolini, S., Patara, F., Vicario, E. (2016), "Experimental performance evaluation of different data models for a reflection software architecture over NoSQL persistence layers", *Paper presented at the ICPE 2016 - Proceedings of the 7th ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering*, P. 297–308. DOI: 10.1145/2851553.2851561.
13. Glava, M., Malakhov, V. (2018), "Information Systems Reengineering Approach Based on the Model of Information Systems Domains", *International Journal of Software Engineering and Computer Systems (IJSECS)*, University Malaysia Pahang, Vol. 4, P. 95–105. DOI: 10.15282/ijsecs.4.1.2018.8.0041.
14. Tsalenko, M. Sh. (1989), *Modeling semantics in databases*, Moscow, Nauka, 288 p.
15. Filatov, V., Radchenko, V. (2015), "Reengineering relational database on analysis functional dependent attribute", Proceedings of the X Intern. Scient. and Techn. Conf. "Computer Science & Information Technologies" (CSIT'2015), 14-17 sept. 2015, Lviv, Ukraine, P. 85–88.
16. Kosenko, V. (2017), "Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 46–52. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.046.
17. Korneev, V. V., Gareev, A. F., Vasyutin, S. V., Reich, V. V. (2001), *Database, Intellectual information processing*, 2nd ed., Moscow, Nolidge, 496 p.
18. Dubois, D., Prades, A. (1990), Theory of opportunities. Applications to the representation of knowledge in computer science, Moscow, Radio and communication, 288 p.
19. Filatov, V., Semenets, V. (2018), "Methods for Synthesis of Relational Data Model in Information Systems Reengineering Problems", *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology" (PIC S&T-2018), 9-12 oct. 2018*, Kharkiv, Ukraine, P. 247–251.
20. Filatov, V., Kovalenko, A. (2020), *Fuzzy systems in data mining tasks*. DOI: 10.1007/978-3-030-35480-0_6.
21. Sichkarenko, V. A. (2002), *SQL 99 Database Developer Guide*, Moscow, DiaSoftUP, 816 p.
22. Filatov, V. (2014), "Fuzzy models presentation and realization by mean sof relational systems", *Econtechmod:aninternational quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes*, Lublin, Rzeszow, Vol. 3, No. 3, P. 99–102.
23. Filatov, V. A. (2004), Mul'tiagentnyye tekhnologii integratsii geterogennykh in formatsionnykh system I raspredelennykh baz dannykh, Dis. d-ratekhn. nauk: 05.13.06, KHNURE, Kharkiv, Ukraine, 341 p.
24. Rumbaugh, J., Blaha, M. (1991), *Object-Oriented Modeling and Design*, N. J., Prentice Hall, 348 p.
25. Maatuk, A. M., Ali, M. A., Aljawarneh, S. (2015), "An algorithm for constructing XML schema documents from relational databases", *Paper presented at the ACM International Conference Proceeding Series, 24-26 September-2015*. DOI: 10.1145/2832987.2833007.
26. Maran, V., Augustin, I., Machado, G. M., Lima, J. C. D., Machado, A., De Oliveira, J. P. M. (2017), "Database ontology-supported query for ubiquitous environments", *Paper presented at the WebMedia 2017 - Proceedings of the 23rd Brazillian Symposium on Multimedia and the Web*, P. 185–188. DOI: 10.1145/3126858.3131575.
27. Maran, V., Machado, A., Machado, G. M., Augustin, I., de Oliveira, J. P. M. (2018), "Domain content querying using ontology-based context-awareness in information systems", *Data and Knowledge Engineering*, No. 115, P. 152–173. DOI: 10.1016/j.datak.2018.03.003.
28. Rob, P., Coronel, K. (2004), *Database Systems: Design, Implementation, and Management* : Trans. from English, SPb., BHV-Petersburg, 1023 p.
29. Langefors, B. (1980), "Infological models and information user views", *Inform. Systems*, Vol. 5, P. 17–32.
30. Pérez-Castillo, R., De Guzmán, I. G. R., Caivano, D., Piattini, M. (2012), "Database schema elicitation to modernize relational databases", *Paper presented at the ICEIS 2012 - Proceedings of the 14th International Conference on Enterprise Information Systems*, P. 126–132.

Received 03.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аврунін Олег Григорович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри біомедичної інженерії, Харків, Україна; email: oleh.avrunin@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6312-687X.

Аврунин Олег Григорьевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Харьков, Украина.

Avrunin Oleg – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine.

Власов Олексій В'ячеславович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри штучного інтелекту, Харків, Україна; email: oleksii.vlasov@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1619-0032.

Власов Алексей Вячеславович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры искусственного интеллекта, Харьков, Украина.

Vlasov Oleksiy – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate Student of the Department of Artificial Intelligence, Kharkiv, Ukraine.

Філатов Валентин Олександрович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри штучного інтелекту, Харків, Україна; email: valentin.filatov@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3718-2077.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Филатов Валентин Александрович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой искусственного интеллекта, Харьков, Украина.

Filatov Valentin – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Artificial Intelligence, Kharkiv, Ukraine.

МОДЕЛЬ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ СВОЙСТВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ РЕИНЖЕНИРИНГА РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ

Предметом исследования являются методы семантической интеграции предметных областей гетерогенных информационных систем и распределенных баз данных. Такого класса системы, создаваемые на основе технологий баз данных, нашли широкое распространение и применение во всех сферах хозяйственной деятельности. Такие системы характеризуются большой трудоемкостью проектирования, сопровождения и модификации. **Целью** проводимых исследований является разработка модели предметной области на основании семантических свойств и связей элементов данных; разработка эффективной технологии интеграции информационных ресурсов гетерогенных вычислительных систем на основе технологии управления системами баз данных; исследование и формализация классов неоднородности структур данных, направленных на решение задачи определения типов информационных объектов. Разработка инструментальных средств проектирования и сопровождения прикладных задач интеграции гетерогенных информационных систем и распределенных баз данных. **Результаты**: проведен анализ существующих методов и моделей интеграции предметных области на основании семантических свойств и связей элементов данных; разработана эффективная математическая модель, технология и алгоритм семантической интеграции информационных ресурсов гетерогенных вычислительных систем для реляционных баз данных; исследованы и формализованы классы неоднородности структур данных, направленных на решение задачи определения типов информационных объектов; разработана модель и исследованы средств логического описания свойств информационных объектов для определения границы рассматриваемой предметной области. **Вывод**: в статье рассмотрена формализованная инфологическая модель предметной области, которая ориентирована на семантические отношения между информационными объектами баз данных. Сформулирован аксиоматический подход к описанию предметной области, который позволяет рассмотреть проблему моделирования отношений элементов предметной области в виде набора правил, определяющих существование элементов данных. На основании анализа структур и моделей баз данных информационных систем определен общий подход к построению универсальной технологии, ориентированной на решение задач управления гетерогенными информационными ресурсами вычислительных систем.

Ключевые слова: модель данных; семантика данных; база данных; интеграция данных; гетерогенная информационная система.

МОДЕЛЬ СЕМАНТИЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ РЕІНЖИНІРИНГУ РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ

Предметом дослідження є методи семантичної інтеграції предметних областей гетерогенних інформаційних систем і розподілених баз даних. Такого класу системи створюються на основі технологій баз даних, знайшли широке поширення і застосування у всіх сферах господарської діяльності. Такі системи характеризуються великою трудомісткістю проектування, супроводу і модифікації. **Метою** проведених досліджень є розробка моделі предметної області на підставі семантичних властивостей і зв'язків елементів даних; розробка ефективної технології інтеграції інформаційних ресурсів гетерогенних обчислювальних систем на основі технології управління системами баз даних; дослідження і формалізація класів неоднорідності структур даних, спрямованих на вирішення завдання визначення типів інформаційних об'єктів; Розробка та дослідження засобів логічного опису властивостей інформаційних об'єктів для визначення кордону розглянутої предметної області. Розробка інструментальних засобів проектування і супроводу прикладних задач інтеграції гетерогенних інформаційних систем і розподілених баз даних. **Результати**: проведено аналіз існуючих методів і моделей інтеграції предметних області на підставі семантичних властивостей і зв'язків елементів даних; розроблена ефективна математична модель технологія і алгоритм семантичної інтеграції інформаційних ресурсів гетерогенних обчислювальних систем для реляційних баз даних; досліджені і формалізовані класи неоднорідності структур даних, спрямованих на вирішення завдання визначення типів інформаційних об'єктів; розроблена модель і досліджено засобів логічного опису властивостей інформаційних об'єктів для визначення кордону розглянутої предметної області. **Висновок**: в статті розглянута формалізована інфологічна модель предметної області, яка орієнтована на семантичні відносини між інформаційними об'єктами баз даних. Сформульовано аксіоматичний підхід до опису предметної області, який дозволяє розглянути проблему моделювання відносин елементів предметної області у вигляді набору правил, що визначають існування елементів даних. На підставі аналізу структур і моделей баз даних інформаційних систем визначено загальний підхід до побудови універсальної технології, орієнтованої на вирішення завдань управління гетерогенними інформаційними ресурсами обчислювальних систем.

Ключові слова: модель даних; семантика даних; база даних; інтеграція даних; гетерогенна інформаційна система.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Аврунін О. Г., Власов О. В., Філатов В. О. Модель семантичної інтеграції властивостей інформаційних систем в задачах реінженірінгу реляційних баз даних. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 5–12. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.005

Avrunin, O., Vlasov, O., Filatov, V. (2020), "Model of semantic integration of information systems properties in relay database reengineering problems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 5–12. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.005

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

UDC 004.9: 519.81 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.013

V. BESKOROVAINYI

COMBINED METHOD OF RANKING OPTIONS IN PROJECT DECISION SUPPORT SYSTEMS

The **subject** of research in the article is the process of ranking options in project decision support systems. The **goal** of the work is to create a method for ranking options to improve the efficiency of decision support systems by coordinating the interaction between automatic and interactive procedures of computer-aided design systems. The following **tasks** are solved in the article: review and analysis of the current state of the problem of ranking options in design decision support systems; decomposition of the problem of project decision support; development of a combined method of ranking options, which combines the procedures of technologies of ordinalistic and cardinalistic ordering; development of a method of minimax selection of options from a set of effective for the procedure of expert evaluation. The following **methods** are used: systems theory, utility theory, optimization and operations research. **Results.** As a result of the analysis of the modern methodology of decision support, the existence of the problem of correct reduction of subsets of effective design options for ranking, taking into account factors that are difficult to formalize, knowledge and experience of the decision maker (DM), has been established. The decomposition of the problem of supporting the making of design decisions into the tasks of determining the goal of designing an object, forming a universal set of design decisions, identifying sets of admissible and effective decisions, ranking and choosing the best design option for decision makers has been performed. A combined method for ranking options has been developed, which combines the procedures of ordinalistic and cardinalistic ordering technologies and allows you to correctly reduce subsets of effective design solutions for ranking decision makers. A method of minimax selection of options from a set of effective ones for the expert evaluation procedure of decision makers has been developed, which allows improving the quality of the assessment. **Conclusions.** The developed method expands the methodological foundations of automation of processes for supporting multi-criteria design decisions, allows for the correct reduction of the set of effective alternatives for the final choice, taking into account factors that are difficult to formalize, knowledge and experience of decision makers. The practical use of the results obtained due to the proposed procedure for determining the set of effective solutions will reduce the time and capacitive complexity of decision support, and due to the use of the maximin procedure for selecting options in the synthesis of the estimation model – to improve the quality of design solutions.

Keywords: design automation; multicriteria evaluation; effective solutions; comparative identification; project decision support; utility theory.

Introduction

Increasing the requirements for the functional characteristics of anthropogenic objects, which are operated in various spheres of human activity, leads to the complexity of technologies and means of their design [1]. Within the methodology of the system approach to obtain effective and sustainable design solutions, it is advisable to jointly solve the problems of structural, parametric and technological optimization of objects at all major stages of their life cycles [2]. However, most of these problems are combinatorial in nature and are solved by a set of functional and cost indicators in terms of incomplete definition of goals and data [3-4].

The most complex objects of design and management are organizational and technical systems, which are characterized by significant structural complexity and contain, along with traditional technical components, active (organizational) elements [5]. In territorially distributed technical and organizational-technical objects (service systems, logistics, telecommunications, monitoring, etc.) cost and functional characteristics are significantly dependent on their topology (territorial organization) [6-7]. The processes of design, development planning or reengineering of such objects are even more complex due to the fact that they include in addition to the above traditional synthesis problems the problem of their topological optimization [8-10]. This leads to the need to generate and analyze super-powerful sets of alternatives. However, the vast majority of decisions generated using automatic procedures are inefficient, and the choice of the implementation of the design object is made by the decision maker (DM), who is able to analyze and make a choice among only a few options [11].

At the same time, it is often not possible to substantiate a single scalar criterion for assessing efficiency, which would fully characterize the alternatives. Based on this, DM evaluates the effectiveness of the alternative as a whole based on the analysis of some set of contradictory criteria, each of which characterizes some of its partial properties [12-14]. Evaluation of the effectiveness of alternatives is traditionally carried out using the theory of utility. The decision-making process for choosing the best project option is carried out using the methods of individual or collective expert evaluation [15-17]. The above raises problems of coordination of interaction between automatic and interactive design procedures of computer-aided design systems. One of them is the problem of forming and correctly reducing the set of effective alternatives for the final choice, taking into account factors that are difficult to formalize, knowledge and experience of DM.

Analysis of the problem and methods of its solution

In the first stages of formalization, the essence of the problem of project decision-making can be represented by the logical expression "necessary s^o" or formally $< -, s^o >$ (where s^o is the optimal project decision) [18]. In this case, the decision-making situation d (formally $< d, - >$) is usually not defined clearly enough. To move

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

to the decision-making task of the form, the problem is decomposed into a set of auxiliary problems of the form: "given $<d,->$, necessary $<d,s^o>$", i.e. $<<d,->,<d,s^o>>$, or "given $<-,s^o>$, necessary $<d,s^o>$", ie $<<-,s^o>,<d,s^o>>$.

In the subsequent stages, the problem of making design decisions can be presented as a system Pr, consisting of the set of tasks [19]:

$$Pr=<Tasks, Rels>,\ Tasks=\{Task_i\},\ i=\overline{1,6}, \quad (1)$$

where $Tasks$ – the set of tasks obtained as a result of decomposition of the problem; $Rels$ – the set of relationships between tasks that determine the scheme of their relationships on input and output data; $Task_1$ – goal setting; $Task_2$ – formation of a universal set of design solutions S^U; $Task_3$ – selection of a set of valid solutions $S\subseteq S^U$; $Task_4$ – selection of a subset of effective solutions $S^E\subset S\subset S^U$; $Task_5$ –decisions $s\in S^E$ ranking; $Task_6$ – choosing the best design solution $s^o\in S^E$.

The task of determining the goal $Task_1$ is to establish the set and importance of indicators (partial criteria) of effectiveness $k_i(s)$, $i=\overline{1,m}$, which adequately characterize the design solutions [6, 20]. It determines the relationship between functional $k_j(s)\in Q(s)$ and costly $k_l(s)\in C(s)$ characteristics $k_i(s)$, $i=\overline{1,m}$ of the design solutions. The generalized functional effect $\overline{Q}(s)$ of the object S in the general case is a non-decreasing function of the amount of resources to achieve it (cost) $\overline{Q}(s)=F[\overline{C}(s)]$ (where $\overline{Q}(s)$ and $\overline{C}(s)$ are generalized scalar estimates of the effect and costs S; F is an operator that reflects the strategy of resource use, which is determined by the construction option of the S object).

The problem of determining the universal set of design solutions S^U ($Task_2$) is combinatorial in nature and can have computational complexity from $O[2^n]$ to $O[n!]$. Its solution is carried out based on the specifics of the projected object and the design task. In practice, methods of directed search are widely used, which allow to significantly reduce the set of alternative solutions that are generated and analyzed in the process of designing objects [21].

The problem of determining the set of admissible solutions $S\subseteq S^U$ ($Task_3$) is to remove from the universal set S^U of a subset of solutions $\overline{S}$ that do not satisfy the constraint of the problem to be solved $S=S^U\setminus\overline{S}$ [6]:

$$k_j(s)\ \substack{\geq\\ \leq}\ k_j^*\ \ \forall k_j(s)\in Q(s),\ k_l(s)\leq k_l^*\ \ \forall k_l(s)\in Q(s). \quad (2)$$

The task of selecting a subset of effective design solutions $S^E\subset S$ ($Task_4$) is to remove from the admissible set $S\subset S^U$ of subsets of inefficient solutions $\overline{S}^E\subset S$. Thus the variant of the design decision $s^E\in S^E$ is called effective if on a set S of admissible design decisions there is no decision $s\in S$ for which inequalities would be fair [22]:

$$k_i(s)\geq k_i(s^E),\ \text{if}\ k_i(s)\to max, \quad (3)$$

$$k_i(s)\leq k_i(s^E),\ \text{if}\ k_i(s)\to min \quad (4)$$

and at least one of them was strict.

Depending on the features of the problem, methods are used to solve it: discrete choice, weight [23], pairwise comparisons, Carlin, Hermeyer [22], evolutionary search [24-26].

Methods of discrete choice and pairwise comparisons allow to correctly select subsets of effective solutions, but have a relatively high time complexity.

A subset of effective variants $S^E\subset S$ by the Carlin method is found by combining solutions s_i^o and $i=\overline{1,m}$ that optimize each of the partial criteria by solving a set of parametric programming problems [22, 27]:

$$s_i^o=arg\max_{s\in S}\{P(s)=\sum_{i=1}^{m}\lambda_i\xi_i(s)\}, \quad (5)$$

$$\lambda_i\in\Lambda=\{\lambda_i:\lambda_i>0\ \ \forall i=\overline{1,m},\ \sum_{i=1}^{m}\lambda_i=1\}, \quad (6)$$

where $\xi_i(s)$ – the value of the utility function (normalized value) of the i-th partial criterion; λ_i – weighting factor of the i-th partial criterion.

The subset of effective design solutions $S^E\subset S$ by the Hermeyer method is determined by combining options s_i^o, $i=\overline{1,m}$ that optimize each of the local criteria by solving a set of parametric programming problems [22-27]:

$$s_i^o=arg\max_{s\in S}\{P(s)=\min_i\lambda_i\xi_i(s)\}, \quad (7)$$

$$\lambda_i\in\Lambda=\{\lambda_i:\lambda_i>0\ \ \forall i=\overline{1,m},\ \sum_{i=1}^{m}\lambda_i=1. \quad (8)$$

To reduce the time complexity of the methods of pairwise comparisons, Carlin and Hermeyer use procedures for selecting subsets of suboptimal Pareto solutions S' for which the condition is satisfied $S^E\subseteq S'\subseteq S$ [28]. They are implemented by the methods of "sector" or "segment" and provide for a set of acceptable solutions $S=\{s\}$ to pre-determine the best options for each of the partial criteria k_i^+, $i=\overline{1,m}$. Hyperplanes are drawn through the points k_i^+, $i=\overline{1,m}$ lying on the boundary of the set of admissible solutions $S=\{s\}$ in the area of partial criteria. Hyperplanes will divide variants into subsets that fall into a sector $S_1'\supseteq S^E$ or segment $S_2'\supseteq S^E$, respectively, and those that are inefficient in the sense of (3)-(4):

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14)
ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

$$S = S_1' \bigcup \overline{S}^E, \quad S_1' \bigcap \overline{S}^E = \varnothing; \qquad (9)$$

$$S = S_2' \bigcup \overline{S}^E, \quad S_2' \bigcap \overline{S}^E = \varnothing. \qquad (10)$$

Among evolution, the most popular method is based on a genetic algorithm with non-dominant sorting NSGA-II [29]. It is used to determine the Pareto front on acceptable sets of ultra-large size and has the ability to give convergence to the front and a good distribution of solutions across the front. To accelerate the rate of convergence of genetic algorithms to the Pareto front, a method of reducing the number of target functions based on the principal components method is used [30].

The ranking of solutions ($Task_5$) and the choice of the best design solution $s^o \in S^E$ ($Task_6$) is based on the paradigm of utility maximization within the framework of ordinalistic or cardinalistic approaches [23]. When using the ordinalistic approach, the ordering of a small set of effective solutions $s \in S^E$ is carried out by DM. When using the cardinalistic approach, a generalized efficiency criterion $P(s)$ is formed; it is used for scalar evaluation and selection of the best design solution:

$$s^o = \arg\max_{s \in S^E} P(s). \qquad (11)$$

At the same time, in both approaches, it is considered that each of the design solutions is assigned a value of some of its value $P(s)$, which determines their order [19]:

$$\begin{aligned} &\forall s, v \in S: \ s \sim v \leftrightarrow P(s) = P(v); \\ &s \succ v \leftrightarrow P(s) > P(v); \qquad (12) \\ &s \succsim v \leftrightarrow P(s) \geq P(v). \end{aligned}$$

To solve these problems, methods of comparative identification [11, 19] or expert collective assessment [31-35] are used, which give quite satisfactory results on a set of effective low-power solutions. In this case, the model of generalized utility based on the Kolmogorov-Gabor polynomial is used as a universal one [11, 19, 36].

Research results

According to the results of the review of the current state of the problem of project decision support, it is established that:

- most design tasks are multi-criteria and have a combinatorial nature;
- the process of solving them involves the generation and automatic analysis of huge numbers of design solutions;
- the vast majority of solutions generated in the design process are ineffective according to Pareto;
- methods of allocating subsets of effective solutions have a high time and capacitive complexity and, based on the peculiarities of design tasks, give subsets of enormous power;
- evaluation of the effectiveness of design solutions is traditionally carried out using the theory of utility;
- the process of making a final decision is carried out using the methods of expert evaluation, in the process of which only a small number of project decisions can be analyzed.

There is a need to correctly reduce subsets of effective design solutions for ranking, taking into account factors that are difficult to formalize, knowledge and experience of DM.

The aim is to develop a combined method of ranking options in project decision support systems, which will be based on the procedures of ordinalistic and cardinalistic ordering.

As a result of decomposition of the problem of obtaining stable and effective system solutions for complex design objects at the l-th (lower) level, we will highlight the tasks [6]: $Task_1^l$ – definition of the principles of object construction; $Task_2^l$ – choice of object structure; $Task_3^l$ – determination of the topology of elements and connections; $Task_4^l$ – choice of operating technology; $Task_5^l$ – determination of parameters of elements and connections; $Task_6^l$ – evaluation of efficiency and selection of design solutions.

The scheme of system optimization of the object on the selected set of tasks can be presented in the form of a tuple [37]:

$$SysOptS = \langle Tasks, InDat, Res, DesDec, ProcDec \rangle, \qquad (13)$$

where: $Tasks = \langle Task_i^l \rangle$, $i = \overline{1,6}$ – an ordered set of tasks; $InDat$ – set of input data tasks; Res is a set of task constraints; $DesDec$ is a set of design optimization solutions; $ProcDec$ – a decisive procedure that assigns a non-empty subset $\{DesDec_i^2\}$, $i = \overline{1,6}$ to each pair $\langle InDat_i^2, Res_i^2 \rangle$.

The number of design solutions $Card(S^U)$ increases nonlinearly with increasing dimension of the problem (the number of partial criteria for evaluating solutions m, the number of elements of the design object n, the number of types of elements, the number of possible locations of elements, etc.). It is known that the power of a set of effective solutions is much less than the power of a set of acceptable solutions $Card(S^E) << Card(S)$.

Table 1 shows examples of increasing the capacity of the universal set of acceptable $Card(S^U)$, subsets of effective design solutions $Card(S^E)$ and reducing the relative capacity of the subset of effective solutions $\delta S = Card(S^E) / Card(S^U)$ in the task of structural and topological optimization of a three-level centralized object on four indicators ($m = 4$).

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Table 1. *Estimation of capacities of sets of admissible and effective design decisions*

n	15	20	25	30	35	40
Card (S^U)	$3{,}27\cdot10^4$	$1{,}04\cdot10^6$	$3{,}35\cdot10^7$	$1{,}07\cdot10^9$	$3{,}44\cdot10^{10}$	$1{,}09\cdot10^{12}$
Card (S^E)	$7{,}53\cdot10^2$	$9{,}12\cdot10^3$	$5{,}7\cdot10^4$	$1{,}18\cdot10^6$	$2{,}06\cdot10^7$	$8{,}79\cdot10^7$
δS	0,023	0,0087	0,0017	0,0011	0,0006	0,00008

To solve the problem of ranking solutions from the sets $S=\{s\}$ acceptable in design automation systems, a combined expert-machine method is proposed. It involves the sequential implementation of the following stages: selection on the set of allowable subsets of effective options $S^E\subseteq S$, $Card(S^E)<<Card(S)$; determining the preferences of experts on the importance of different properties of options $s\in S^E$, which are assessed by partial criteria $k_i(s)$, $i=\overline{1,m}$; parametric synthesis of the generalized utility function $P(s)$; ranking of options using the synthesized generalized utility function $P(s)>P(v)\leftrightarrow s\succ v\ \forall s,v\in S^E$; selection on a subset S^E of a subset of some of the most effective options $S'\subseteq S^E$, $card(S')<<card(S^E)$; determining the ranks of a subset of the most effective options.

Taking into account the limitations of the problem and the use of directed search methods can significantly reduce the set of acceptable solutions S relative to the universal set of solutions S^U, which leads to a corresponding reduction of the subset of effective solutions S^E. However, in practice, the allocation of a subset of effective solutions $S^E\subset S$, storage and processing of information about it is quite problematic.

Based on this, it is proposed not to select a subset S^E of the set of acceptable solutions, but to form it in the process of generating options. This allows not only to significantly reduce the amount of memory to store the characteristics of options for a set of indicators $k_i(s)$, $i=\overline{1,m}$, but also the computer time to install a subset of effective solutions.

It is proposed to determine the advantages of DM by parametric synthesis of the generalized utility function of solution variants based on the Kolmogorov-Gabor polynomial. [11, 19]:

$$P(s)=\sum_{i=1}^{m}\lambda_i\xi_i(s)+\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=i}^{m}\lambda_{ij}\xi_i(s)\xi_j(s)+ +\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=i}^{m}\sum_{l=j}^{m}\lambda_{ijl}\xi_i(s)\xi_j(s)\xi_l(s)+\ldots, \quad (14)$$

$$\xi_i(s)=\bar{k}_i(s)=\frac{k_i(s)-k_i^-}{k_i^+-k_i^-},\quad i=\overline{1,m}, \quad (15)$$

where $P(s)$ – generalized scalar assessment of the effectiveness of the solution $s\in S^E$; m – number of partial criteria; λ_i, λ_{ij}, λ_{ijl} – coefficients of importance of criteria $k_i(s)$, $i=\overline{1,m}$ and product of criteria $k_i(s)$, $k_j(s)$, $k_l(s)$; $0<\xi_i(s)<1$, $i=\overline{1,m}$ – the value of the utility function of the partial criterion $k_i(s)$, $i=\overline{1,m}$ for a solution *s;* $k_i(s)$, k_i^+, k_i^- – accordingly, the value of the partial criterion for the solution s, the best and worst value of the criterion $k_i(s)$, $i=\overline{1,m}$.

Function (15) requires a minimum number of machine operations to calculate its values among common functions [20]. For a more accurate nonlinear (*S*- and *Z*-shaped) approximation of estimates of the usefulness of the values of partial criteria, it is proposed to use a universal gluing function, which is the best in terms of the complex indicator "accuracy-complexity" among the common [38]:

$$\xi(s)=\begin{cases}\bar{a}(b_1+1)\left(1-\left(b_1/\left(b_1+\dfrac{\bar{k}(s)}{\bar{k}_a}\right)\right)\right), 0\le\bar{k}(s)\le\bar{k}_a;\\ \bar{a}+(1-\bar{a})(b_2+1)\times\times\left(1-\left(b_2/\left(b_2+\dfrac{\bar{k}(s)-\bar{k}_a}{1-\bar{k}_a}\right)\right)\right), \bar{k}_a<\bar{k}(s)\le1,\end{cases} \quad (16)$$

where $\xi(s)=\bar{k}(s)$; $\bar{k}_a,\bar{a}$ – normalized values of the coordinates of the gluing point, $0\le\bar{k}_a\le1$, $0\le\bar{a}\le1$; b_1,b_2 – coefficients that determine the type of dependence on the initial and final segments of the function.

The value k_i^-, $i=\overline{1,m}$ for (15) should be determined on the whole set of admissible solutions $S=\{s\}$. Their definition only on a subset of effective S^E leads to the fact that the worst values of the utility functions of partial criteria $\xi_i(s)$, $i=\overline{1,m}$ (15) and (16) will be equal to 0 [11]. In this case, the property of universality of the model constructed on the basis of the Kolmogorov-Gabor polynomial (14) disappears and it is transformed into the classical additive model.

The number of summonds N in model (14) is determined by the required accuracy of restoring the benefits of DM. To determine the parameters of model (14) we will use the technology of comparative identification [11, 36].

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

The unreasonable choice of solutions for the parametric synthesis of model (14) reduces the accuracy of determining the advantages of DM, which is given by the values of the weight coefficients, λ_i, λ_{ij}, λ_{ijl},…. To increase the accuracy of identifying the advantages of DM, we select among the effective subset of a given number of the best options $S' \subseteq S^E$ by criterion:

$$s' = \arg\max_{s \in S^E} \min_{1 \le i \le m} \xi_i(s). \qquad (17)$$

DM on the basis of requirements to the design decision and subjective estimations forms the binary relation of strict advantage on pairs of options [39]:

$$R(S') = \{ <s,v>: \ s,v \in S', \ s \succ v \}. \qquad (18)$$

Given the possibility of scalar estimation of solutions (14), for relation (18) we make a system of inequalities:

$$P(\lambda,s) > P(\lambda,v), \ s,v \in R(S'), \qquad (19)$$

where λ – the desired vector of parameters of the generalized utility model (14).

Let's enter the notation:

$$\xi_1(x)\cdot\xi_1(x) = \xi_{m+1}(x), \ \lambda_{1,1} = \lambda_{m+1}, \ \xi_1(x)\cdot\xi_2(x) = \xi_{m+2}(x),$$
$$\lambda_{1,2} = \lambda_{m+2}, \ \dots . \qquad (20)$$

The maximum number of terms of model (14) is $N = C^n_{m+n} - 1$ (where n is the given degree of the polynomial). Taking into account the accepted notation (20), model (14) can be presented in the classical additive form:

$$P(\lambda,s) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \xi_i(s). \qquad (21)$$

Then the problem of parametric synthesis of the generalized utility function (21) is reduced to determining the vector of weight coefficients $[\lambda_i]$, $i = \overline{1,N}$, which satisfies the formed system of inequalities and normalizing conditions:

$$\sum_{i=1}^{N} \lambda_i = 1, \ \lambda_i \ge 0, \ \ i = \overline{1,N}. \qquad (22)$$

Taking into account (21) we present a system of inequalities (19) and equations (22), in the form:

$$\eta_j(\lambda) \equiv \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \xi_i(s) - \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \xi_i(v) > 0, \ <s,v> \in R(S'),$$
$$j = \overline{1,n'}, \qquad (23)$$

$$\eta_{n_S+1}(\lambda) \equiv \sum_{i=1}^{N} \lambda_i = 1, \ \lambda_i \ge 0, \ i = \overline{1,N},$$

where $n' = Card\ R(S')$ – the power of the set of the established ratio of strict advantage (19).

The first part of the system (23) are homogeneous inequalities defining the set of planes that pass through the origin, and the second part acts as a normalizing condition and defines the cutting plane.

The obtained system of inequalities and equations (23) can have innumerable solutions or be incompatible (if there are contradictions in the advantages of DM). The problem of determining stable estimates of the vector of weights of model (21) can be reduced to finding the Chebyshev point [11, 19, 39].

Let's introduce an additional variable λ_{N+1} in the system of constraints (23) and require that the conditions $\eta_j(\lambda) \le \lambda_{N+1}$, $j = \overline{1,n'}$ are satisfied. Then the search for the Chebyshev point of system (23) is reduced to solving the problem:

$$\lambda_{N+1} \to \min;$$

$$\begin{cases} \eta_j(\lambda) + \lambda_{N+1} > 0, \quad j = \overline{1,n'}, \\ \eta_{n'+1}(\lambda) \equiv \sum_{i=1}^{N} \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \ge 0, \quad i = \overline{1,N}. \end{cases} \qquad (24)$$

If the system of inequalities (24) is compatible, then the indicator variable is

$$r = \min_{\lambda} \max_{j} \eta_j(\lambda) \le 0, \qquad (25)$$

and the obtained solution λ^o will be as resistant as possible to possible shifts of the constraint planes (variations of DM advantages). If the system of constraints (24) is incompatible, then $r > 0$. In this case, for the system of DM advantages, given by the binary relation $R(S')$ (18), there is no vector of weight coefficients of partial criteria $[\lambda_i]$ that satisfies the conditions (24).

At the next stage, the values of the generalized utility function $P(\lambda^o,s)$ (21) are calculated for all effective variants $s \in S^E$ with the set values of weight coefficients $[\lambda_i^o]$, $i = \overline{1,N}$. This allows the ranking of the whole set of effective options using the values of the synthesized generalized utility function.

At the last stage, based on the quantitative evaluation of options $P(\lambda^o,s)$, $s \in S^E$, a subset $S^o \in S^E$ of a given number n^o of the best options is selected. With $Card(S^o) << Card(S^E)$. After that, DM, using the methods of expert evaluation or lexicographic optimization, makes the final choice of the best option $s^o \in S^o$.

Conclusions

In the process of analyzing the problem of project decision support, it was found that most design tasks are multi-criteria and combinatorial, and the final decision-making processes are carried out using expert evaluation methods by analyzing only a small number of options. In practice, this leads to the problem of correctly reducing subsets of effective design solutions for ranking, taking into account factors that are difficult to formalize, knowledge and experience of DM. As a result of

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

decomposition of the problem of support of design decisions the tasks of definition of the purpose of designing of object, formation of universal set of design decisions, allocation of sets of admissible and effective decisions, ranking and a choice of the best design decision are allocated.

To coordinate the interaction between automatic and interactive design procedures of automated design and control systems, a combined method of ranking options is proposed, which combines the procedures of ordinalistic and cardinalistic ordering technologies. It involves the sequential implementation of the stages of formation of a subset of effective options, determining the preferences of experts on the importance of individual properties of options, which are evaluated by partial criteria, parametric synthesis of generalized utility function, ranking options using synthesized generalized utility function, selection of subsets of multiple options and several ranks of the options selected in this way. Parametric synthesis of the generalized utility function, built on the basis of the Kolmogorov-Gabor polynomial, is proposed to be carried out using the method of comparative identification on a set of alternatives with maximum values of indicators.

The developed method expands the methodological principles of automation of support processes for multi-criteria design solutions, allows to correctly reduce the set of effective alternatives for the final choice, taking into account factors that are difficult to formalize, knowledge and experience of DM. The practical use of the obtained results due to the proposed procedure for determining the set of effective decisions will reduce the time and capacity complexity of decision support, and through the use of maximum selection in the synthesis of the evaluation model that is to improve the quality of design decisions.

References

1. Kossiakoff, A., Sweet, W. N., Seymour, S. J., Biemer, S. M. (2011), *Systems Engineering Principles and Practice*, Hoboken, New Jersey : A John Wiley & Sons, 599 p.
2. Timchenko, A. A. (2004), Fundamentals of system design and analysis of complex objects: Fundamentals of system approach and system analysis of objects of new technology [Osnovy systemnoho proektuvannya ta analizu skladnykh ob'yektiv: Osnovy systemnoho pidkhodu ta systemnoho analizu ob'yektiv novoyi tekhniky], Ed. by Yu. G. Legi, Kyiv, Lybid, 288 p.
3. Greco, S., Ehrgott, M., Figueira, J. R. (2016), *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*, New York : USA, Springer, 1346 p.
4. Kaliszewski, I., Kiczkowiak, T., Mirofori-dis, J. (2016), "Mechanical design, Multiple Criteria Decision Making and Pareto optimality gap", *Engineering Computations*, Vol. 33 (3), P. 876–895.
5. Putyatin, V. G. (2015), "Choosing a rational option for the technical implementation of a complex organizational and technical system in the context of multi-criteria" ["Vibor ratsional'nogo varianta tekhnicheskoy realizatsii slozhnoy organizatsionno-tekhncheskoy sistemi v usloviyakh mnogokriterial'nosti"], *Restratsiya, zberigannya and i obrobka danih*, Vol. 17, No. 4, P. 71–92.
6. Beskorovainyi, V. V. (2002), "Systemological analysis of the problem of structural synthesis of geographically distributed systems" ["Sistemologicheskiy analiz problemy strukturnogo sinteza territorial'no raspredelennykh sistem"], Automated control systems and automation devices, Issue 120, P. 29–37.
7. Beskorovainyi, V., Kuropatenko, O., Gobov, D. (2019), "Optimization of transportation routes in a closed logistics system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P.24–32. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.024
8. Under total. ed. Vasilieva, S. N., Zvirkuna, A. D. (2019), "Managing the Development of Large-Scale Systems" ["Upravleniye razvitiyem krupnomasshtabnykh sistem"], *Proceedings of the 12th Int. Conference (MLSD'2019), 1-3 Oct. 2019*, Moscow, IPU RAN, 1294 p.
9. Yelizyeva, A., Artiukh, R., Persiyanova, E. (2019), "Target and system aspects of the transport infrastructure development program", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 81–90. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.081
10. Kosenko, V., Gopejenko, V., Persiyanova, E. (2019), "Models and applied information technology for supply logistics in the context of demand swings", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (7), P. 59–68. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.059
11. Petrov, K. E., Deineko, A. A., Chalaya, O. V., Panferova, I. Y. (2020), "Method of ranking options in the procedure of collective expert evaluation" ["Metod ranzhyrovanyya variantiv pry provedenyy protsedury kollektyvnoho ékspertnoho otsenyvanyya"], *Radioelectronics, Informatics, Management*, No. 2, P. 84–94.
12. Bernasconi, M., Choirat, C., Seri, R. (2014), "Empirical properties of group preference aggregation methods employed in AHP: Theory and evidence", *European Journal of Operational Research*, No. 232, P. 584–592.
13. Podolyaka, O. A., Podolyaka, A. N. (2015), "Application of ordinal normalization and scrambling of criteria for solving multicriteria problems" ["Prymenenye poryadkovoy normalyzatsyy y skremblyrovanyya kryteryev dlya reshenyya mnohokryteryalʹnykh zadach"], *Automotive and Electronics. Modern technologies*, No. 8, P. 60–69.
14. Ataei, M., Shahsavany, H., Mikaeil, R. (2013), "Monte Carlo Analytic Hierarchy Process (MAHP) approach to selection of optimum mining method", *International Journal of Mining Science and Technology*, No. 23, P. 573–578.
15. Bagočius, V., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. (2014), "Multi-person selection of the best wind tur-bine based on the multi-criteria integrated additive-multiplicative utility function", *Journal of Civil Engineering and Management*, No. 20, P. 590–599.
16. Baky, I. A. (2014), "Interactive TOPSIS algorithms for solving multi-level non-linear multi-objective decision-making problems", *Applied Mathematical Modelling*, No. 38, P. 1417–1433.
17. Baky, I., Abo-Sinna, M. (2013), "ATOPSIS for bi-level MODM problems", *Applied Mathematical Modelling*, No, 37, P. 1004-1015.
18. Vilkas, E. Y., Mayminas, E. Z. (1981), *Solution: theory, information, modeling* [*Resheniye: teoriya, informatsiya, modelirovaniye*], Moscow : Radio and Communication, 328 p.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

19. Petrov, E. G., Brynza, N. A., Kolesnik, L. V., Pisklakova, O. A. (2014), Methods and models of decision making in conditions of multicriteria and uncertainty [Metody i modeli prinyatiya resheniy v usloviyakh mnogokriterial'nosti i neopredelennosti], Kherson : Grin D. S., 192 p.
20. Beskorovainyi, V., Berezovskyi, G. (2017), "Estimating the properties of technological systems based on fuzzy sets", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 14–20. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.014
21. Beskorovainyi, V., Podolyaka, K. (2015), "Modifications of the directed search method for reengineering the topological structures of large-scale monitoring systems" ["Modifikatsii metoda napravlennogo perebora dlya reinzhiniringa topologicheskikh struktur sistem krupnomasshtabnogo monitoringa"], *Radioelectronics and Informatics*, No. 3 (70), P. 55–62.
22. Beskorovainyi, V., Petryshyn, L, Shevchenko, O. (2020), "Specific subset effective option in technology design decisions", *Applied Aspects of Information Technology*, Vol. 3, No. 1, P. 443–455.
23. Bezruk, V. M., Chebotareva, D. V., Skorik, Yu. V. (2017), Multicriteria analysis and choice of telecommunication means [Mnogokriterial'nyy analiz i vybor sredstv telekommunikatsiy], Kharkiv : Ukraine, FOP Koryak S. F., 268 p.
24. Deb, K., Deb, D. (2014), "Analysing mutation schemes for real-parameter genetic algorithms", *International Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing*, No. 4 (1), P. 1–28.
25. Deb, K., Himanshu, J. (2014), "An evolutionary many-objective optimization algorithm using reference-point-based nondominated sorting approach, part I: Solving problems with box constraints", *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, No. 18 (4), P. 577–601.
26. Kalyanmoy, D. (2011), "Multi-objective optimization using evolutionary algorithms: an introduction", *In Multi-objective evolutionary optimization for product design and manufacturing*, Springer, P. 3–34.
27. Mikhalevich, V. S., Volkovich, V. L. (1982), Computational methods of research and design of complex systems [Vychislitel'nyye metody issledovaniya i proyektirovaniya slozhnykh sistem], Moscow : Nauka, 288 p.
28. Beskorovainyi, V., Krasko, A. (2017), "Automation of processes for choosing effective solutions in the automated design of control and automation systems" ["Avtomatizatsiya protsessov vybora effektivnykh resheniy pri avtomatizirovannom proyektirovanii sistem upravleniya i avtomatiki"], *Bulletin of the Kherson National Technical University*, No. 4 (27), P. 208–212.
29. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T. (2002), "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II", *IEEE transactions on evolutionary computation*, Vol. 6 (2), P. 182–197.
30. Shadura, O. (2019), "Modification of genetic algorithms based on the method of non-centered principal components and standard tests" ["Modyfikatsiya henetychnykh alhorytmiv na osnovi metodu netsetrovanykh holovnykh komponent ta standartni testy"], *World Science*, No. 4 (44), P. 4–11.
31. Bernasconi, M., Choirat, C., Seri, R. (2014), "Empirical properties of group preference aggrega-tion methods employed in AHP: Theory and evidence", *European Journal of Operational Research*, No. 232, P. 584–592.
32. Saaty, T. L. (2016), "The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making", *Multiple Criteria Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science*, New York : Springer, Vol. 233, P. 363–419.
33. Figueira J., Mousseau, V., Roy, B. (2016), "ELECTRE Methods", *Multiple Criteria Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science*, New York : Springer, Vol. 233, P. 155–185.
34. Brans, J. P., De, S. Y. (2016), "PROMETHEE Methods Multiple Criteria Decision Analysis", *International Series in Operations Research & Management Science*, New York : Springer, Vol. 233, P. 187–219.
35. Papathanasiou, J., Ploskas, N. (2018), "TOPSIS", *Multiple Criteria Decision Aid. Springer Optimization and Its Applications*, Cham : Springer, Vol. 136, P. 1−30.
36. Beskorovainyi, V., Trofimenko, I. V. (2006), "Structural-parametric identification of multifactor estimation models" [Strukturno-parametrychna identyfikatsiya modeley bahatofaktornoho otsinyuvannya"], *Weapons systems and military equipment*, No. 3 (7), P. 56–59.
37. Beskorovainyi, V., Imanhulova, Z. (2017), "Technology of large-scale objects system optimization", *ECONTECHMOD*, Vol. 06, No. 4, P. 3–8.
38. Beskorovainyi, V., Berezovskyi, H. (2017), "Identification of preferences in decision support systems", *ECONTECHMOD*, Vol. 06, No. 4, P. 15–20.
39. Beskorovainyi, V. (2017), "Parametric synthesis of models for multicriterial estimation of technological systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 5–11. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.005

Received 22.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Безкоровайний Володимир Валентинович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри системотехніки, Харків, Україна; email: vladimir.beskorovainyi@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7930-3984.

Бескоровайный Владимир Валентинович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры системотехники, Харьков, Украина.

Beskorovainyi Vladimir – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of System Engineering, Kharkiv, Ukraine.

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД РАНЖУВАННЯ ВАРІАНТІВ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

Предметом дослідження в статті є процес ранжування варіантів у системах підтримки прийняття проєктних рішень. **Мета** роботи – створення методу ранжування варіантів для підвищення ефективності систем підтримки прийняття рішень за

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) *Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)*

рахунок узгодження взаємодії між автоматичними й інтерактивними процедурами систем автоматизованого проєктування. У статті вирішуються наступні **завдання**: огляд і аналіз сучасного стану проблеми ранжування варіантів у системах підтримки прийняття проєктних рішень; декомпозиція проблеми підтримки прийняття проєктних рішень; розробка комбінованого методу ранжування варіантів, який об'єднує процедури технологій ординалістичного та кардиналістичного впорядкування; розробка методу мінімаксного вибору варіантів з множини ефективних для процедури експертного оцінювання. Використовуються такі **методи**: теорії систем, теорії корисності, оптимізації та дослідження операцій. Результати. За результатами аналізу сучасної методології підтримки прийняття рішень встановлено існування проблеми коректного скорочення підмножин ефективних проєктних варіантів для ранжування з урахуванням факторів, що важко піддаються формалізації, знань і досвіду особи, що приймає рішення (ОПР). Виконана декомпозиція проблеми підтримки прийняття проєктних рішень на задачі визначення мети проєктування об'єкта, формування універсальної множини проєктних рішень, виділення множин допустимих та ефективних рішень, ранжування та вибору ОПР найкращого проєктного варіанту. Розроблено комбінований метод ранжування варіантів, який об'єднує процедури технологій ординалістичного та кардиналістичного впорядкування та дозволяє коректно скорочувати підмножин ефективних проєктних рішень для ранжування ОПР. Розроблено метод мінімаксного вибору варіантів з множини ефективних для процедури експертного оцінювання особою, що приймає рішення, який дозволяє підвищувати якість оцінювання. **Висновки.** Розроблений метод розширює методологічні засади автоматизації процесів підтримки багатокритеріальних проєктних рішень, дозволяє здійснювати коректне скорочення множини ефективних альтернатив для остаточного вибору з урахуванням факторів, що важко піддаються формалізації, знань і досвіду ОПР. Практичне використання отриманих результатів за рахунок запропонованої процедури визначення множини ефективних рішень дозволить скорочувати часову й ємнісну складності підтримки прийняття рішень, а за рахунок використання максимінного відбору варіантів при синтезі моделі оцінювання – підвищити якість проєктних рішень.

Ключові слова: автоматизація проєктування; багатокритеріальне оцінювання; ефективні рішення; компараторна ідентифікація; підтримка прийняття проєктних рішень; теорія корисності.

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РАНЖИРОВАНИЯ ВАРИАНТОВ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Предметом исследования в статье является процесс ранжирования вариантов в системах поддержки принятия проектных решений. **Цель** работы – создание метода ранжирования вариантов для повышения эффективности систем поддержки принятия решений за счет согласования взаимодействия между автоматическими и интерактивными процедурами систем автоматизированного проектирования. В статье решаются следующие **задачи:** обзор и анализ современного состояния проблемы ранжирование вариантов в системах поддержки принятия проектных решений; декомпозиция проблемы поддержки принятия проектных решений; разработка комбинированного метода ранжирования вариантов, который объединяет процедуры технологий ординалистичного и кардиналистичного упорядочения; разработка метода минимаксного выбора вариантов из множества эффективных для процедуры экспертного оценивания. Используются такие методы: теории систем, теории полезности, оптимизации и исследования операций. **Результаты.** В результате анализа современной методологии поддержки принятия решений установлено существование проблемы корректного сокращения подмножеств эффективных проектных вариантов для ранжирования с учетом факторов, трудно поддающихся формализации, знаний и опыта лица, принимающего решения (ЛПР). Выполнена декомпозиция проблемы поддержки принятия проектных решений на задачи определения цели проектирования объекта, формирования универсального множества проектных решений, выделения множеств допустимых и эффективных решений, ранжирования и выбора ЛПР лучшего проектного варианта. Разработан комбинированный метод ранжирования вариантов, который объединяет процедуры технологий ординалистичного и кардиналистичного упорядочения и позволяет корректно сокращать подмножества эффективных проектных решений для ранжирования ЛПР. Разработан метод минимаксного выбора вариантов из множества эффективных для процедуры экспертного оценивания ЛПР, который позволяет повысить качество оценивания. **Выводы.** Разработанный метод расширяет методологические основы автоматизации процессов поддержки многокритериальных проектных решений, позволяет осуществлять корректное сокращение множества эффективных альтернатив для окончательного выбора с учетом факторов, трудно поддающихся формализации, знаний и опыта ЛПР. Практическое использование полученных результатов за счет предложенной процедуры определения множества эффективных решений позволит сокращать временную и емкостную сложности поддержки принятия решений, а за счет использования максиминной процедуры отбора вариантов при синтезе модели оценивания – повысить качество проектных решений.

Ключевые слова: автоматизация проектирования; многокритериальная оценка; эффективные решения; компараторна идентификация; поддержка принятия проектных решений; теория полезности.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Безкоровайний В. В. Комбінований метод ранжування варіантів у системах підтримки прийняття проєктних рішень. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 13–20. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.013

Beskorovainyi, V. (2020), "Combined method of ranking options in project decision support systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 13–20. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.013

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2522-9818 (print)* *ISSN 2524-2296 (online)*

UDC 519.722:004.415.26 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.021

A. BONDAR, S. ONYSHCHENKO

EXPERIMENTAL STUDIES OF A MODEL FOR OPTIMIZING THE PORTFOLIO OF A PROJECT-ORIENTED ORGANIZATION BASED ON THE ENTROPY CONCEPT

The **subject** of the research is the optimization of the composition of the project portfolio based on the entropy concept. The **aim** of the study is to experimentally test the model for optimizing the portfolio of a project-oriented organization and substantiate its applicability in practice in management processes to ensure their effectiveness. Research **objectives:** forming a model taking into account the accepted value of the organization; formation of initial data on the organization and alternative projects; portfolio optimization by model and interpretation of results. Research **methods**: system analysis, functional analysis, operations research. **Results.** A model has been developed for forming a portfolio structure from projects of two categories – operational and development; the optimization criterion is to minimize the discrepancy between the desired and actually provided value of the organization. The restrictions take into account the maximum allowable energy limit and the minimum allowable value limit. As a result of the study, the applicability and adequacy of the model for optimizing the portfolio structure of a project-oriented organization were substantiated. The model makes it possible to obtain solutions on the optimal structure of a portfolio of projects in terms of its value under given resource constraints (in the form of a share of total energy and output energy) and energy entropy. The studies substantiated the possibility of adjusting the model in terms of the optimization criterion (maximizing value, minimizing energy entropy) and adding restrictions on the maximum permissible border of information entropy and energy efficiency. **Conclusions.** The model under consideration is characterized by wide practical application, taking into account its possible adjustment without changing the basic essence, taking into account the specifics of a particular field of activity or organization. The practical use of the main indicators of the entropy concept - information entropy, temperature, energy entropy, which characterize the state of organizations, allowing to identify hidden problems before they are reflected on the traditional indicators of organizational performance is demonstrated. Taking this into account, the structure of the project portfolio is being formed within the framework of the considered approach.

Keywords: project; portfolio; model; energy entropy; information entropy; energy efficiency.

Introduction

The specificity of project-oriented organizations is that their current activities and development are carried out through projects [1]. The effectiveness of project-oriented management is justified both in theoretical studies [2] and in applied works related to specific types of activities (for example, [3]).

The project portfolio of these organizations forms the final result, which, in the context of modern project management methodology, represents the value of the organization [4, 5], which can be calculated both in the form of economic indicators and in the form of indicators characterizing, for example, the market status of the organization.

The allocation of the organization's resources between portfolio projects and the formation of its optimal structure allows the organization to build its current activities and development in such a way as to maximize value under certain resource constraints and the desired state.

The entropy concept of managing organizations [6-11] puts forward new requirements that must be taken into account in the processes of optimizing a portfolio of projects in order to ensure not only economic efficiency, but also the sustainability of the organization [12] in the context of information and energy entropy.

Analysis of recent research and publications

A significant number of works are devoted to the problem of forming the optimal composition of portfolios of project-oriented organizations [13-20]. International standards for project portfolio management [13] set a certain benchmark for theoretical research.

Most of the works, for example [14, 15], focus on ensuring the achievement of the strategic goals of organizations, which is the essence of the core value of portfolios. In some works (in particular, [16]), the dynamics of the state of the organization is taken into account and the portfolio of projects is also considered in the form of a dynamic structure. In [17], approaches were proposed to the formation of a portfolio taking into account risks.

Thus, it can be argued that the instrumental basis for the formation of the optimal composition of project portfolios in the form of models and methods has been sufficiently developed in modern research.

Nevertheless, as mentioned above, the new entropic concept of managing organizations, which assesses their state by means of energy entropy [10-12], forms a new approach to optimizing the composition of the project portfolio. In particular, ensuring high economic performance without a corresponding increase in control over the external environment (controlled part of the external environment) [11], which is expressed in a gradual decrease in information entropy, as well as an increase in the efficiency of the use of total energy (resources), will not lead the organization to the required stable state. in a modern turbulent environment.

In [12], on the basis of the entropy concept of management of organizations, a model was developed that allows one to determine the optimal composition of a project portfolio that meets the requirement of balance in terms of the value-entropy ratio. Justification of the reliability and practical applicability of this model is impossible without appropriate experimental studies, which is the essence of this study.

Thus, the aim of this study is to experimentally test

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

the model for optimizing the portfolio of a project-oriented organization and justify its applicability in practice in management processes to ensure their effectiveness.

Results

The model for optimizing the composition of a portfolio of projects provides for the following management parameters:

$$x_{i\theta}^{dev}=\{1,0\},i=\overline{1,n},\ x_{jv}^{cur}=\{1,0\},j=\overline{1,m}, \quad (1)$$

selection of development projects and current activities from a variety of alternative options, T_i, T_j – accordingly, the duration of the life cycles of these projects, $\theta=\overline{1,K\text{-}T_i+1},i=\overline{1,n}$ and $v=\overline{1,K\text{-}T_j+1},j=\overline{1,m}$ – alternative options for starting projects of two categories under consideration. Taking into account that K is the end of the portfolio planning period, the values $K\text{-}T_i+1$, $K\text{-}T_j+1$ characterize the latest start of the project, so that its life cycle falls within the planning period of the portfolio K.

After the implementation of projects of current activities, there are no qualitative changes in the state of the organization, after the implementation of development projects, certain "leaps" of the state are formed, for example, the information entropy decreases or the share of possible use of total energy increases (that is, the part of free energy that can be directed to the implementation of new projects).

The objective function ensures that the discrepancy between the actual and desired $V^*(t)$ values of the organization is minimized:

$$Z=\sum_{t=1}^{K}\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{\theta=1}^{K\text{-}T_i+1}\boldsymbol{V}_{i\theta}(t)\cdot x_{i\theta}^{dev}+\sum_{j=1}^{m}\sum_{v=1}^{K\text{-}T_j+1}\boldsymbol{V}_{jv}(t)\cdot x_{jv}^{cur}+\boldsymbol{V'}(t)\text{-}V^*(t)\right]^2\rightarrow\min_{x_{i\theta}^{dev},x_{jv}^{cur}}, \quad (2)$$

where $\boldsymbol{V'}(t)$ – value provided by current portfolio composition, $\boldsymbol{V}_{i\theta}(t),\boldsymbol{V}_{jv}(t)$, accordingly, the contribution to the value of organizing projects of each category.

Condition for ensuring the minimum value boundary:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{\theta=1}^{K\text{-}T_i+1}\boldsymbol{V}_{i\theta}^{l}(t)\cdot x_{i\theta}^{dev}+\sum_{j=1}^{m}\sum_{v=1}^{K\text{-}T_j+1}\boldsymbol{V}_{jv}(t)\cdot x_{jv}^{cur}+\boldsymbol{V'}(t)\geq V^{min}(t),t=\overline{1,K}. \quad (3)$$

Condition for the maximum allowable value of energy entropy:

$$S(t,x_{i\theta}^{dev},x_{jv}^{cur})\leq S^{\max}(t),t=\overline{1,K}. \quad (4)$$

The formation and formalization of the energy entropy of an organization is presented in detail in [10], where the energy entropy of an organization is determined on the basis of its energy parameters and information entropy, which are formed as a composition corresponding to the characteristics of projects:

$H_{i\theta}(t),H_{jv}(t)$ – information entropy;

$U_{i\theta}(t),U_{j\theta}(t)$ – total energy;

$E_{i\theta}^{ex}(t),E_{j\theta}^{ex}(t)$ – output energy;

$E_{i\theta}^{in}(t),E_{j\theta}^{in}(t)$ – incoming energy.

Limitations on available resources in the form of total energy (potential) and output energy:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{\theta=1}^{K\text{-}T_i+1}\boldsymbol{U}_{i\theta}(t)\cdot x_{i\theta}^{dev}+\sum_{j=1}^{m}\sum_{v=1}^{K\text{-}T_j+1}\boldsymbol{U}_{jv}(t)\cdot x_{jv}^{cur}\leq\boldsymbol{U}^{max}(t),t=\overline{1,K}, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{\theta=1}^{K\text{-}T_i+1}\boldsymbol{E}_{i\theta}^{ex}(t)\cdot x_{i\theta}^{dev}+\sum_{j=1}^{m}\sum_{v=1}^{K\text{-}T_j+1}\boldsymbol{E}_{jv}^{ex}(t)\cdot x_{jv}^{cur}\leq\boldsymbol{E}^{max}(t),t=\overline{1,K}. \quad (6)$$

Conditions for the selection of projects (that is, at least one project must be selected):

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{\theta=1}^{K\text{-}T_i+1}x_{i\theta}^{dev}\geq 1;\sum_{j=1}^{m}\sum_{v=1}^{K\text{-}T_j+1}x_{jv}^{cur}\geq\mathbf{1}. \quad (7)$$

In addition, from the many options for a project from the point of view of its start, only one should be selected (or none, therefore the sign "less or equal"):

$$\sum_{\theta=1}^{K\text{-}T_i+1}x_{i\theta}^{dev}\leq 1,i=\overline{1,n};\sum_{v=1}^{K\text{-}T_j+1}x_{jv}^{cur}\leq 1,j=\overline{1,m}. \quad (7)$$

$$\sum_{\theta=1}^{K\text{-}T_i+1}x_{i\theta}^{dev}\leq 1,i=\overline{1,n};\sum_{v=1}^{K\text{-}T_j+1}x_{jv}^{cur}\leq 1,j=\overline{1,m}. \quad (8)$$

Model (1) - (8) provides the formation of a portfolio of projects in accordance with the conditions and criteria described above.

Let us consider the application of this model to optimize the project portfolio of a specific organization

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

(the "Transmarine" company), which operates in the field of sea transportation, providing services for both cargo delivery and storage, and the formation of groupage shipments. The company has many branches, its own storage sites and warehouses, vehicles.

In accordance with the current composition of the portfolio of projects, the forecast of the state and performance of the organization under consideration is characterized by the following indicators (table 1, fig. 1), the prospective period of consideration is 8 years. The energy parameters of the organization are considered in conventional units, 1 c.u = 1 million dollars.

Table 1. *Forecast of the energy parameters of the organization in accordance with the current composition of the project portfolio*

Time	Total energy, U	Input energy, Ein	Output energy, Eex	Information entropy, H	Energy efficiency, η	Temperature, T	Energy entropy, S
0	12						
1	13,5	5,5	4	2	1,125	0,3125	25,920
2	15,5	6	4	2	1,148	0,3189	30,291
3	16	5,5	5	2,5	1,032	0,2294	45,818
4	17	6	5	2,5	1,063	0,2361	46,750
5	18,5	6,5	5	2,5	1,088	0,2418	49,950
6	19,5	6	5	3	1,054	0,1952	69,344
7	20	5,5	5	3	1,026	0,1899	76,390
8	21	6	5	3	1,050	0,1944	77,318

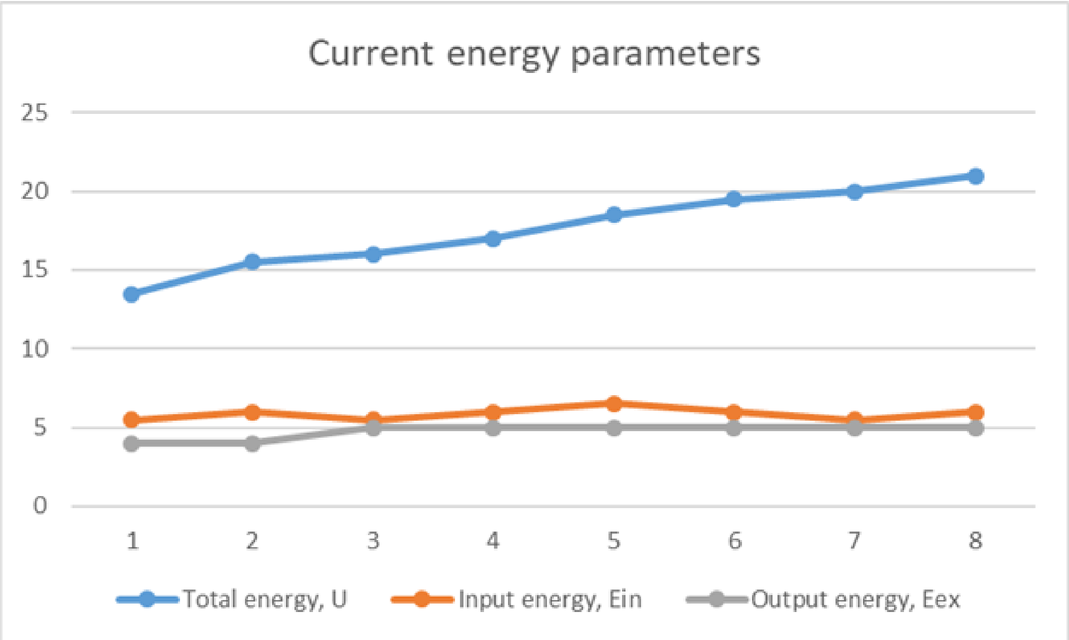


Fig. 1. Forecast dynamics of the organization's energy parameters

Under the value of the organization, in this case, we take the growth of the organization's energy (profit), which is formed as the difference between the incoming and output energy flows. Thus, the value of the organization:

$$V(t) = E^{in}(t) - E^{ex}(t), t = \overline{1,8}. \quad (9)$$

On the basis of the predicted values of the dynamics of the organization's energy parameters $U(t), E^{in}(t), E^{ex}(t), t = \overline{1,8}$, the predicted values of the indicators of its state - information entropy, temperature, energy entropy - were calculated (fig. 2).

It should be canceled that the forecast of the state of the organization, on the one hand, cannot be identified as "bad": in accordance with current projects, the information entropy gradually increases, respectively, the temperature decreases, while the energy entropy increases (fig. 2c), the reason for this is an increase in the total energy of the organization $U(t)$ (fig. 1) despite the fact that the output $E^{ex}(t)$ and input $E^{in}(t)$ energies remain practically unchanged. Thus, in the organization there is an accumulation of "potential" energy, which is not converted into "kinetic" energy, which ensures the movement of the organization to new states in terms of value. Due to this, there is a general downward trend in energy efficiency on average $E^{in}(t)$. The value of the organization is also gradually decreasing (fig. 3).

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

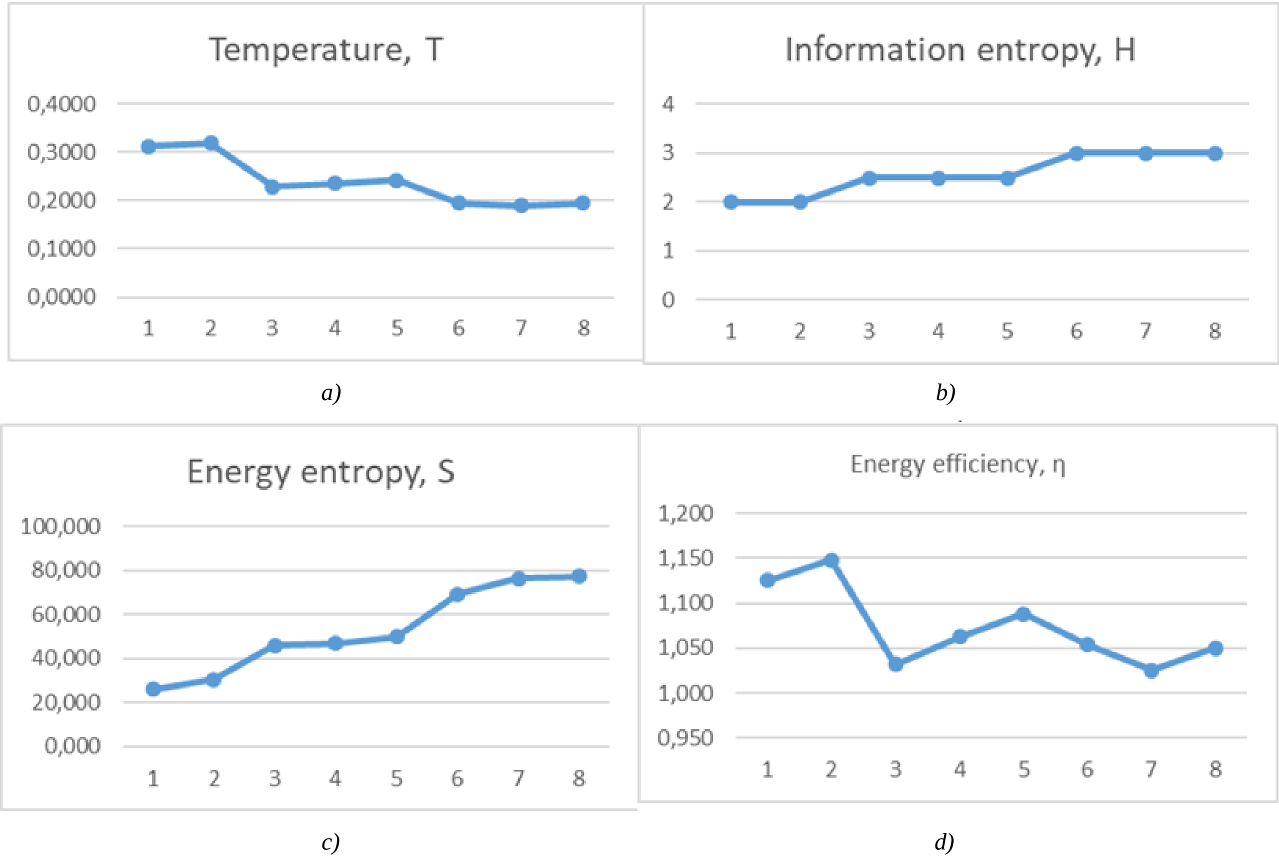


Fig. 2. Forecasted values of indicators of the state of the organization

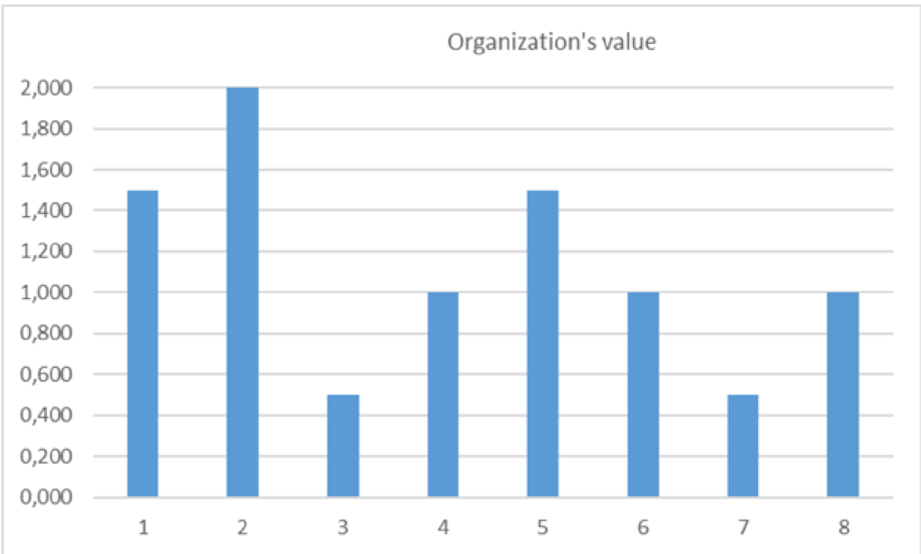


Fig. 3. Forecasted dynamics of the organization's value

Thus, despite the apparent absence of problems in the organization, the entropic concept of management allows you to "reveal" the deep problems that lead to the growth of energy entropy, which can gradually "destroy" the organization.

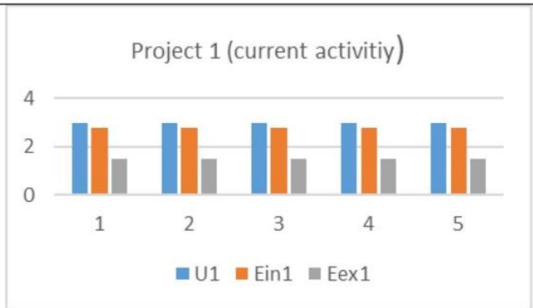
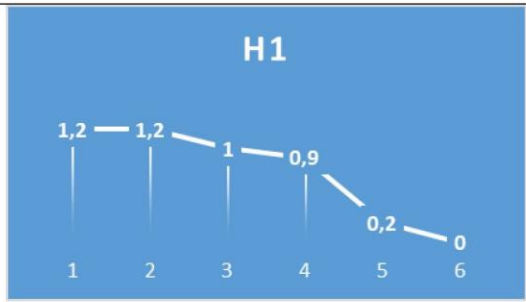
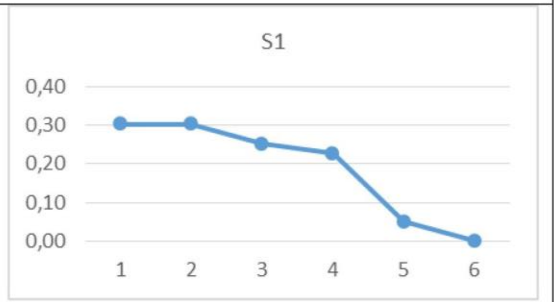
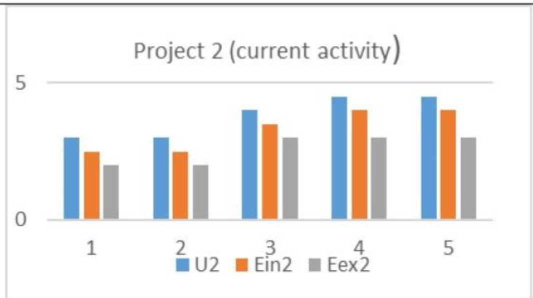
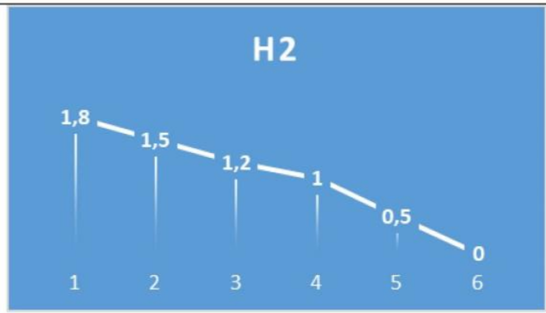
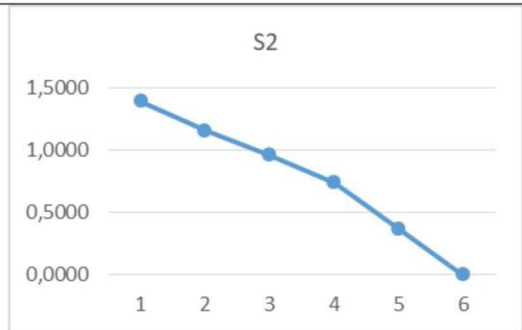
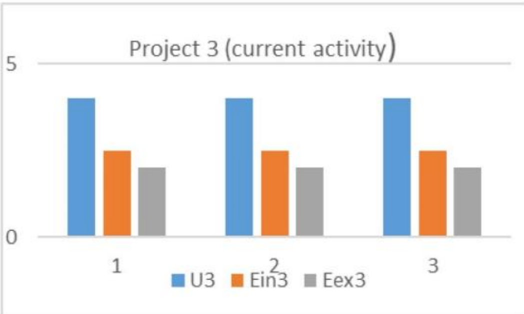
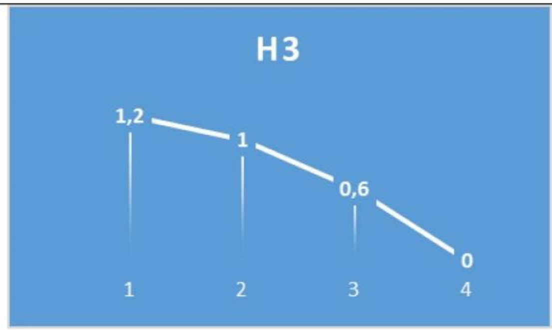
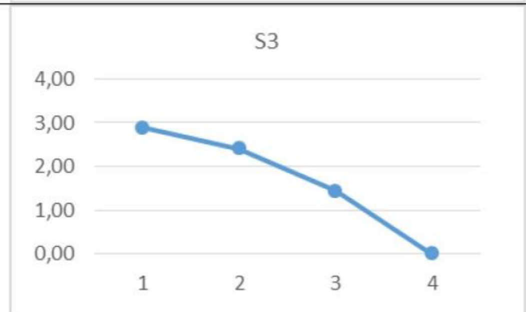
To avoid this, the organization should supplement its portfolio of projects to address these issues. For this, three alternative operational projects (current activities) and three development projects are proposed for consideration, their main characteristics are presented in tables 2, 3. Note that the energy parameters of projects reflect annual values (total for the year), and informational entropy and energy entropy refer to the beginning of each year. Therefore, their last (zero) value for projects refers to the end of the last year of the project life cycle.

As the effect of development projects on the state of the organization (without limiting the generality), a decrease in information entropy was taken:

$$\Delta H_1 = -0{,}5; \Delta H_2 = -1; \Delta H_3 = -0{,}8. \quad (10)$$

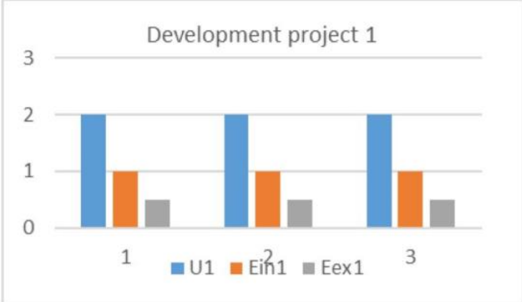
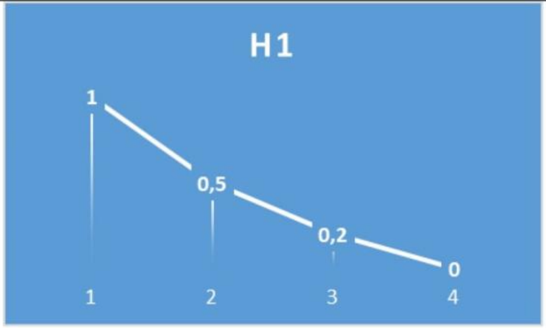
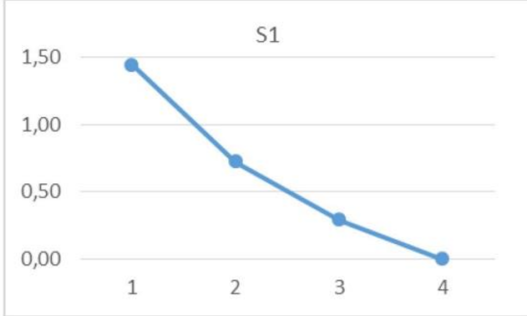
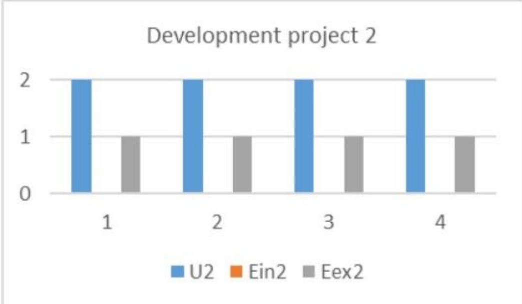
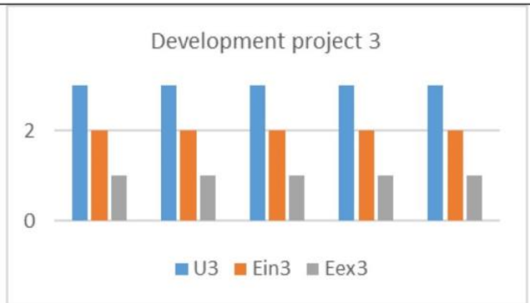
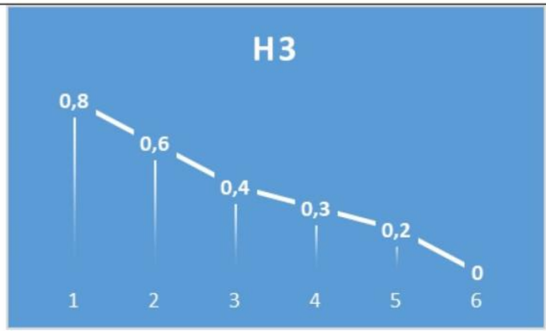
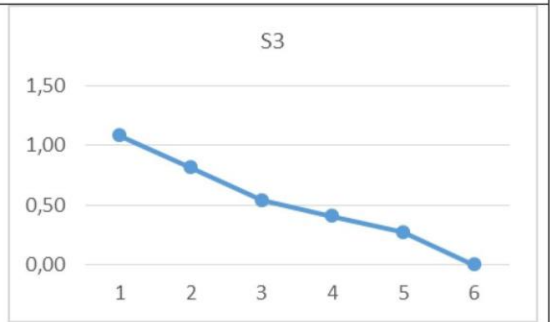
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14)
ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

Table 2. *Characteristics of projects of current activity (dynamics by year of projects)*

Project	Energy parameters	Information entropy, H	Energy entropy, S
PROJECT 1			
PROJECT 2			
PROJECT 3			

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)
Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Table 3. *Characteristics of development projects (dynamics by year of projects)*

Project	Energy parameters	Information entropy, H	Energy entropy, S
PROJECT 1			
PROJECT 2			
PROJECT 3			

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

The main conditions that were taken into account when forming the project portfolio structure were the following:

- minimum limit values of the organization $V^{\min}(t)=2$,

- the output energy of the organization can not exceed 40% of the total energy, i.e. $\sum_{i,j}(E_i^{ex}(t)+E_j^{ex}(t))\le 0,4\cdot U(t)$;

- the part of the total energy of the organization that is distributed between projects can not, respectively, exceed 60%, i.e. $\sum_{i,j}(U_i(t)+U_j(t))\le 0,4\cdot U(t)$.

The following results were obtained for the given conditions:

- all three alternative projects of current activity should be included in the portfolio, respectively, in 4, 4 and 6 years of the period under consideration, that is, in the latest possible start. This is due to the fact that, as previously indicated, the current activities of the organization are characterized by not bad indicators, the problem is, first of all, in the accumulation and non-use of total energy;

- the first and third development projects should be started at the very beginning of the period in question in order to eliminate the problem of accumulating and not using common energy. The specificity of the second development project is that it does not provide for the receipt of input energy $E_2^{in}=0$, although it provides the maximum reduction in information entropy ($\Delta H_2=-1$).

Note that experimental calculations were carried out for two variants of the optimization criterion: the first corresponded to (2), the second (taking into account the accepted energy gain in the form of value) - maximization of the organization's value. The results were the same. Thus, despite the fact that in [12] it was declared as an optimization criterion the minimization of the discrepancy between the total value and the desired value, nevertheless, in cases where the value can be interpreted as an increase in energy, the approach implemented within the framework of this research.

So, as a result of the formation of the structure of the project portfolio in accordance with the results of optimization, the predicted values of the results of activities and the state of the organization will be as follows (fig. 4).

Comparison of energy efficiency for the current portfolio and for its new structure is shown in fig. 5, temperature in fig. 6.

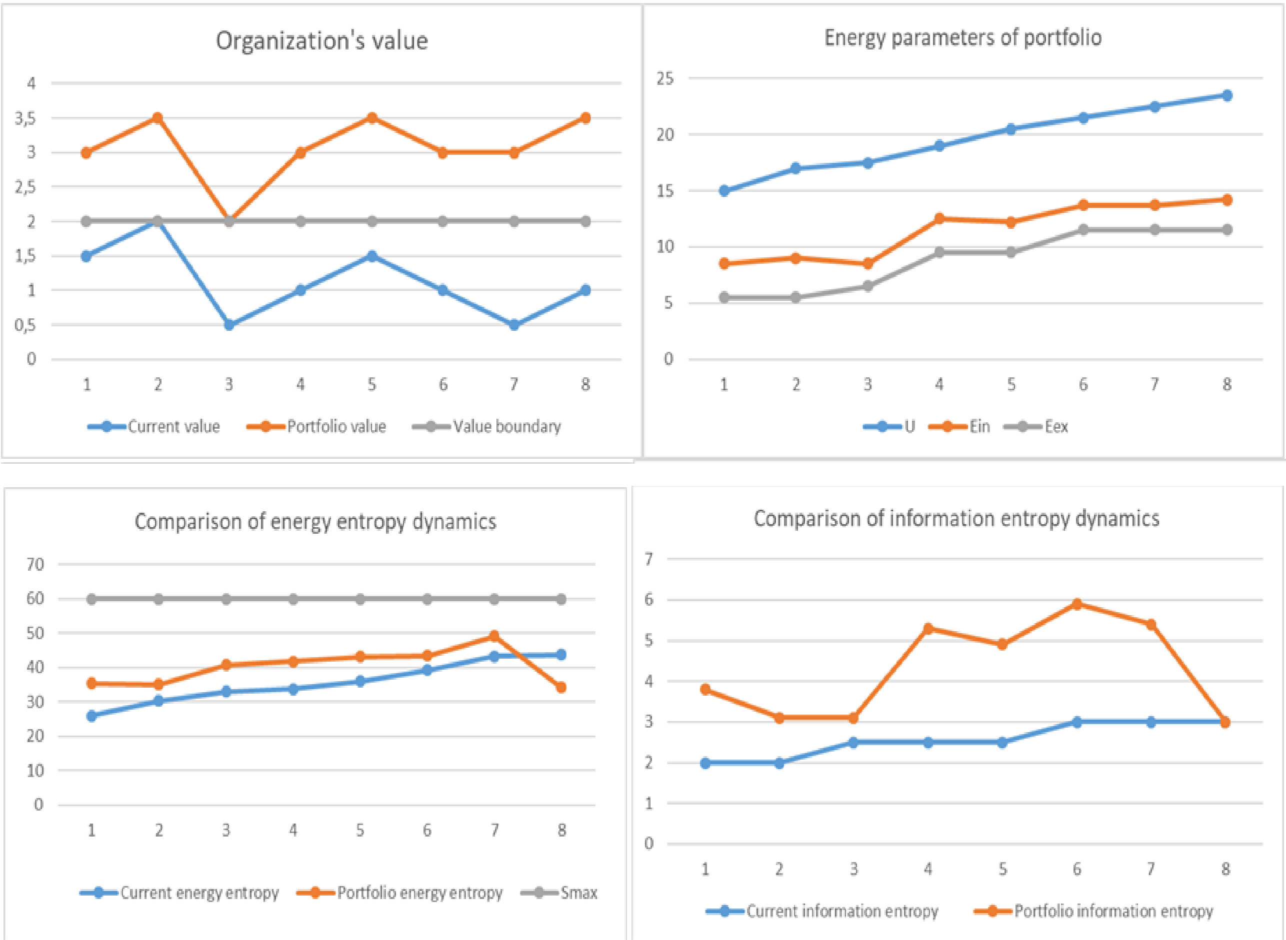


Fig. 4. Forecast values of the company's performance and condition for the proposed portfolio structure

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

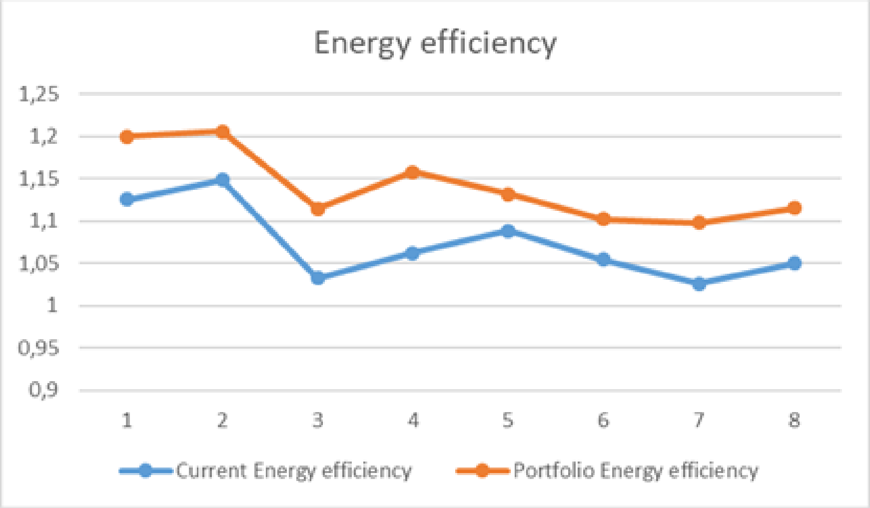


Fig. 5. Comparison of energy efficiency for the current portfolio and for its new structure

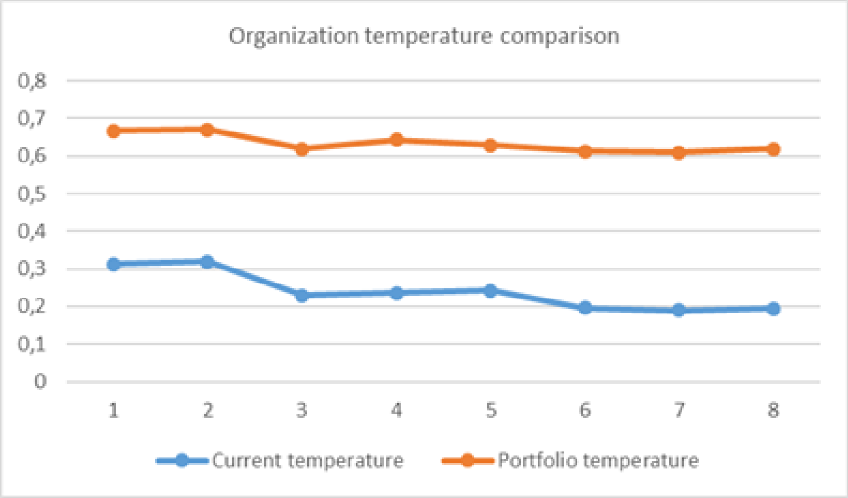


Fig. 6. Comparison of the organization temperature with the existing and new project portfolio structure

The proposed portfolio structure will provide the required level of value for the organization (and, moreover, not below its minimum allowable boundary). The increase in information entropy and energy entropy within the permissible limit is associated with the implementation of new projects, which naturally affects these indicators. But after the implementation of projects, the energoentropy will reach a value lower than it would have been without new projects. The information entropy will return to the "before the new portfolio" level. The temperature increased significantly, which indicates a stronger control over the "external structure" of the organization [11]. So, the model made it possible to form a new structure of the project portfolio, which ensures the fulfillment of the necessary conditions and the achievement of the set result in relation to the value of the organization.

Experiments at varying the initial data also confirmed the accuracy of the obtained optimization results and the adequacy of the model. In particular, changes were made in the current dynamics of information entropy and requirements for the lower boundary of value, which led to the priority of the implementation of projects of current activities and to the postponement of the implementation of development projects.

Conclusions

As a result of the study, the applicability and reliability of the model for optimizing the portfolio structure of a project-oriented organization was substantiated. The model makes it possible to obtain solutions for the optimal structure of a project portfolio in terms of its value under given resource constraints (in the form of a share of total energy and output energy) and energy entropy. The studies substantiated the possibility of adjusting the model in terms of the optimization criterion (maximizing value, minimizing energy entropy) and adding restrictions on the maximum permissible border of information entropy and energy efficiency.

Thus, the developed model (1) - (8) is characterized by wide practical application, taking into account its possible adjustment without changing the basic essence, taking into account the specifics of a particular field of activity or organization.

The practical use of the main indicators of the entropy concept [10-12] – information entropy,

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2522-9818 (print)* *ISSN 2524-2296 (online)*

temperature, energy entropy, which characterize the state of organizations, allowing to reveal hidden problems before they are reflected on the traditional indicators of the effectiveness of organizations.

References

1. Bushuev, S. D., Verenich, E. V., Bushuev, D. A., Yaroshenko, R. F. (2017), "Formal model of the mental space of a project or program", *Radioelectronics, Informatics, Management*, No. 1, P. 153–160.
2. Bushuyev, S., Bushuyeva, N. (2010), "Mechanisms of forming of value in activity of the design-managed organizations", *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, Vol. 1, No. 2 (43), P. 4–9.
3. Onyshchenko, S., Loginov, O. (2016), "Organization of tasks distribution by departments of project-oriented university", *Technology Audit and Production Reserves*, No. 4 (3), P. 61–67. DOI: https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.76138
4. Onyshchenko, S. P., Arabadzhy, E. S. (2011), "Formation of the optimal enterprise development program", *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 3 (54), P. 60-66.
5. Bondar, A. (2020), "Energy-entropic value of organization's resources", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 5–12. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.005
6. Jae-Yoon Jung, Chang-Ho Chin and Jorge Cardoso (2011), "An entropy-based uncertainty measure of process models", *Information Processing Letters*, No. 111 (3), P. 135–141.
7. Abbas, E. (2006), "Entropy methods for joint distributions in decision analysis", *in IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 53, No. 1, P. 146–159. DOI: https://doi.org/10.1109/TEM.2005.861803
8. Han, W., Zhu, B. (2017), "Research on New Methods of Multi-project Based on Entropy and Particle Swarm Optimization for Resource Leveling Problem", *Advances in Engineering Research (AER)*, No. 124, P. 215-221.
9. Downarowicz, T. (2011), *Entropy in Dynamical Systems (New Mathematical Monographs)*, Cambridge: Cambridge University Press. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511976155
10. Bondar, A., Onyshchenko, S., Vishnevskyi, D., Vishnevska, O., Glovatska, S., Zelenskyi, A. (2020), "Constructing and investigating a model of the energy entropy dynamics of organizations", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 3 (105). DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206254
11. Bondar, A., Bushuyev, S., Onyshchenko, S., Hiroshi, H. (2020), "Entropy Paradigm of Project-Oriented Organizations Management", *Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020), Lviv, Ukraine, February 18-20, 2020, CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, Vol. 1, P. 233–243, available at : http://ceur-ws.org/Vol-2565/paper20.pdf
12. Bondar, A. (2020), "Modeling the portfolio structure of a project-oriented organization based on an entropy concept", *Technology audit and production reserves*, No. 5/2 (55), P. 23–38. DOI: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.215394
13. Project Management Institute (2013), *The Standard of Portfolio Management*, 3rd edition, PMI, P. 189, available at :https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/certifications/standard-for-portfolio-management-third-edition.pdf?v=95a98c16-aebd-4f01-9e21-4769fbad4891
14. Onyshchenko, S., Leontieva, A. (2018), "Modeling of the optimal composition of the enterprise technical development program", *Technology audit and production reserves*, No. 5 (2), P. 36–41. DOI: https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146463
15. Kononenko, I. V., Bukreeva, K. S. (2010), "Model and method of optimization of enterprise project portfolios for the planning period", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No. 2 (43), P. 9–11.
16. Onyshchenko, S., Bondar, A., Andrievska, V., Sudnyk, N., Lohinov, O. (2019), "Constructing and exploring the model to form the road map of enterprise development", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 3 (101), P. 33–42. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179185
17. Jennifer Bender and Xiaole Sun (2020), "A Closer Look at the Factor-to-Specific Risk Ratio in Factor Portfolios", *The Journal of Portfolio Management.* Quantitative Special Issue, No. 46 (2), P. 11–23. DOI: https://doi.org/10.3905/jpm.2019.1.117
18. Xiao Qiao, Sibo Yan and Binbin Deng (2020), "Downside Volatility-Managed Portfolios", *The Journal of Portfolio Management*, No. 46 (7), P. 13–29. DOI: https://doi.org/10.3905/jpm.2020.1.162
19. Miia Martinsuo, Joana Geraldi (2020), "Management of project portfolios: Relationships of project portfolios with their contexts", *International Journal of Project Management.* DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.02.002
20. Stefano Chiliberti and Stanislao Gualdi (2020), "Portfolio Construction Matters", *The Journal of Portfolio Management*, No. 46 (7), P. 46–57. DOI: https://doi.org/10.3905/jpm.2020.1.155

Received 10.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бондар Алла Віталіївна – кандидат технічних наук, Одеський національний морський університет, доцент кафедри управління логістичними системами і проектами, Одеса, Україна; email: ocheretyankaalla@gmail.com;. ORCID: http://orcid.org//0000-0003-2228-2726.

Бондарь Алла Витальевна – кандидат технических наук, доцент, Одесский национальный морской университет, доцент кафедры управления логистическими системами и проектами, Одесса, Украина.

Bondar Alla – PhD (Engineering Sciences), Odessa National maritime University, Associate Professor of the Department of Logistic Systems and Project Management, Odessa, Ukraine.

Онищенко Світлана Петрівна – доктор економічних наук, професор, Одеський національний морський університет, директор навчально-наукового інституту морського бізнесу, Одеса, Україна; email: onyshenko@gmail.com; ORCID: http://orcid.org//0000-0002-7528-4939.

Онищенко Светлана Петровна – доктор экономических наук, профессор, Одесский национальный морской университет, директор учебно-научного института морского бизнеса, Одесса, Украина.

Onyshchenko Svitlana – Doctor of Sciences (Economics), Professor, Odessa National Maritime University, Director of Educational & Scientific Institute of Marine Business, Odessa, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ ПОРТФЕЛЯ ПРОЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ НА БАЗІ ЕНТРОПІЙНОЇ КОНЦЕПЦІЇ

Предметом дослідження є оптимізація складу портфеля проєктів на базі ентропійної концепції. **Метою** дослідження є експериментальна перевірка моделі оптимізації складу портфеля проєктно-орієнтованої організації і обґрунтування її застосування на практиці в процесах управління для забезпечення їх ефективності. **Завдання** дослідження: формування моделі з урахуванням прийнятої цінності організації; формування вихідних даних по організації і альтернативним проєктам; оптимізація портфеля за моделлю і інтерпретація результатів. **Методи** дослідження: системний аналіз, функціональний аналіз, дослідження операцій. **Результати.** Розроблено модель формування структури портфеля з проєктів двох категорій - операційних і розвитку, критерій оптимізації - мінімізація розбіжності бажаної і фактично досяжної цінності організації. Обмеження враховують максимально допустиму межу енергонтропії і мінімально допустиму межу цінності. В результаті проведеного дослідження обґрунтована можливість застосування і достовірність моделі оптимізації структури портфеля проєктно-орієнтованої організації. Модель дозволяє отримувати рішення по оптимальній структурі портфеля проєктів з точки зору його цінності при заданих обмеженнях по ресурсах (у вигляді частки загальної енергії та вихідної енергії) і по енергоентропії. Дослідження довели можливість коригування моделі з точки зору критерію оптимізації (максимізація цінності, мінімізація енергоентропії) і доповнення обмеженнями по максимально допустимої межі інформаційної ентропії і енергоефективності. **Висновки.** Модель, що розглядається, характеризується широким практичним застосуванням з урахуванням можливого її коригування без зміни основної суті з урахуванням специфіки конкретної сфери діяльності або організації. Продемонстровано практичне використання основних показників ентропійної концепції - інформаційної ентропії, температури, енергоентропії, які характеризують стан організацій, дозволяючи виявляти приховані проблеми до їх відображення на традиційних показниках ефективності організацій. З урахуванням цього здійснюється формування структури портфеля проєктів в рамках розглянутого підходу.

Ключові слова: проєкт; портфель; модель; енергоентропія; інформаційна ентропія; енергоефективність.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА БАЗЕ ЭНТРОПИЙНОЙ КОНЦЕПЦИИ

Предметом исследования является оптимизация состава портфеля проектов на базе энтропийной концепции. **Целью** исследования является экспериментальная проверка модели оптимизации состава портфеля проектно-ориентированной организации и обоснование ее применимости на практике в процессах управления для обеспечения их эффективности. **Задачи** исследования: формирование модели с учетом принятой ценности организации; формирование исходных данных по организации и альтернативным проектам; оптимизация портфеля по модели и интерпретация результатов. **Методы** исследования: системный анализ, функциональный анализ, исследование операций. **Результаты.** Разработана модель формирования структуры портфеля из проектов двух категорий – операционных и развития, критерий оптимизации – минимизация расхождения желаемой и фактически обеспечиваемой ценности организации. Ограничения учитывают максимально допустимую границу энергонтропии и минимально допустимую границу ценности. В результате проведенного исследования обоснована применимость и адекватность модели оптимизации структуры портфеля проектно-ориентированной организации. Модель позволяет получать решения по оптимальной структуре портфеля проектов с точки зрения его ценности при заданных ограничениях по ресурсам (в виде доли общей энергии и исходящей энергии) и по энергоэнтропии. Исследования обосновали возможность корректировки модели с точки зрения критерия оптимизации (максимизация ценности, минимизация энергоэнтропии) и дополнения ограничениями по максимально допустимой границе информационной энтропии и энергоэффективности. **Выводы.** Рассматриваемая модель характеризуется широким практическим применением с учетом возможной ее корректировки без изменения основной сути с учетом специфики конкретной сферы деятельности или организации. Продемонстрировано практическое использование основных показателей энтропийной концепции – информационной энтропии, температуры, энергоэнтропии, которые характеризуют состояние организаций, позволяя выявлять скрытые проблемы до их отражения на традиционных показателях эффективности организаций. С учетом этого осуществляется формирование структуры портфеля проектов в рамках рассматриваемого подхода.

Ключевые слова: проект; портфель; модель; энергоэнтропия; информационная энтропия; энергоэффективность.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Бондар А. В., Онищенко С. П. Експериментальні дослідження моделі оптимізації складу портфеля проєктно-орієнтованої організації на базі ентропійної концепції. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 21–30. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.021

Bondar, A., Onyshchenko, S. (2020), "Experimental studies of a model for optimizing the portfolio of a project-oriented organization based on the entropy concept", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries,* No. 4 (14), P. 21–30. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.021

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2524-2296 (online)*

UDC 005.4 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.031

N. VERESHCHAKA

OPTIMIZATION OF INFRASTRUCTURE PROJECT PRODUCT PARAMETERS

The **subject** of the research is the means of determining the optimal set of parameters for the products of infrastructure projects. The **aim of the study** is to increase the efficiency of the implementation of infrastructure projects through the use of the developed model for substantiating the optimal parameters of their products. To achieve this goal, the following **tasks** have been solved: determination of the main options for "autonomy" of infrastructure projects; formalization of the dependences of the time, value and economic characteristics of infrastructure projects on the parameters of their products (infrastructure object) and the development of a conceptual model for optimizing these parameters; development of a mathematical model for optimizing the parameters of products of this category of projects. The following **methods** are used: system analysis, functional analysis, operations research. **Results**: it was found that the parameters of the product of infrastructure projects, on the one hand, ensure its commercial relevance, on the other hand, they determine the characteristics of the project (cost, risks, life cycle duration, etc.), which forms a complex system of requirements and restrictions for product parameters. As a result of the study, a conceptual and corresponding mathematical model for optimizing the parameters of an infrastructure project product has been developed for two situations: 1) for a situation of an "autonomous" infrastructure project, in which the infrastructure object being created does not imply commercial use, or its creation and commercial use is carried out within the framework of one project; 2) for a situation of two interconnected by means of a project infrastructure object - the creation of an object and its management (commercial use). Modeling is based on formalized dependences of the value, time and economic characteristics of the project on the parameters of its product. **Conclusions**: the model allows to determine at the initial stage of project development, within the possible range of variation, that set of parameters of its product that provides maximum value for stakeholders both when creating an infrastructure object and in the future when managing (operating) it.

Keywords: value; autonomy; infrastructure object; model.

Introduction

Infrastructure projects are an integral part of the development of a city, region, country, and their main purpose [1] is to provide the necessary conditions for the life of citizens, including electricity and gas supply, transport links, etc.

The product of infrastructure projects is an infrastructure object that can be described by a certain set of parameters. This product, on the one hand, must satisfy the interests of stakeholders, on the other hand, the parameters of the project product determine its cost, the duration of certain stages of the life cycle, etc. Thus, the need to balance the "needs to be obtained" with "how to get it" leads to the formulation of the problem of optimizing the parameters of the products of infrastructure projects.

In [2], it was suggested that all projects can be divided into two categories from the point of view of the certainty of the project product: the first category is projects in which the product parameters are clearly known and set; the second category is projects in which product parameters are set as a result of a comprehensive analysis of possible options within specified limits.

Infrastructure projects can fall into both categories. But more often the second way is used when only a thorough study and analysis of a certain conceptual option allows setting the required set of parameters. For example, when deciding on the modernization of the port terminal, it is necessary to decide on what capacity should be calculated, what depths at the berths should be provided, what should be the lengths of the berths, whether a railway line is needed and how long, etc. Thus, at the stage of initiating an infrastructure project, the parameters of its product are established. For this, appropriate models can be used that take into account the "all consequences" for a specific set of product parameters.

Analysis of literature and research

The development of a modern theoretical basis for project management is aimed not only at the sectoral specialization of projects, but, first of all, at the development of new concepts and methodologies (for example, [3-5]), which give impetus to the development of appropriate methods and models. Research is carried out related to transport and logistics projects (for example, [6-8]), and, naturally, special attention is paid in modern works to infrastructure projects (for example, [9-14]). Particular attention is paid to the value of infrastructure projects and, in particular, in [11, 12], the contribution of an infrastructure project to the development of modern socio-economic systems is studied. In [9, 10], time management methods for infrastructure projects were proposed based on a hybrid methodology that combines classical and new approaches to the implementation of the stages of the project life cycle. The stakeholder management of such projects was studied in [12].

Despite the relevance of the study of issues related to infrastructure projects, it should be noted that almost no attention is paid to the products of these projects, although, as mentioned earlier, for many such projects at the initial stages there is a need for additional research to justify the best (optimal) set parameters of the infrastructure facility. In particular, in [2], a similar approach was used to optimize the product parameters of the fleet replenishment project, in [15] - to optimize the parameters of the port terminal development project.

Taking into account the above, we believe that this idea can be used as the basis for research in the framework of the development of infrastructure projects.

Thus, the purpose of this study is to increase the efficiency of the implementation of infrastructure projects through the use of the developed model for substantiating the optimal parameters of their products.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Results

Conceptual model for optimizing product parameters of an infrastructure project. The specificity of infrastructure projects is that they can have varying degrees of autonomy. At the same time, the concept of "autonomy", that is, independence, isolation of a project, is not necessarily associated with the entry of this project into a portfolio or program. In this case, the lack of certain autonomy for the infrastructure project means, first of all, that the project is the basis for the implementation of the other projects, the products of which depend on the product of the infrastructure project. For example, as a result of many infrastructure projects, a tangible "product" is created (an infrastructure object: a bridge, a road, a ferry crossing, a port terminal, etc.), the management of which is a separate project for the company (companies), which receives the right to manage (operate) this object.

Thus, in such situations, there are two separate projects, the composition of the stakeholders of which, generally speaking, may overlap (for example, the future operator company participates as one of the investors in the infrastructure project), fig. 1.

At the same time, the characteristics of an object created in an infrastructure project affect the results of the project for managing this object. Such a "tandem" of projects is an example of *the lack of complete autonomy* for an infrastructure project in terms of the dependence of the parameters of its product and the product of an interconnected project. Let us characterize this thesis in more detail.

As a result of implementation of the infrastructure project the object of infrastructure (product of the project) with parameters $\{P_i \mid i=\overline{1,n}\}$ is created. The composition of this set includes both quantitative and qualitative characteristics of the object (for example, reliability, durability, etc.) and is determined by the specifics of the infrastructure object.

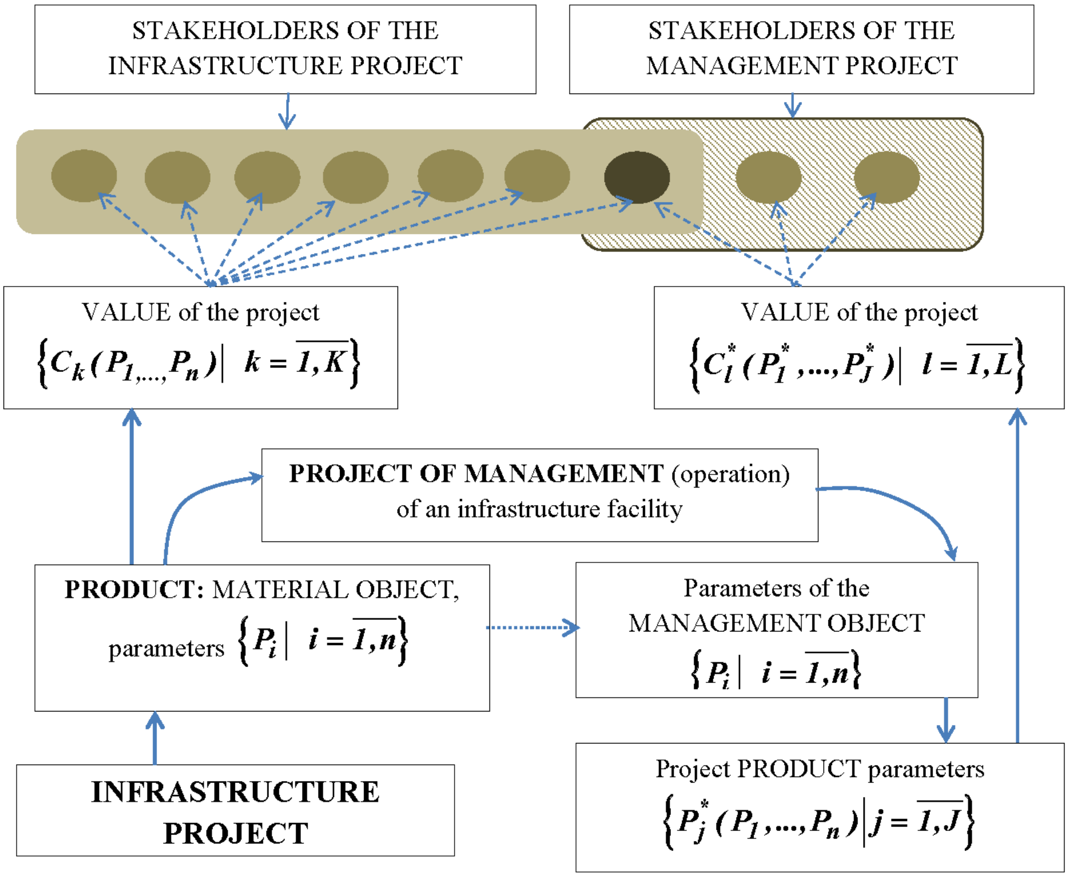


Fig. 1. Infrastructure project and related infrastructure facility management project

The value, as you know, is a universal characteristic of the project implementation results from the point of view of stakeholders, and for each of them the value of the project can vary significantly (the achieved high value for one stakeholder may not mean high value for another stakeholder at all); in addition, the "measure" of value can also be different for each stakeholder (for example, for one - the costs of the project, for the other – increasing the attractiveness of the region, for the third – the financial result, etc.). Thus, different levels of stakeholders of infrastructure projects have different levels of project value, which are the corresponding "reflectors" of the project results from the point of view of stakeholders' goals. Naturally, the value of an infrastructure project C_k depends on the parameters of its output product (that is, according to the results of the implementation of the infrastructure project):

$$C_k = C_k(P) = C_k(P_1,...,P_n), k = \overline{1,K}, \qquad (1)$$

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

where K is a number of stakeholders in the infrastructure project; $P_i, i=\overline{1,n}$ – infrastructure project product characteristics; n – the total number of allocated characteristics of the project product. So, if the qualitative characteristics of the infrastructure facility are lower than the required (planned) ones, then, naturally, the project goal cannot be considered achieved, and, consequently, its value in fact decreases. (1) allows to take this into account, moreover, (1) allows, for example, on the basis of factor analysis, to establish what exactly and how influenced the decline in value, if it happened.

The product (infrastructure object) obtained as a result of the implementation of an infrastructure project becomes an object of management (operation) in the corresponding project, which further determines the characteristics of the product of this project $P_j^*, j=\overline{1,J}$ (where J is the number of distinguished characteristics of the product of the infrastructure object management project) and its value $C_l^*, l=\overline{1,L}$ for each stakeholder:

$$P_j^* = P_j^*(P_{1,\dots,}P_n),\ j=\overline{1,J}, \qquad (2)$$

$$C_l^* = C_l^*(P_1^*,\dots,P_J^*) = C_l^*(P_1^*(P_{1,\dots,}P_n),\dots,P_J^*(P_{1,\dots,}P_n)),\ l=\overline{1,L}, \qquad (3)$$

where L is a number of stakeholders in the infrastructure facility management project. For example, the depths reached at the berths and on the approach channels to the port (characterized within the set of parameters of the infrastructure project $\{P_i \mid i=\overline{1,n}\}$ product) determine the characteristics of the transport service (services) provided at a given port terminal (in particular, services for loading / unloading on ships of a certain size, which the terminal can receive at the berth, which is included in the set of parameters for the product of this project - the project for managing the infrastructure object – $\{P_j^* \mid j=\overline{1,J}\}$).

Thus, the relationship between products and results (in the form of value) of an infrastructure project and an interconnected infrastructure project management project is identified. The conceptual model for optimizing the parameters of an infrastructure project product is as follows (fig. 2).

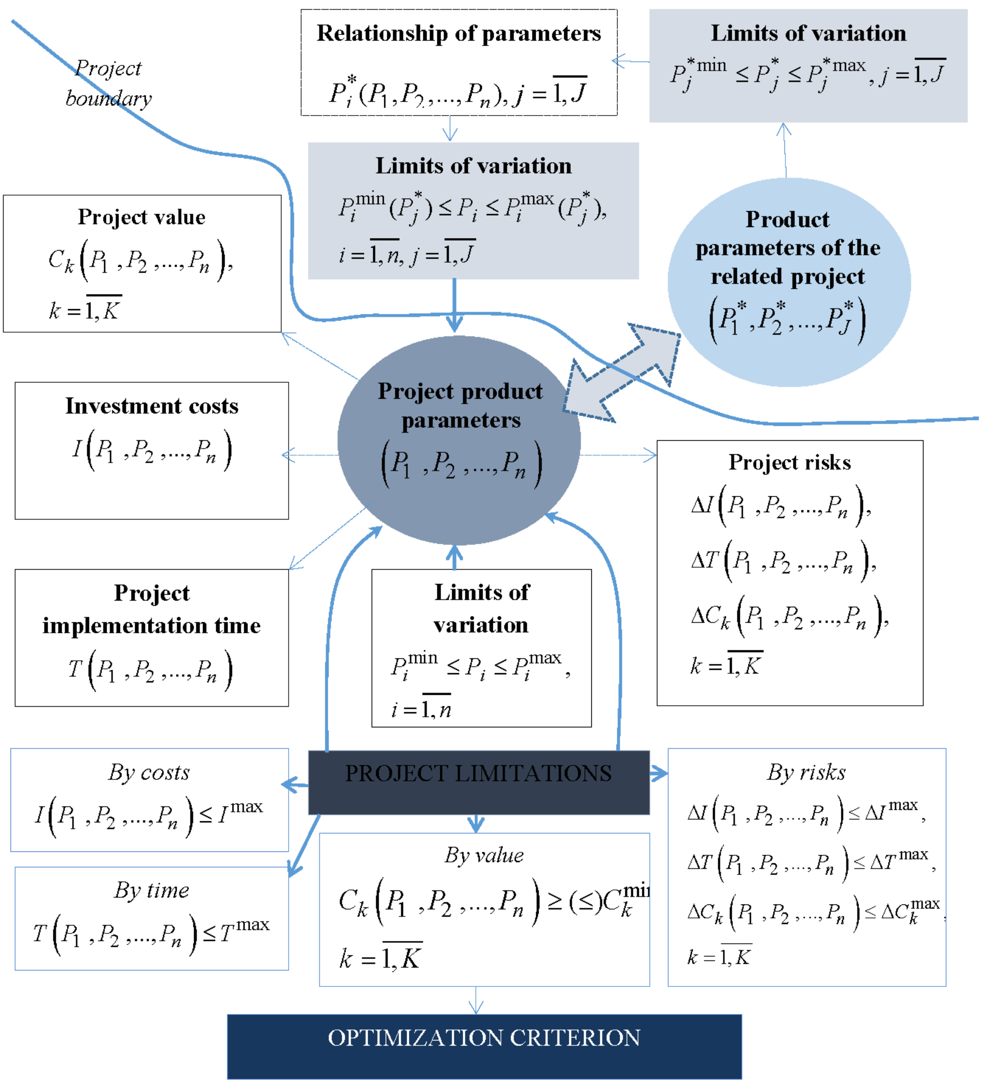


Fig. 2. Conceptual model for optimizing product parameters of an infrastructure project

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

A model for optimizing product parameters for an infrastructure project. Naturally, the parameters of the project product cannot be of an arbitrary level, and for each project, taking into account its specifics, certain restrictions are formed:

$$P_i^{\min} \le P_i \le P_i^{\max}, i = \overline{1,n}, \qquad (4)$$

where $P_i^{\min}, P_i^{\max}$ characterize, respectively, the minimum and maximum permissible boundaries of the project product parameters. Note that in some cases, individual parameters of the products of infrastructure projects may be interrelated. For example, a certain depth of an approach channel without its corresponding width is meaningless. Therefore, this kind of relationship should be taken into account in the form:

$$P_v = P_v(P_1, ..., P_{\varphi_v}), v \in U_v, \qquad (5)$$

where U_v is a set of project product parameters that depend on other parameters, φ_v is the number of parameters affecting a specific parameter P_v.

Varying the parameters of the product of an infrastructure project P allows to vary the main characteristics of this project, and, above all, *the cost of the project* (the size of the required investments) I:

$$I(P) = I\left(P_1, P_2, ..., P_n\right). \qquad (6)$$

The project implementation time T is also determined by a set of product parameters:

$$T = T\left(P_1, P_2, ..., P_n\right). \qquad (7)$$

Project risks also naturally depend on product parameters. If from the whole variety of project risks at the stage of their aggregated consideration, we single out the risks of an increase in implementation time ΔT, an increase in investment costs ΔI, and a change in value towards deterioration ΔC_k (for example, if the value is the increase of attractiveness, then there is a decrease in value; if the value is a decrease in cost, then it excesses, etc.). Thus, the parameters of the project product determine the magnitude of the risks:

$$\begin{aligned} &\Delta I = \Delta I\left(P_1, P_2, ..., P_n\right), \Delta T = \Delta T\left(P_1, P_2, ..., P_n\right), \\ &\Delta C_k = \Delta C_k\left(P_1, P_2, ..., P_n\right), k = \overline{1,K}. \end{aligned} \qquad (8)$$

Each project is associated with certain restrictions in terms of cost, time, risks, etc., therefore, based on the above dependencies, the following system of project restrictions is formed:

- by project costs (size of investment)

$$I(P) = I\left(P_1, P_2, ..., P_n\right) \le I^{\max}; \qquad (9)$$

- by implementation time

$$T = T\left(P_1, P_2, ..., P_n\right) \le T^{\max}; \qquad (10)$$

- by value

$$C_k\left(P_1, P_2, ..., P_n\right) \ge (\le) C_k^{\min}, k = \overline{1,K}; \qquad (11)$$

- in terms of acceptable risks

$$\begin{aligned} &\Delta I = \Delta I\left(P_1, P_2, ..., P_n\right) \le \Delta I^{\max}, \\ &\Delta T = \Delta T\left(P_1, P_2, ..., P_n\right) \le \Delta T^{\max}, \\ &\Delta C_k = \Delta C_k\left(P_1, P_2, ..., P_n\right) \le \Delta C_k^{\max}, k = \overline{1,K}. \end{aligned} \qquad (12)$$

For a situation of *a completely autonomous project*, the presented system of restrictions is complete, reflecting the basic requirements and characteristics.

For a project that is associated with a subsequent management (operation) project, the constraints associated with *the further commercial operation of the infrastructure facility* should be taken into account. For example, with a relatively insignificant increase in investment, the parameters of the approach channel for ships of significant size can be achieved, but further entry of ships into the port is not advisable due to, for example, the lack of the ability to process such size of shiploads in the port, or the demand for such a size parties in the region, etc. That is, the commercial operation of the infrastructure object *imposes its own limitations* that must be taken into account. Otherwise, the created infrastructure facilities are either used ineffectively, or their use is generally not advisable and these facilities gradually replenish the set of abandoned facilities.

Thus, restrictions are formed on the parameters of the project product associated with its further commercial operation:

$$P_i^{\min}(P_j^*) \le P_i \le P_i^{\max}(P_j^*), i = \overline{1,n}, j = \overline{1,J}, \qquad (13)$$

which are established through the presence of relationships between the products of projects (infrastructure and management):

$$P_j^* = P_j^*(P_1, P_2, ..., P_n), j = \overline{1,J} \qquad (14)$$

and based on the constraints on the product parameters of the infrastructure facility management project:

$$P_j^{*\min} \le P_j^* \le P_j^{*\max}, j = \overline{1,J}. \qquad (15)$$

The optimization criterion, as a rule, is one of the value indicators [15], for example, the one that most closely matches the mission and the main goal of the project (that is, the value from the standpoint of the main stakeholder). If *the project is autonomous* (that is, it provides for both the creation and management of an infrastructure facility), then the indicator of economic efficiency (for example, the NPV of the project) acts as the "main" value. For such projects, the system of restrictions can also be supplemented with restrictions

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

related to efficiency (for example, profitability, payback period, etc.):

$$E = E\left(P_1, P_2, ..., P_n\right) \le (\ge) E^*, \quad (16)$$

where E – used performance indicator, and E^* – its limiting border – maximum or minimum, depending on the essence of the selected indicator.

So, the model for optimizing the parameters of the product of an autonomous infrastructure project includes the following restrictions: (4), (9) – (12), (16) objective function (the value of the first stakeholder is conditionally selected as the main one):

$$Z = C_1\left(P_1, P_2, ..., P_n\right) \to \max_{P_1, P_2, ..., P_n}. \quad (17)$$

If the project is partially autonomous, then the model for optimizing the parameters of the infrastructure project product includes constraints (4), (9) – (13), and objective function (17).

As a result of optimization, the parameters of the project product $P_1, P_2, ..., P_n$ are established, which characterize its certain physical characteristics (length, width, depth, height, etc.), operational characteristics (throughput, operating costs, service life before capital repairs, etc.), as well as quality characteristics (reliability, etc.).

Integral consideration of infrastructure project products and infrastructure facility management project.

In situations where the future operator of an infrastructure facility acts as one of the investors in the project for the creation of this facility (which is typical for such projects), his interests are represented in both projects, and, consequently, *the integral optimization* of the parameters of the products of both projects is logical for such a situation. In the above approach, the "interests" of an interconnected project when optimizing the parameters of an infrastructure project product were taken into account only as constraints (15). Integral optimization of these parameters is a separate task.

Since each project has its own goals and limitations, the optimization of the parameters of the products of each project is formally carried out within the framework of a separate optimization model. Nevertheless, there are interests of the above-mentioned investor, which are associated with both projects. Thus, in addition to two optimization models for each project, a model can be formed that optimizes the integral interests of the investor with some integral constraints for the two projects.

So, the model for optimizing the parameters of an infrastructure project product is formulated above. Let's consider a model for optimizing product parameters of an infrastructure facility management project $\left\{P_j^* \mid j = \overline{1, J}\right\}$.

For this project, generally speaking, investments may not be used, and the main investments are made in the process of creating an infrastructure facility. Nevertheless, many infrastructure facilities in the field of water transport (for example, port terminals) are characterized by the fact that construction and hydrotechnical works are carried out as part of the creation/reconstruction of the facility, that is, the "immovable" basis of the infrastructure facility is being created. At the same time, in the process of operating, the equipment is equipped with reloading equipment, which also requires certain investments.

Therefore, in the most general case, we will assume that within the framework of the infrastructure object management project investments are $I^*(P^*) = I\left(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*\right)$. If borrowed funds are used for investments, then corresponding costs arise $R_{inv}(I^*) = R_{inv}(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*)$, which are also determined by the terms of use of borrowed funds and shares of own funds (which is not emphasized in this work, since it goes beyond the scope of the study).

In addition, the operating costs R^e of an object depend not only on the parameters of the object, but also on the parameters of the product (for example, transport services), but also on the intensity of operation, that is, on the demand Q, which depends on the parameters of the product, therefore it is fair:

$$\begin{aligned} R^e &= R_1^e(P_1, P_2, ..., P_n) + \\ &+ R_2^e(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*, Q(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*)) = \\ &= R_1^e(P_1, P_2, ..., P_n) + R_2^e(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*), \end{aligned} \quad (18)$$

where R_1^e and R_2^e accordingly, operating costs, which depend on both the "object" and the equipment/personnel associated with it.

The income from the object $D^e = D^e(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*)$ is also determined by the demand $Q(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*)$ and the parameters of the product (in this case, the service) $P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*$.

Accordingly, the profit of the operator of the infrastructure facility is formed as:

$$\begin{aligned} \Pi(P_1, P_2, ..., P_n, P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*) &= D^e(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*) - \\ &- R_1^e(P_1, P_2, ..., P_n) - R_2^e(P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*). \end{aligned} \quad (19)$$

It should be noted here that the above has been established $P_j^*(P_1, P_2, ..., P_n), j = \overline{1, J}$, however, some $P_1^*, P_2^*, ..., P_J^*$ are actually independent of $P_1, P_2, ..., P_J$. Therefore, in (19), the parameters of the products of both projects are indicated as parameters on which the profit depends.

The project of management (operation) of an infrastructure facility is certainly associated with certain risks, which, first of all, are manifested in a decrease in profits $\Delta\Pi$ due to an excess of planned operating costs

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

ΔR^e and a decrease in income ΔD. Thus $\Delta \Pi(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*)$ is formed.

As an optimization criterion, an indicator of the economic efficiency of projects can be used (as the main value for an operator for such projects), for example $NPV(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*)$, which is formed from income, operating costs, investment costs (if any), as well as the share of own funds invested in this project.

Thus, the model for optimizing the parameters of the product of the project of management (operation) of the infrastructure object is as follows:

Objective function:

$$NPV(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*) \to \max_{P_1^*, P_2^*,..., P_J^*}; \quad (20)$$

The limitation on the capacity/throughput (other similar characteristic) of the infrastructure object, $M^{\min}, M^{\max}$ respectively, the lower and upper boundaries, are established on the basis of the concept and experience of the commercial use of this object:

$$M^{\min} \le M(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*) \le M^{\max}; \quad (21)$$

Limitation on the desired profit is $\Pi^{\min}$ and its allowable decrease is $\Delta\Pi^{\min}$:

$$\Pi(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*) \ge \Pi^{\min}; \quad (22)$$

$$\Delta\Pi(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*) \le \Delta\Pi^{\max}; \quad (23)$$

Investment restriction, where $I^{\max}$ is the maximum allowable level:

$$I\left(P_1^*, P_2^*,..., P_J^*\right) \le I^{\max}; \quad (24)$$

Restrictions on acceptable values of control parameters:

$$P_j^{*\min} \le P_j^* \le P_j^{*\max}, \; j = \overline{1, J}. \quad (25)$$

Two comments should be made on this model:

1. When *considered locally* (that is, without taking into account the integral interests of the operating company in two projects), $P_1, P_2,..., P_n$ act as exogenous parameters, and only the parameters $P_1^*, P_2^*,..., P_J^*$ of the product of this project are subject to optimization.

2. When solving the problem, *the duration of the project is not considered*, a certain value of which is implied in (20). In (21) – (23), the considered indicators are referred to the annual time interval, which is traditional.

Integral consideration of two projects from the position of an investor-operator presupposes the presence of an "integrating" model, in which two local models are components.

One of the approaches used in such situations is that the criteria of local models are transformed into constraints, the lower bound of which is determined either on the basis of a target task within the project, or on the basis of a solution corresponding to the optimal value when solving a local problem. For example, if, as a result of the solution according to model (20) – (25), the value of the criterion for the optimal plan NPV^{opt} is obtained, then as the lower bound in the integral model, the value can be used

$$NPV^{\min} = \lambda \cdot NPV^{opt}, \quad (26)$$

where $0 < \lambda < 1$ is a coefficient specifying the permissible decrease in the optimal value of NPV in the local model. A similar approach is used when determining the lower bound for the criterion in the local model for optimizing the parameters of an infrastructure project product $C_1^{\min}$. The scheme of forming a model for the integral consideration of two projects (infrastructural, and an interconnected project for managing an infrastructure object) is as follows (fig. 3).

Such an integral consideration of the two projects allows us to take into account the specifics of the commercial operation of the infrastructure facility at the stage of its actual design (fig. 4).

The optimization criterion is the NPV indicator, taking into account the fact that the "trend" of projects is investment and provides for the commercial use of the facility:

$$NPV(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*) \to \max. \quad (27)$$

Model control parameters are product parameters of both projects: $P_1, P_2,..., P_n$, $P_1^*, P_2^*,..., P_J^*$. The limitations of local models are fully included in the integral design consideration model. Objective functions of two local models are transformed into integral constraints:

$$Z_1 = C_1\left(P_1, P_2,..., P_n\right) \ge C_1^{\min}, \quad (28)$$

$$Z_2 = NPV(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*) \ge NPV^{\min}. \quad (29)$$

In addition, integral restrictions provide for a limit on investment resources S:

$$I_1\left(P_1, P_2,..., P_n\right) + I_2\left(P_1^*, P_2^*,..., P_J^*\right) \le S. \quad (30)$$

The main risk of the investor is the "shortfall" in profit, which causes a decrease in the efficiency of investments, that is ΔNPV appears, and so there is a natural limitation on the acceptable level of risk:

$$\Delta NPV(P_1, P_2,..., P_n, P_1^*, P_2^*,..., P_J^*) \le \Delta NPV^{\max}. \quad (31)$$

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

Since the parameters of the projects' products are interrelated (in any case, some of them), the model should take into account the functional dependence of these parameters:

$$P_j^* = P_j^*(P_1, P_2, ..., P_n),\ j = \overline{1, J}\ . \tag{32}$$

Note that the presented concept of forming an integral model can be used for other "trends" of projects, taking into account their specificity. This model is universal in nature, since the industry specificity is manifested only in the structure of indicators, and not in their essence. As a result of optimization according to model (27) – (32), the values of the optimal parameters of project products (infrastructural and interconnected with it) are determined, at which the interests of the investor are ensured from the point of view of NPV, subject to existing restrictions, either external or related to the requirements of investors.

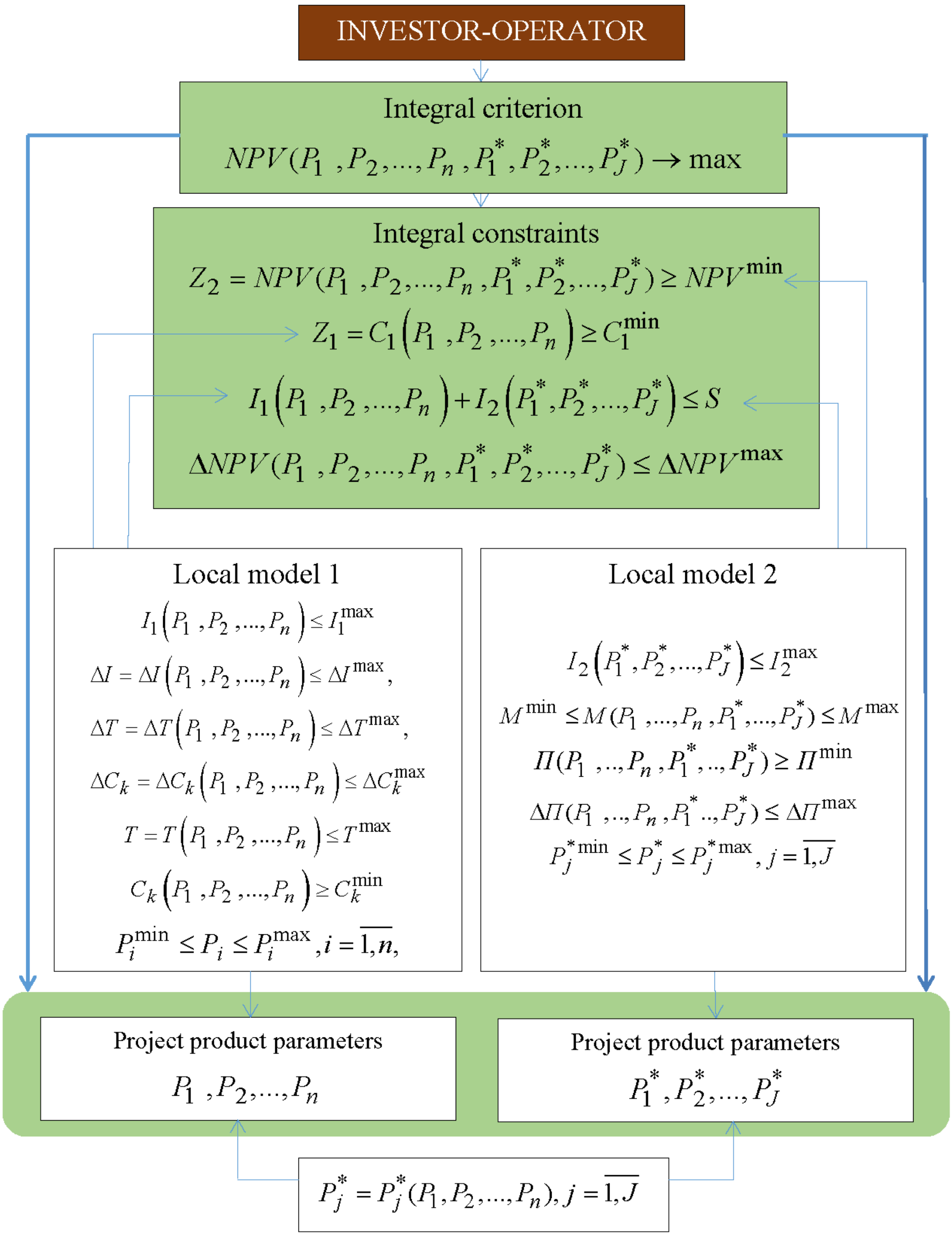


Fig. 3. Scheme of the formation of a model of integral consideration of two interrelated projects

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

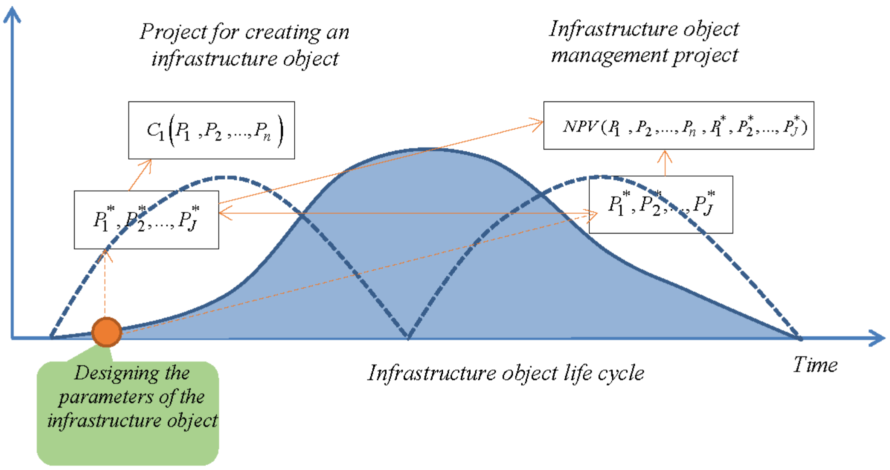


Fig.4. Accounting the specifics of the commercial operation of an infrastructure facility at the design stage

Conclusions

In this study, a mathematical model has been developed for optimizing the parameters of an infrastructure project product for two situations: 1) for a situation of an "autonomous" infrastructure project, in which the created infrastructure object does not imply commercial use, or its creation and commercial use is carried out within the framework of one project; 2) for a situation of two interconnected by means of a project infrastructure object – the creation of an object and its management (commercial use). Modeling is based on taking into account the dependences of the value, time and economic characteristics of the project on the parameters of its product.

The model allows, at the initial stage of project development, to determine, within the possible range of variation, the set of parameters that will provide maximum value for stakeholders both when creating an infrastructure object and in the future when managing (operating) it.

The model is universal and not tied to a specific field of activity, which makes it possible to develop it in terms of taking into account applied aspects, for example, a specific type of laws.

References

1. Andrey, J., Kertland, P., Warren, F., Mortsch, L., Garbo, A., Bourque, Ju. (2014), "Water and Transportation Infrastructure", P. 233–252.
2. Onyshchenko, S. P. (2009), "Optimization of the object and time parameters of the operational phase of enterprise development projects using the example of shipping companies" ["Optimizatsiya ob"yektnykh i vremennykh parametrov ekspluatatsionnoy fazy proyektov razvitiya predpriyatiy na primere sudokhodnykh kompaniy"], *Method for developing transport systems*, Vol. 15, P. 70–84.
3. Bushuyev, S., Bushuiev, D., Bushuieva, V. (2020), "Project management during Infodemic of the COVID-19 Pandemic", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 13–21. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.013
4. Bondar, A., Bushuyev, S., Onyshchenko, S., Hiroshi, H. (2020), "Entropy Paradigm of Project-Oriented Organizations Management", *Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020)*, Lviv, Ukraine, February 18-20, 2020, CEUR Workshop Proceedings (2020), Vol. 1, P. 233–243. DOI: http://ceur-ws.org/Vol-2565/paper20.pdf.
5. Bondar, A. (2020), "Monitoring the dynamics of a project-oriented organization energy entropy", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 6–13. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.006
6. Chumachenko, I. V., Galkin, A. S., Davidich, N. V., Kush, E. I. (2019), "Regularities of formation of needs in movements at development of projects of transport systems of cities" ["Zakonomirnosti formuvannya potreb u peresuvannyakh pry rozrobtsi proektiv transportnykh system mist"], *Municipal utilities. Series: Technical Sciences and Architecture*, No. 3, P. 144–151.
7. Pavlova, N. L., Onyshchenko, S. P. (2020), "The concept of modeling the optimal parameters of the project portfolio of a project-oriented organization" ["Kontseptsyya modelyrovanyya optymal'nykh parametrov proektov portfelya proektno-oryentyrovannoy orhanyzatsyy"], *Mathematical modeling in engineering and technology*, No. 1 (1355), P. 75–79.
8. Andrievska, V., Bondar, A., Onyshchenko, S. (2019), "Identification of creation and development projects of logistic systems", *Development of management and entrepreneurship methods on transport*, No. 4 (69), P. 26–37. DOI: https://doi.org/10.31375/2226-1915-2019-4-26-37
9. Bushuiev, D., Kozyr, B. (2020), "Hybrid infrastructure project management methodologies", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (11), P. 35–43. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.035
10. Bushuyev, S., Kozyr, B., Zapryvoda, A. (2019), "Nonlinear strategic management of infrastructure programs", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 14–23. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.014
11. Verenich, O. V. (2016), "Management of infrastructure projects and programs as a key element for the development of social and economic systems", *Management of Development of Complex Systems*, No. 25, P. 23–31.
12. Bushuyev S., Bushuyev D., & Kozyr B. (2019), "Paradigm shift in the management of infrastructure projects and programs", *Management of Development of Complex Systems*, No. 37, P. 6–12. DOI: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783149
13. Bushuyev, S., Shkuro, M., Kozyr, B. (2019), "Proactive project management of ensuring the energy efficiency of municipal infrastructure", *Bulletin Of NTU "KhPI". Series: Strategic Management, Portfolio, Program And Project Management*, No. 1 (1326), P. 3–10. DOI: http://doi.org/10.20998/2413-3000.2019.1326.1

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2524-2296 (online)*

14. Shkuro, M.., Bushuyev, S. (2017), "Peculiarities of project management application in municipal infrastructure projects of energy efficiency" ["Osoblyvosti zastosuvannya proektnoho upravlinnya v munitsypal′nykh infrastrukturnykh proektakh zabezpechennya enerhoefektyvnosti"], *Visnyk of Lviv State University of Life Safety*, No. 16, P. 77–83.
15. Onyshchenko, S., Leontieva, A. (2018), "Modeling of the optimal composition of the enterprise technical development program", *Technology audit and production reserves*, No. 5 (2), P. 36–41. DOI: https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146463

Received 26.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Верещака Миколай Анатолійович – Одеський національний морський університет, здобувач, Одеса, Україна; email: nikolaiver3@gmail.com; ORCID: http://orcid.org//0000-0002-7115-6630.

Верещака Николай Анатольевич – Одесский национальный морской университет, соискатель, Одесса, Украина.

Vereshchaka Nikolay – Odessa National Maritime University, Applicant, Odessa, Ukraine.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОДУКТУ ІНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЄКТУ

Предметом дослідження є засоби визначення оптимального набору параметрів продуктів інфраструктурних проектів. **Метою** дослідження є підвищення ефективності реалізації інфраструктурних проектів за рахунок використання моделі обґрунтування оптимальних параметрів їх продуктів. Для досягнення даної мети вирішені наступні **завдання**: визначення основних варіантів "автономності" інфраструктурних проектів; формалізація залежностей часових, ціннісних та економічних характеристик інфраструктурних проектів від параметрів їх продуктів (об'єкта інфраструктури) і розробка концептуальної моделі оптимізації даних параметрів; розробка математичної моделі оптимізації параметрів продуктів даної категорії проектів. Використовуються наступні **методи**: системний аналіз, функціональний аналіз, дослідження операцій. **Результати**: встановлено, що параметри продукту інфраструктурних проектів, з одного боку, забезпечують його комерційну затребуваність, з іншого боку - обумовлюють характеристики проекту (вартість, ризики, тривалість життєвого циклу і т.п.), що формує в комплексі систему вимог і обмежень для параметрів продукту. В результаті дослідження розроблено концептуальну і відповідну математичну модель оптимізації параметрів продукту інфраструктурного проекту для двох ситуацій: 1) для ситуації "автономного" інфраструктурного проекту, при якій створюється об'єкт інфраструктури, який не передбачає комерційне використання, або його створення і комерційне використання здійснюється в рамках одного проекту; 2) для ситуації двох взаємопов'язаних за допомогою об'єкта інфраструктури проекту – створення об'єкта і управління ним (комерційного використання). В основі моделювання – формалізовані залежності ціннісних, часових і економічних характеристик проекту від параметрів його продукту. **Висновки**: модель дозволяє на початковому етапі розробки проекту визначити в рамках можливого діапазону варіювання той набір параметрів його продукту, який забезпечує максимальну цінність для стейкхолдерів як при створенні об'єкта інфраструктури, так і в подальшому при управлінні (оперуванні) ім.

Ключові слова: цінність; автономність; об'єкт інфраструктури; модель.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТА ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА

Предметом исследования являются средства определения оптимального набора параметров продуктов инфраструктурных проектов. **Целью** исследования является повышение эффективности реализации инфраструктурных проектов за счет использования разрабатываемой модели обоснования оптимальных параметров их продуктов. Для достижения данной цели решены следующие **задачи**: определение основных вариантов "автономности" инфраструктурных проектов; формализация зависимостей временных, ценностных и экономических характеристик инфраструктурных проектов от параметров их продуктов (объекта инфраструктуры) и разработка концептуальной модели оптимизации данных параметров; разработка математической модели оптимизации параметров продуктов данной категории проектов. Используются следующие **методы:** системный анализ, функциональный анализ, исследование операций. **Результаты:** установлено, что параметры продукта инфраструктурных проектов, с одной стороны, обеспечивают его коммерческую востребованность, с другой стороны – обуславливают характеристики проекта (стоимость, риски, продолжительность жизненного цикла и т.п.), что формирует в комплексе систему требований и ограничений для параметров продукта. В результате исследования разработана концептуальная и соответствующая математическая модель оптимизации параметров продукта инфраструктурного проекта для двух ситуаций: 1) для ситуации "автономного" инфраструктурного проекта, при которой создаваемый объект инфраструктуры не предполагает коммерческое использование, либо его создание и коммерческое использование осуществляется в рамках одного проекта; 2) для ситуации двух взаимосвязанных посредством объекта инфраструктуры проекта – создания объекта и управления им (коммерческого использования). В основе моделирования формализованные зависимости ценностных, временных и экономических характеристик проекта от параметров его продукта. **Выводы**: модель позволяет на начальном этапе разработки проекта определить в рамках возможного диапазона варьирования тот набор параметров его продукта, который обеспечивает максимальную ценность для стейкхолдеров как при создании объекта инфраструктуры, так и в дальнейшем при управлении (оперировании) им.

Ключевые слова: ценность; автономность; объект инфраструктуры; модель.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Верещака М. А. Оптимізація параметрів продукту інфраструктурного проєкту. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 31–39. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.031

Vereshchaka, N. (2020), "Optimization of infrastructure project product parameters", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 31–39. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.031

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

UDC 005.8:005.42 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.040

I. ZACHKO, A. IVANUSA, D. KOBYLKIN

HYBRID MANAGEMENT OF PROGRAMS OF TERRITORIAL SYSTEMS DEVELOPMENT PROJECTS BY MEANS OF CONVERGENCE MECHANISMS

Introduction. Implementation of program projects of social and economic development of the territories of Ukraine is inefficient, with overspending of the budget and completion not at the set time. This is due to the use of reactive project management methodologies that do not take into account the complexity of project implementation, the turbulence of the project environment. The lack of hybrid mechanisms for managing project programs of socio-economic development of territories based on the convergence of different methods of project management is an unresolved problem. The implementation of socio-economic development project programs is carried out using the mechanisms of financial regulation of territories on the basis of the "recipient-donor" model. Therefore, the development of mechanisms for hybrid management of project programs of socio-economic development of territorial systems based on the convergence of key methods of project management is an urgent scientific task. **Purpose.** The purpose of the work is to develop mechanisms for hybrid management of program projects of socio-economic development of the regions of Ukraine using the tools of financial regulation, public-private partnership and convergence of these mechanisms. **Methods.** The methods of hybridization and convergence of project management methodologies are used in the article. **Results.** Based on research, it is proved that the implementation of program projects of socio-economic development of territories requires the use of various components of project management through hybridization and convergence. The terminological base of project management has been expanded by introducing new definitions "hybrid project management of socio-economic development projects", "convergence of project management mechanisms". Processes of management of program projects of social and economic development of territories, on the basis of model "recipient-donor" are formalized. **Conclusion.** The analysis of current trends in the implementation of complex programs of socio-economic development projects has shown the ineffectiveness of existing project management methodologies associated with the lack of mechanisms for hybrid project management based on convergence of best practices in project management projects. A convergent model of hybrid management of projects of socio-economic development of territories by means of identification of the main challenges and problems in the life cycle of the regional system is developed, which takes into account indicators of project success in the program based on analysis of project management best practices.

Keywords: hybrid management; convergence; program; projects of socio-economic development; management mechanisms; territorial systems.

Introduction

The implementation of programs for socio-economic development of territories takes place in a complex socio-cultural multi-project environment with elements of turbulence, risks and uncertainty, as well as under the influence of external and internal political factors.

In Ukraine, the implementation of programs of socio-economic development projects of territorial systems is inefficient in terms of compliance with the established budget, time frame, as well as the final expectations of the final stakeholders and project users. First of all, this is due to the use of classical project management methodologies that are not flexible in a complex multi-project environment and do not take into account the turbulence of the project environment.

Most programs of projects of socio-economic development of territorial systems are implemented on the basis of the model "recipient-donor" with a load on local and state budgets. Best practices in project management with international experience are characterized by the convergence of different project management methods that form the methodology of hybrid project management using scientifically sound metrics of combination of key stakeholders in the investment phase of the project: government, regional government, community, international funding, funding, own funds of enterprises of the region, funds of public projects.

The scientific works of many scientists, in particular V.M. Burkov, S.D. Bushuyev, V.D. Gogunsky, I.V Kononenko, H. Tanaka, O.B.Zachka, S.K.Chernova, I.V. Chumachenko and others are devoted to the issue of hybrid management of complex programs of projects of social and economic development of territorial systems. However, in the known literature there are relatively few works in which research would be focused on various aspects of such an important area of program management of socio-economic development projects in conditions of uncertainty as hybrid project management using convergence mechanisms.

In particular, in [1-6] the peculiarities of identification and management of infrastructure projects are considered. The application of hybrid management methodology for infrastructure projects, features of their hybridization and problems of multilevel hybrid management are described. In [7, 10] the mechanisms of convergence of project management methodology and their system model are considered. The main standards and guidelines for project management, programs and project portfolios are described in [8-9]. Principles of formation of portfolios of projects of improvement of systems of safety, their theoretical approaches in management of safety of projects of development of difficult systems are described in works [11-13]. The study of the process of application of office project-oriented management and formalization of factors influencing infrastructure projects is described in studies [14-15]. In [16] the peculiarities of the functioning of hybrid organizations and the processes of their management are described. Features of the functioning of hybrid peace projects are described in [17]. Selective linking in response to competing institutional logics in hybrid organizations is described in [18].

The main and general disadvantage of existing

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

research is the lack of implementation of a convergent approach with hybridization of key mechanisms of project management. The study of innovative methods of project management of territorial systems development projects, in particular, hybridization and convergence of best practices of project management requires a scientifically sound system of metrics for the success of such projects. There is a need to use analytical and experimental research to develop effective mechanisms for hybrid management of project programs of socio-economic development of territories based on the convergence of best practices of project management.

Research methods are to apply the mechanisms of convergence of best practices in program management of complex projects, which will form a new paradigm of hybrid program management of projects of socio-economic development of territories.

Research results

Based on theoretical research, it is proved that the implementation of programs of socio-economic development projects, which occurs under the influence of environmental turbulence and the dynamics of changes in multiproject environment, taking into account the different nature of factors, requires different components of project management through hybridization and convergence.

The terminology base of project management has been expanded by introducing new definitions of “hybrid project management of socio-economic development projects”, “convergence of project management mechanisms”, which complement existing methodologies in terms of regional development program management and take into account best project management practices..

Definition 1. Hybrid project management of socio-economic development projects is a combination of project management mechanisms with the integration of the values of key stakeholders of the program to the holistic mission of the territorial system, provided by the convergence of best practices of project management.

Definition 2. "Convergence of project management mechanisms" - the formation of a set of methods and models of project management for the development of complex systems based on the integration of project management methodologies and best practices of project management in the focus of regional project programs.

The existing processes of management of programs of projects of social and economic development of territories which are realized on the basis of model "recipient-donor" with identification of key stakeholders of an investment phase of the project are formalized: state bodies, regional authorities, community, and international financing funds, grant organizations, sponsorship funds enterprises of the region, funds of public projects.

Literary and information analysis showed that most regional programs for the development of socio-economic systems are implemented in the model "recipient-donor" with a specific burden on local and state budgets (table 1).

Table 1. *The "Recipient - Donor" model in the implementation of programs of projects for the socio-economic development of territorial systems*

Recipient (regional territorial system)	**Donor (investment fund of the socio-economic development project program)**				
	Local budget	**State budget**	**Public-private partnership projects**	**International funds**	**Cross-border programs**
Territorial system 1	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}
…	K_{ij}	K_{ij}	K_{ij}	K_{ij}	K_{ij}
Territorial system n	K_{n1}	K_{n2}	K_{n3}	K_{n4}	K_{n5}

where K_{ij} is an attraction coverage ratio for the *i*-th territory of the *j*-th program project financing fund.

In the existing realities for successful application of the best practices of project management it is necessary to develop mechanisms of hybrid management of programs of projects of social and economic development of territories taking into account metrics of co-financing according to realities of the multiproject environment.

For the most profitable and cost-effective implementation of projects of socio-economic development of territories with a high rate of return, it is necessary to diversify financial resources and stakeholder entities in order to strengthen convergence, including and private business and its interests. This approach diversifies not only the sources of funding, but also the risks that will be shared between different stakeholders and their interest to act more synergistically to address them, the possibility of more flexible solutions to funding irregularities, optimization of resource consumption, non-compliance with agreed deadlines, etc. Such a mechanism is effective and feasible in the application of Ukrainian legislation and correlates with the paradigm of public-private partnership for Sustainable Development 2030 (People First PPPs), which allows to initiate such projects by both public authorities and private business.

To date, there are a number of obstacles to the actual implementation and enforcement of such convergence methodologies through:

- Low awareness of potential opportunities.
- Lack of pilot projects.
- Lack of experience in implementing similar projects in Ukraine in general in their full cycle.
- Lack of qualified specialists and potential investors to finance and attract such projects.
- Involvement of international technical assistance for project management and structuring.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

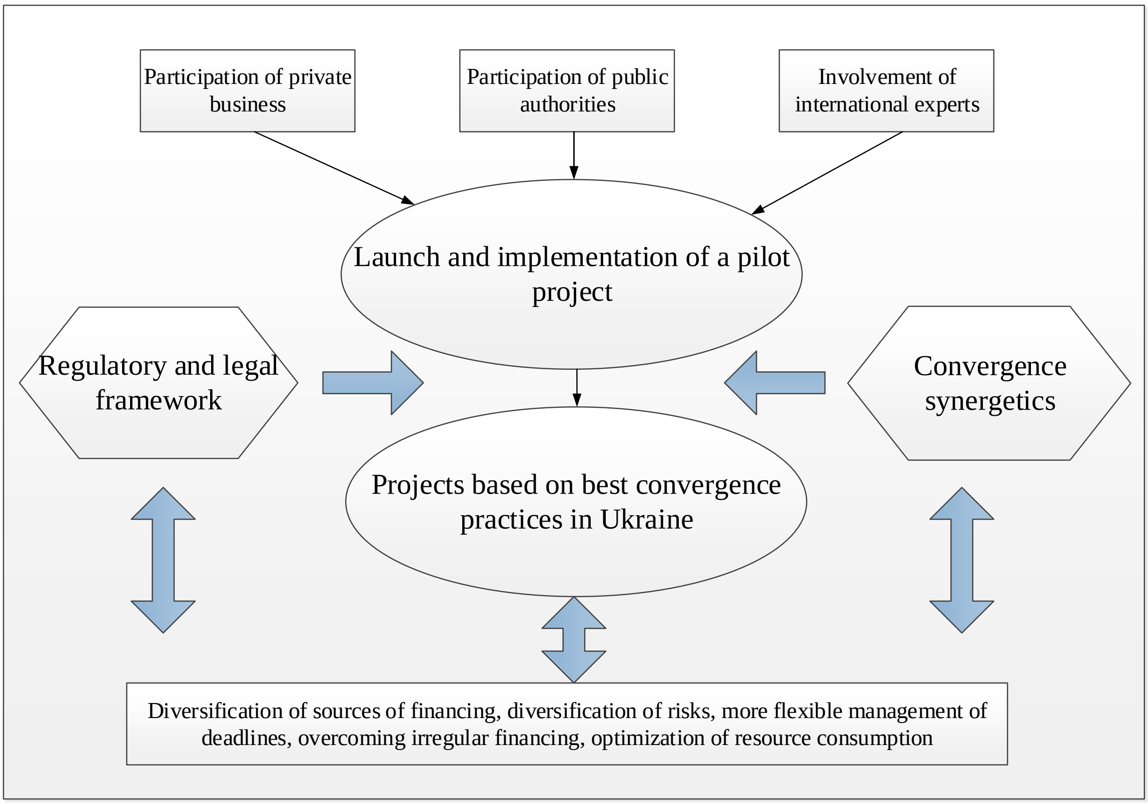


Fig. 1. Model-scheme of factors influencing obstacles to the implementation of convergent methodologies in the management of territorial systems development projects

The model scheme is based on the launch and implementation of pilot projects for the development of territorial systems by means of convergence mechanisms, which is formed from the components of attracting private business, public authorities and the help of international experts. Let's represent the expression as a tuple (1).

$$Lz = \langle Ib; Ia; Ie \rangle, \qquad (1)$$

where Lz – launch and implementation of a pilot project; Ib – private business participation; Ia – participation of the public authorities; Ie – participation of international experts.

When implementing a pilot project for the development of territorial systems, the influence of factors of convergence synergetic and the requirements of the regulatory framework put forward for its regulation, projects are selected based on the best convergence practices in Ukraine, which is written by the expression (2).

$$\left.\begin{matrix}\{Sk\}\\ \{Jk\}\\ \{Lz\}\end{matrix}\right\} = Pk\,, \qquad (2)$$

where Pk – projects based on best convergence practices in Ukraine; Sk – convergence synergetic; Jk – regulatory and legal framework.

However, it should be borne in mind that at this stage, the implementation of convergence projects is not possible without taking into account the ongoing process of diversification. It is accompanied by the financial component of the project; overcoming the irregularity of funding; emerging risks; flexible deadline management; optimization of resource consumption, which is described by the expression (3).

$$\left.\begin{matrix}\{Sk\}\\ \{Pk\}\\ \{Jk\}\end{matrix}\right| \Leftrightarrow Dk\text{, at this } Dk \in (k_i; k_{in}; k_{in+1})\,, \qquad (3)$$

where Dk – the process of diversification of funding sources; overcoming its irregularity, the risks that arise; flexible deadline management; optimization of resource consumption.

Project management of territorial systems development is a complex organizational and technical process. The process is complicated by the constant change in the impact of the project environment, the need to adapt different atypical (hybrid) approaches, project management methodologies, programs and project portfolios and the need to take into account in the planning process of this type of project convergence factors. On the basis of the system analysis the model of hybrid management of the program of projects of development of territories is constructed (fig. 2).

The model is based on the parameters of the convergence coefficient. In the context of hybrid management, the convergence factor is a tool that provides processes for managing programs and projects for the development of territorial systems and their interaction with stakeholders.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

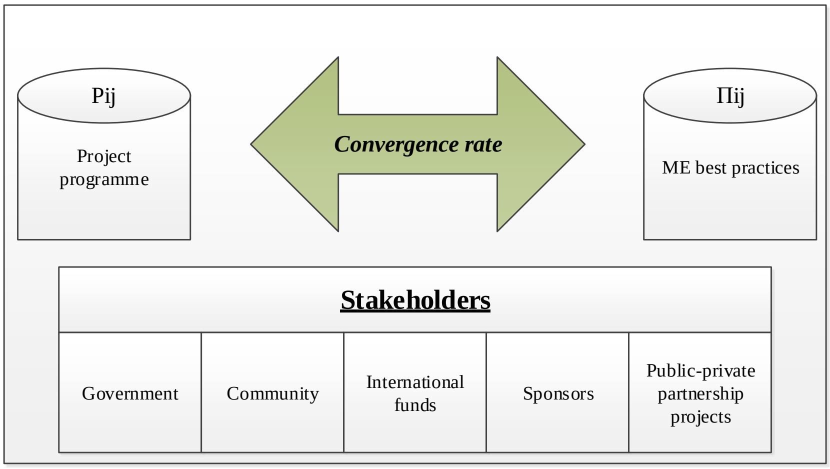


Fig 2. Model of the structure of objects and subjects of hybrid management of the program of territorial development projects

The main stakeholders of the territorial development project implementation program will be the following components: government, community, international funds, and sponsorship and public-private partnership projects. Thus, formally stakeholders of the hybrid management program of territorial development projects can be written as an expression (4).

$$Sh = \langle Gv; Lo; If; Sr; Ph \rangle , \quad (4)$$

where *Sh* – stakeholders of the territorial development project program; *Gv* – authorities; *Lo* – local communities; *If* – involved international funds; *Sr* – sponsors; Ph – public-private partnership projects.

Whereas the parameters of the convergence factor directly depend on the application, in the process of planning and implementation of best practices in project and program management; standard structured projects and programs and their interaction with stakeholders so the process dependence of elements of hybrid management of the program of projects of development of territories is formed. We describe the formed dependence of the expression (5).

$$Kij \{Sh\} \Leftrightarrow \langle Pi | Пi \rangle , \quad (5)$$

where *Pij* – programs, territorial development project; *Пij* – best practices in project management, programs and project portfolios.

The influence of the parameters of the convergence coefficient on the program of territorial development projects is carried out throughout the life cycle. However, the greatest impact with the maximum possible positive or negative consequences is carried out at the planning stage. The solution to this impact lies in the context of identifying the main challenges and problems faced by the project in the life cycle of the regional system. Taking into account these features and the impact of convergence coefficient parameters on the project, a convergent model of hybrid project management of socio-economic development of territories by means of identifying the main challenges and problems in the life cycle of the regional system (see fig. 3).

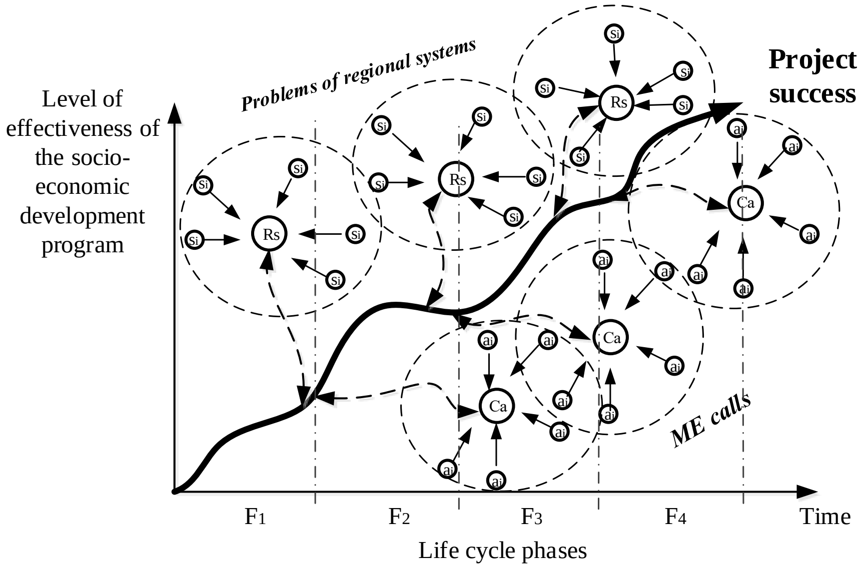


Fig. 3. Converged model of hybrid management of projects of socio-economic development of territories by means of identifying the main challenges and problems in the life cycle of the regional system,
where F_1 – initiation phase; F_2 – planning phase; F_3 – implementation phase; F_4 – launching phase.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

The model is based on the possible development of the project during the life challenge on the way to success. The model is built in the system of ordinates of the project life cycle time and the level of efficiency of the program of socio-economic development of the territorial development project. The hybrid impact of the project environment forms the problems of system functioning in the context of the regional component of project implementation and the impact of challenges of adaptation of the project and program management system. The regional component of implementation includes: features of the territory, turbulent environment, thermo-historical component, socio-economic component, etc. We describe the regional component of the expression (6).

$$Rs \Rightarrow [Sp]\text{, at this } Rs \in (s_i; s_{in}; s_{in+1})\text{,} \qquad (6)$$

where *Rs* – problems of regional systems; *Sp* – success of the project of socio-economic development of territories by identifying the main challenges and problems in the life cycle of the regional system.

Taking into account the challenges that arise in the life cycle of the implementation of programs of development projects in the conditions of hybrid management, we write the dependence (7),

$$Ca \Rightarrow [Sp]\text{, at this } Ca \in (a_i; a_{in}; a_{in+1})\text{,} \qquad (7)$$

where *Ca* – the process of influencing the challenges of applying the provisions of the methodology of project and program management and their transformation into a process of hybrid project management of socio-economic development. It should be taken into account that the intensity of the impact of factors Rs or Ca success curve of the project will change throughout the life cycle and will form the appropriate level of effectiveness of the program of socio-economic development. Quantitative indicators of Si and Ca values will depend on both the regional features of the project implementation and the parameters of the convergence factor, and at different stages they will interact within 1 block of the process, or 2 or more at the same time.

Conclusions

The informational and literary analysis of current trends in the implementation of complex programs of socio-economic development projects in Ukraine showed the ineffectiveness of existing project management methodologies associated with the lack of mechanisms for hybrid project management based on convergence.

A convergent model of hybrid management of projects of socio-economic development of territories by means of identification of the main challenges and problems in the life cycle of the regional system is developed, and takes into account indicators of success of projects in the program based on analysis of best practices of project management.

References

1. Bushuiev, D., Kozyr, B. (2020), "Hybrid infrastructure project management methodologies", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (11), P. 35–43. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.035
2. Kozyr, B. (2019), "Hybrid methodologies for infrastructure project management" ["Hibrydni metodolohii upravlinnia infrastrukturnymy proektamy"], *Project management and production development*: Zb. nauk. pr. Luhansk : vyd-vo SNU im. V. Dalia (Sievierodonetsk), No. 2 (70), P. 113–122.
3. Bushueva, N. S., Kozyr, B. Iu., Zapryvoda, A. A. (2020), "Layered Hybrid Infrastructure Program Management" ["Mnohourovnevoe hybrydnoe upravlenye ynfrastrukturnymy prohrammamy"], *Scientific Journal of Astana IT University*, Vol. 2, P. 71–86. DOI: https://doi.org/10.37943/AITU.2020.20.47.007
4. Bushuiev, S. D., Kozyr, B. Iu. (2020), "Hybridization of infrastructure project and program management methodologies" ["Hibrydyzatsiia metodolohii upravlinnia infrastrukturnymy proektamy ta prohramamy"], *Bulletin of Odessa National Maritimeuniversity*, Vol. 1 (61), P. 187–208. DOI: https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-5-26
5. Sydorchuk, O. V., Ratushnyi, R. T., Sydorchuk, L. L. (2015), "Methodological principles of hybrid project management" ["Metodolohichni zasady upravlinnia hibrydnymy proektamy"], *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*: zb. nauk. Prats, No. 1 (1110), P. 66–71, available at : http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntux_ctr_2015_1_10
6. Sydorchuk, O. V., Ratushnyi, R. T., Sivakovska, O. M., Sheleha, O. V. (2014), "Identification and features of hybrid project management" ["Identyfikatsiia ta osoblyvosti upravlinnia hibrydnymy proektamy"], *Project management, systems analysis and logistics. Series: "Technical Sciences"*, Kyiv, NTU, Vol. 14, No. 1, P. 216–220, available at : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2014_14%281%29__27
7. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S., Neyzvestnyi, S. Y. (2012), "Mechanisms of convergence of project management methodologies" ["Mekhanyzmy konverhentsyy metodolohyi upravlenyia proektamy"], *Management of the development of complex systems*, Vol. 11, P. 5–13.
8. "International Competence Baseline, International Project Management Association" (2010), version 3.0, IPMA.
9. Yaroshenko, F. A., Bushuev, S. D., Tanaka, Kh. (2012), "Management of innovative projects and programs based on the P2M knowledge system: Monograph" ["Rukovodstvo ynnovatsyonnymy proektamy y prohrammamy na osnove systemy znanyi R2M: Monohrafyia"], Kyiv : Sammyt-Knyha, 272 p.
10. Bushuev, S. D. Neyzvestnyi, S. Y., Kharytonov, D. A. (2013), "System model of convergence mechanisms in project management" ["Systemnaia model mekhanyzmov konverhentsyy v upravlenyy proektamy"], Management of the development of complex systems, Vol. 13, P. 12–18, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss_2013_13_5
11. Zachko, O. B., Rak, Yu. P., Rak, T. Ye. (2008), "Approaches to the formation of a portfolio of projects to improve the life safety" ["Pidkhody do formuvannia portfelia proektiv udoskonalennia systemy bezpeky zhyttiediialnosti"], *Project management and production development*: Zb. nauk. pr., Luhansk : vyd-vo SNU im. V. Dalia, No. 3 (27), P. 54–61, available at : http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/27/08zobsbg.pdf

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2524-2296 (online*

12. Zachko, O. B. (2015), "Theoretical approaches to safety management in projects for the development of complex systems" ["Teoretychni pidkhody do upravlinnia bezpekoiu v proektakh rozvytku skladnykh system"], *Management of the development of complex systems*, No. 22, P. 48–53, available at: http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/27/08zobsbg.pdf
13. Zachko, O. B. (2015), Methodology of safety-oriented project management of complex systems (on the example of civil protection [Metodolohiia bezpeko-oriientovanoho upravlinnia proektamy rozvytku skladnykh system (na prykladi tsyvilnoho zakhystu)] : avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.13.22, Kyiv. nats. un-t bud-va ta arkhitektury, Kyiv, 43 p.
14. Kobylkin, D. S., Ustilovsky, Ja. V. (2014), "Office project-oriented management of System 112 to ensure the state of environmental safety" ["Ofisne proektno-oriyentovane upravlinnya Systemoyu 112 dlya zabezpechennya stanu ekolohichnoyi bezpeky"], *Sustainable Development 2013 - scientific debut: coll. Articles*, Warsaw : Higher School of Management, P. 117–128, available at: https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/1799
15. Kobylkin, D. S., Burak, N. Ye. (2017), "Formalization of the process of formation the influence of factors in projects of protection the objects with mass stay of people" ["Formalizatsiya protsesu formuvannya vplyvu chynnykiv v proektakh zakhystu ob″yektiv z masovym perebuvannyam lyudey"], *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, No. 16, P. 48–52, available at : https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/4653
16. Boyd, B., Henning, N., Wang, D., Welch, M. (2010). *Hybrid organizations*, Sheffield, UK : Greenleaf, available at : https://books.google.com.ua/books?hl=en&lr=&id=6Kk0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&ots=nCS3JNcqce&sig=NE5_oBWAMlcXiaIZNVMNWwrXfXI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
17. Wallis, J. (2012), "A Liberal-Local Hybrid Peace Project in Action? The Increasing Engagement between the Local and Liberal in Timor-Leste", *Review of International Studies*, Vol. 38, No. 4, P. 735–761, available at : https://www.jstor.org/stable/41681488?seq=1
18. Pache, A.-C., Santos, F. (2012), "Inside the Hybrid Organization: Selective Coupling as a Response to Competing Institutional Logics", *Academy of Management Journal*, Vol. 56, No. 4, available at : https://journals.aom.org/doi/full/10.5465/amj.2011.0405

Received 30.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Зачко Ірина Григорівна – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, здобувач, Львів, Україна; email: irynazachko@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8846-8828.

Зачко Ирина Григорьевна – Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, соискатель, Львов, Украина.

Zachko Iryna – Lviv State University of Life Safety, Researcher, Lviv, Ukraine.

Івануса Андрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Львів, Україна; email: ivaaanusa@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9141-8039.

Ивануса Андрей Иванович – кандидат технических наук, доцент, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, доцент кафедры права и менеджмента в сфере гражданской защиты, Львов, Украина.

Ivanusa Andriy – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Lviv State University of Life Safety, Associate Professor of the Department of Law and Management in the Field of Civil Protection, Lviv, Ukraine.

Кобилкін Дмитро Сергійович – кандидат технічних наук, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Львів, Україна; email: dmytrokobylkin@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2848-3572.

Кобылкин Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, доцент кафедры права и менеджмента в сфере гражданской защиты, Львов, Украина.

Kobylkin Dmytro – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Lviv State University of Life Safety, Associate Professor of the Department of Law and Management in the Field of Civil Protection, Lviv, Ukraine.

ГІБРИДНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ПРОЄКТІВ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗАСОБАМИ МЕХАНІЗМІВ КОНВЕРГЕНЦІЇ

Постановка проблеми. Реалізація програм проєктів соціально-економічного розвитку територій України відбувається неефективно, з перевитратами бюджету та завершенням не у встановлений час. Це пов'язано з використанням реактивних методологій управління проєктами, що не враховують складність реалізації проєктів, турбулентність проєктного оточення. Відсутність гібридних механізмів управління програмами проєктів соціально-економічного розвитку територій на основі конвергенції різних методів управління проєктами є невирішеною проблемою. Реалізація програм проєктів соціально-економічного розвитку відбувається з використанням механізмів фінансового регулювання територій на основі моделі "реципієнт-донор". Тому розроблення механізмів гібридного управління програмами проєктів соціально-економічного розвитку територіальних систем на основі конвергенції ключових методів проєктного менеджменту є актуальною науковою задачею. **Мета.** Мета роботи полягає у розробці механізмів гібридного управління програмами проєктів соціально-економічного розвитку регіонів України з використанням інструментів фінансового регулювання, публічно-приватного партнерства та конвергенції цих механізмів. **Методи.** У роботі використано методи гібридизаці та конвергенції методологій управління проєктами. **Результати.** На підставі досліджень доведено, що реалізація програм проєктів соціально-економічного розвитку територій, потребує застосування різних компонент проєктного менеджменту, шляхом гібридизації та конвергенції. Розширено термінологічну базу управління проєктами шляхом введення нових означень "гібридне управління програмою проєктів соціально-економічного розвитку територій", "конвергенція механізмів управління проєктами". Формалізовано процеси управління програмами проєктів соціально-економічного розвитку територій, на основі моделі "реципієнт-донор". **Висновки.** Проведений аналіз сучасних тенденцій реалізації складних програм проєктів соціально-економічного розвитку засвідчив неефективність діючих методологій проєктного менеджменту, повязаних з відсутністю механізмів гібридного управління проєктами на основі конвергенції кращик практик управління програми проєктів територіального розвитку. Розроблено конвергентну модель гібридного управління проєктами соціально-економічного розвитку територій засобами ідентифікації основних викликів та проблем в життєвому циклі регіональної системи, що враховує індикатори успіху проєктів в програмі на основі аналізу кращих практик проєктного менеджменту.

Ключові слова: гібридне управління; конвергенція; програма; проєкти соціально-економічного розвитку; механізми управління; територіальні системи.

ГИБРИДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММАМИ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ МЕХАНИЗМОВ КОНВЕРГЕНЦИИ

Постановка проблемы. Реализация программ проектов социально-экономического развития территорий Украины происходит неэффективно, с перерасходами бюджета и завершением не во установленное время. Это связано с использованием реактивных методологий управления проэктам, не учитывают сложность реализации проектов, турбулентность проектно окружения. Отсутствие гибридных механизмов управления программами проектов социально-экономического развития территорий на основе конвергенции различных методов управления проэктам является нерешенной проблемой. Реализация программ проектов социально-экономического развития происходит с использованием механизмов финансового регулирования территорий на основе модели "реципиент-донор". Поэтому разработка механизмов гибридного управления программами проектов социально-экономического развития территориальных систем на основе конвергенции ключевых методов проектно менеджмента является актуальной научной задачей. **Цель.** Цель работы заключается в разработке механизмов гибридного управления программами проектов социально-экономического развития регионов Украины с использованием инструментов финансового регулирования, государственно-частного партнерства и конвергенции этих механизмов. **Методы.** В работе использованы методы гибридизаци и конвергенции методологий управления проэктам. **Результаты.** На основании исследований доказано, что реализация программ проектов социально-экономического развития территорий, требует применения различных компонент проектно менеджмента, путем гибридизации и конвергенции. Расширен терминологическую базу управления проэктам путем введения новых определений "гибридное управление программой проектов социально-экономического развития территорий", "конвергенция механизмов управления проэктам". Формализована процессы управления программами проектов социально-экономического развития территорий на основе модели "реципиент-донор". **Выводы.** Проведенный анализ современных тенденций реализации сложных программ проектов социально-экономического развития показал неэффективность действующих методологий проектно менеджмента, связанных с отсутствием механизмов гибридного управления проэктам на основе конвергенции кращик практик управления программы проектов территориального развития. Разработан конвергентную модель гибридного управления проэктам социально-экономического развития территорий средствами идентификации основных вызовов и проблем в жизненном цикле региональной системы, учитывающей индикаторы успеха проектов в программе на основе анализа лучших практик проектных менеджмента.

Ключевые слова: гибридное управление; конвергенция; программа; проекты социально-экономического развития; механизмы управления; территориальные системы.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Зачко І. Г., Івануса А. І., Кобилкін Д. С. Гібридне управління програмами проєктів розвитку територіальних систем засобами механізмів конвергенції. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 40–46. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.040

Zachko, I., Ivanusa, A., Kobylkin, D. (2020), "Hybrid management of programs of territorial systems development projects by means of convergence mechanisms", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 40–46. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.040

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2522-9818 (print)* *ISSN 2524-2296 (online*

УДК 681.3.06 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.047

Д. О. Золотарьов

РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНИХ ОБЧИСЛЕНЬ НА БАЗІ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Стаття присвячена теоретичному дослідженню та розробці розподіленої системи автоматизованих обчислень та аналізу на базі хмарної інфраструктури. **Предметом** дослідження є теоретичні та практичні засади побудови систем автоматизованих розрахунків та аналізу, що засновані на клієнт-серверній архітектурі у розподіленій інфраструктурі на базі хмарних технологій. **Метою** статті є розробка та обгрунтування практичних рекомендацій щодо формування інфраструктури системи автоматизованих обчислень, вибору її складових елементів та їх компонентів. **Завдання** роботи: виявити необхідні структурні елементи системи автоматизованих обчислень та надати для кожного з них аналіз складових компонентів та функціонального навантаження, поставити конкретні задачі для побудови кожного із них та обгрунтувати вибір інструментів для їх вирішення. У ході дослідження використано **методи** системного аналізу для декомпозиції складної системи на елементи та кожного елемента на функціональні компоненти. У результаті дослідження встановлено, що інфраструктура системи має складатися з: єдиних ініціатора обчислень та центра обчислень, каналів зв’язку із клієнтами, та кінцевими клієнтами, що обробляють результати. Уся система має працювати у реальному або близькому до реального часі, що має бути досягнуто через обробку подій операційної системи та зовнішніх сервісів. Канали зв’язку мають бути максимально універсальними та надавати широкі можливості клієнтам для доступу до даних. Кінцеві клієнти мають бути двох типів: повноцінні для гнучкої та індивідуальної обробки даних, та спрощені для інтегрованого середовища узагальненої обробки даних у мобільному або десктопному браузері. За отриманими рекомендаціями розроблений один із варіантів такої системи, показані принципи його роботи та наведені результати. **Висновки.** Розроблені теоретичні та практичні основи для реалізації систем розподілених автоматизованих обчислень та аналізу на базі хмарних технологій. Показано підвищення надійності збереження результатів моделювання у такій системі через їх потрійне дублювання завдяки: локальному сховищу, використанню зовнішніх бази даних та файлового сервісу. Надані доводи щодо підвищення зручності та гнучкості у обробці результатів через можливість використання сторонніх аналітичних додатків, що підтримують завантаження даних із таких джерел. Показана економічна вигода від використання описаної системи. Наведені майбутні шляхи її вдосконалення.

Ключові слова: хмарні технології; розподілена інфраструктура; хмарні автоматизовані обчислення; економія ресурсів та коштів; ітераційні алгоритми; Mathematica.

Вступ

Досягнення сучасної прикладної науки є значною мірою результатом роботи колективів вчених, дослідників та інженерів, часто міждисциплінарних. Приміром такої взаємодії можуть служити роботи поточного року [1-7], у кожній з яких приймала участь значна кількість спеціалістів, що належали не тільки до різних організацій, а й часто до різних напрямків досліджень. Наочно видно, що отримання цих результатів стало можливим тільки завдяки міжпрофесіональній кооперації.

Особливістю такої взаємодії є те, що кожен використовує звичні у його області інструменти розробки, дослідження та аналізу, що важко поєднати у одну систему. Тому під час важливих або довготривалих досліджень у такій групі, щоб організувати роботу, розроблюються або впроваджуються спеціалізовані системи взаємодії для передачі результатів між учасниками. Ці системи часто створюються організаціями під конкретні задачі і тому для кожного випадку будуть відрізнятися в силу більшої різниці у задачах команд та їх структурі.

Крім того у сьогоднішніх умовах люди, що беруть безпосередню участь у командних дослідженнях, можуть бути як розподілені по світу, в тому числі за часовими поясами, так і знаходитись у одному місті але без можливості бути разом із іншими учасниками. Щоб організувати їх комфортну взаємодію також розроблюються аналогічні системи, що дозволяють обмінюватися результатами досліджень у автоматичному режимі у реальному або близькому до реального часі.

Задачі, що стоять перед такими командами можуть мінятися, а з ними змінюється й розроблена система, що призводить до витрат коштів на невиробничі процеси.

Розвиток та вдосконалення хмарних IaaS технологій дозволяє підійти до вирішення цієї задачі з іншого боку – не купувати та володіти дорогою технікою для побудови інфраструктури та елементів системи, а орендувати її на потрібний час у потрібному об’ємі із потрібними ресурсами. У разі зміни потреб така інфраструктура і ресурси кожного елементу можуть бути змінені за лічені хвилини. Собівартість володіння нею є, вочевидь, значно меншою та приносить найбільшу економію коштів у разі частої зміни задач, що спричиняють істотну зміну конфігурації інфраструктури, або при нерегулярному її використанні через можливість виключення як інфраструктури цілком так і окремих її елементів.

Увага цієї статті приділена проблемі побудови системи автоматизованих обчислень для випадку використання ітераційних алгоритмів програми [8-11] із одним ініціатором обчислень із використанням у якості обчислювального центру ядра математичного процесору Wolfram Mathematica [12] на базі хмарного IaaS сервісу, що враховує таку важливу складову для віддаленого виконання як автоматизований нагляд за процесом розрахунків із миттєвим сповіщенням та розраховану на використання максимально широкого спектру кінцевих клієнтів, кожен з яких повинен мати змогу автоматичної обробки результатів обчислення у близькому до

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

реального часі.

Метою цієї статті є розробка та обґрунтування практичних рекомендацій щодо формування інфраструктури такої системи, вибору її складових елементів та їх компонентів. Завдання – виявити необхідні її структурні елементи та надати для кожного з них аналіз складових компонентів та функціонального навантаження, поставити конкретні задачі для побудови кожного із них та обґрунтувати вибір інструментів для їх вирішення.

Ітераційні алгоритми обрані через те, що їх особливістю є "природна" здатність до збереження стану після закінчення кожної ітерації – результати усіх раніше обчислених ітерацій можна зберігати та завантажувати, тим самим повністю відновлювати збережений стан програми для певного кроку алгоритму. Неітераційні алгоритми, що здатні зберігати свій стан та результати проміжних обчислень для аналізу, також можуть бути використані.

Математичний процесор Wolfram Mathematica був обраний через внутрішню побудову за клієнт-серверною архітектурою: клієнт Mathematica та ядро WolframKernel, та платформонезалежність серверу.

Викладемо теоретичні основи для побудови такої системи та результат, що є одним із можливих варіантів її реалізації.

Складові системи автоматизованих обчислень

Для побудови системи автоматизованих обчислень ітераційними алгоритмами у Mathematica позначимо проблеми, що мають бути вирішені. Це будуть, по-перше, запуск на виконання програми у ядрі Mathematica єдиним ініціатором обчислень та автоматичний нагляд за коректною роботою ядра із сповіщенням ініціатора обчислень. По-друге, збереження та передача результатів до кінцевих клієнтів для обробки та автоматизація обробки на таких клієнтах.

Для розв’язання поставлених проблем сформулюємо задачі у вигляді характеристик елементів за направленнями.

Ініціатор обчислень має захищений мережевий доступ до центру обчислень, у автоматичному режимі зберігає документ Mathematica після кожного виводу проміжних результатів чи іншого.

Центр обчислень надає захищений мережевий доступ для ініціатора обчислень, має зовнішнє протоколювання роботи програми, миттєво сповіщає про збій у процесі обчислення, зберігає результати обчислення кожної ітерації, очищає займані ресурси комп’ютера після закінчення обчислень.

Канал зв’язку із клієнтами, що обробляють результати передає у близькому до реального часі результати обчислення кожної ітерації та протокол роботи програми до кінцевих клієнтів.

Клієнти обчислювальної системи, що обробляють дані у близькому до реального часі, мають можливість автоматичного аналізу у системі Mathematica, сторонніх додатках та платформо-незалежному середовищі.

Обрання хмарних технологій для обчислень мають наступні переваги: такий сервер може бути швидко розгорнутий, швидко змінена його конфігурація на ту, що задовольняє потребам поточної задачі, швидко клонований для паралельного обчислення декількох задач. У якості потужностей був обраний один із світових лідерів хмарних технологій DigitalOcean, де були розташовані: сервер обчислень із ядром Wolfram Mathematica 11.3.0 for Linux x86 (64-bit) [12] на базі ОС Ubuntu 20.04 LTS x64, сервер баз даних MySQL 8.0.20 Community Server на тій самій ОС, веб-сервер на базі Apache 2.4.29 (Ubuntu) та фреймворку Laravel 6 [14] на тій самій ОС.

Блок-схема системи автоматизованих обчислень показана на рис. 1.

Робота системи починається із підключення клієнта Mathematica на комп’ютері, що ініціює обчислення, до сервера обчислень та запуск програми у ядрі Mathematica на виконання.

Фоновий процес наглядача контролює роботу ядра та у разі його аварійної зупинки відправляє сповіщення на e-mail ініціатора обчислень та у приватну групу Slack, до якої мають доступ усі зацікавлені особи.

Після виконання обчислення кожної ітерації її результати зберігаються у спеціально виділений локальній директорії на сервері обчислень, а фоновий процес файлового наглядача їх у реальному часі автоматично завантажує, по-перше, у спеціально виділену директорію на сервері Dropbox через web-API, по-друге, у виділену базу даних на MySQL-сервері. Аналогічним образом проходить завантаження протоколу роботи програми – лог-файлів.

Обробка та візуалізація процесу обчислень у близькому до реального часі на клієнтських комп’ютерах реалізується двома шляхами: по-перше, через клієнт Mathematica або інший аналітичний додаток, що обробляє файли, отримані із Dropbox у локальну директорію комп’ютера, по-друге, через браузер, що підключається до веб-серверу, що з’єднуються із сервером бази даних.

Через мульти-клієнтну архітектуру, що від самого початку присутня у веб-сервері, кількість клієнтів, що підключаються через браузер, обмежена лише потужністю сервера та може бути підвищена за потреби. Крім того, й кількість веб-серверів, що підключається до єдиної бази даних теж обмежується тільки потужністю останньої.

Для клієнтів, що під’єднуються через сервіс Dropbox, не обмежена не тільки кількість подібних комп’ютерів-клієнтів, але й кількість запущених додатків, що можуть оброблювати паралельно ті ж самі дані різними способами.

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online

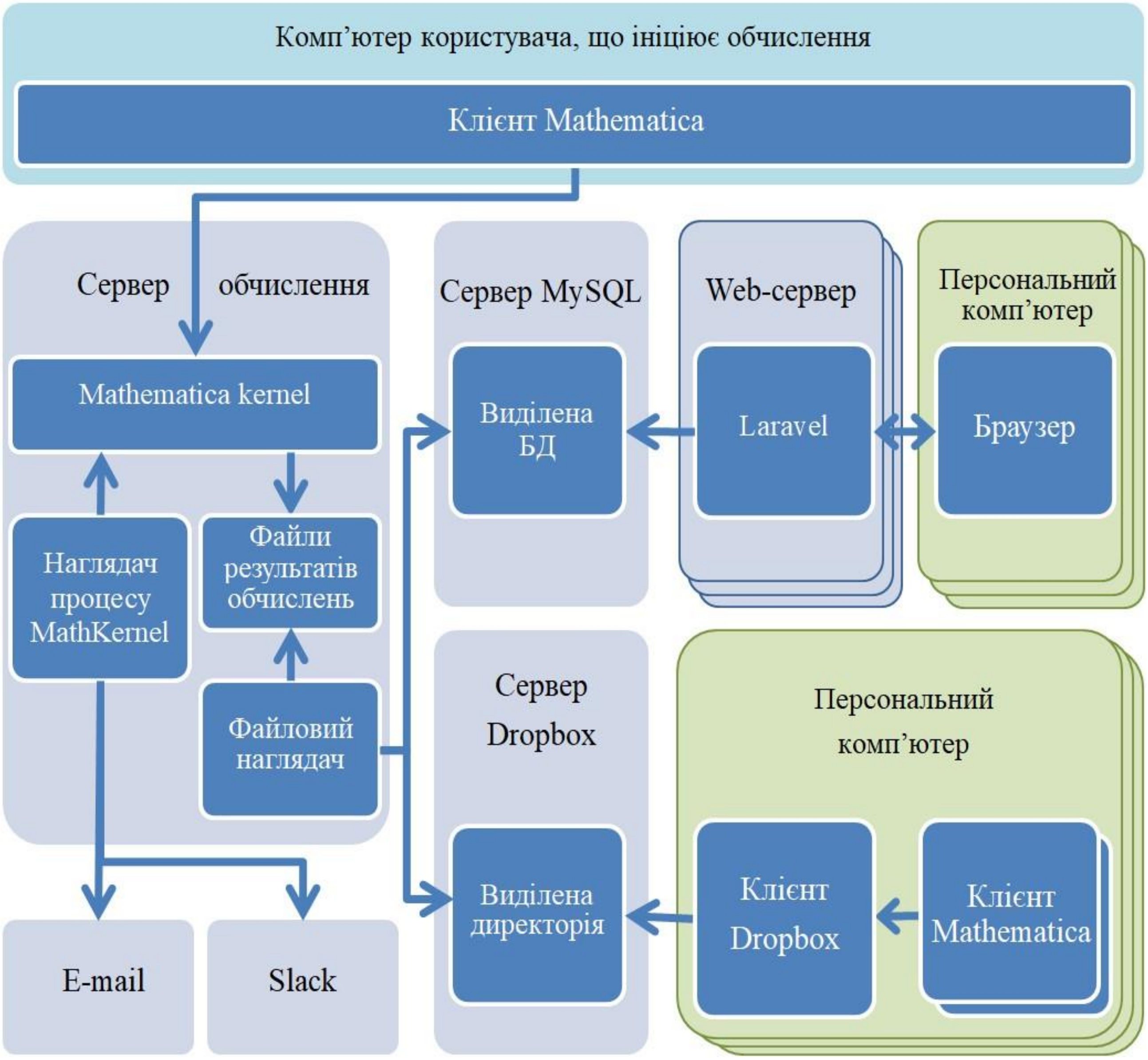


Рис. 1. Декомпозиція системи автоматизованих обчислень на структурні елементи

Розглянемо далі кожний елемент системи докладніше.

1. Ініціатор обчислень

Має мережевий доступ через ssh-канал до центру обчислень із використанням ключів асиметричного шифрування, що гарантують повну безпечність передачі команд та прийняття результатів від сервера обчислень.

Через те що під час роботи програма Mathematica виводить у свій документ результати виконання різних операцій: обчислення, протокол роботи, графіки, проміжні значення змінних і таке інше, – щоб уникнути їх втрати у разі збою включене автоматичне збереження файлу одним з двох способів:

- за допомогою установки опції документа NotebookAutoSave [13] у значення True наступною конструкцією: SetOptions[EvaluationNotebook[], NotebookAutoSave -> True],
- через ручне збереження за допомогою NotebookSave [13] у місцях програми обраних користувачем.

Перший спосіб зберігає файл після кожної зміни та підходить для випадків невеликої частоти зміни документа. Якщо ж програма генерує багато виводу у документ, то такий підхід може істотно її сповільнити. У такому разі рекомендується використовувати другий спосіб, та зберігати документ кожний раз після виводу важливого пакету результатів обчислень, наприклад, після кожної ітерації або кроку алгоритму.

2. Сервер обчислень

Надає клієнтам захищений мережевий доступ через ssh-канал, що використовує аутентифікацію виключно за ключами асиметричного шифрування. Це запобігає випадкам втрати або загублення паролів доступу, або неправомірному доступу через їх крадіжку.

Впровадження протоколювання (логування) у програму переслідує дві мети: виявити поточний крок

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

виконання алгоритму й визначити час і місце помилки у випадку збою в роботі або при аварійному завершенні. Під зовнішнім протоколюванням слід розуміти запис у таке сховище даних, що не залежить від програми обчислення: сторонній файл, база даних, Elasticsearch, інший комп'ютер і таке інше.

Для побудови такого механізму обраний варіант запису у файл через те, що такий спосіб достатньо надійний, підтримує легке дублювання, та не потребує необґрунтованого ускладнення системи. У назву файлу включено дату й час із точністю до годин, на момент здійснення запису: : "log_" + дата у форматі "Рік.Місяць.День_Години" + розширення "txt". Це означає, що кожен час створюється новий лог-файл, та запис переноситься до нього. Така назва унікальна у рамках директорії, а файли із назвою у такому форматі дати легко сортувати та шукати серед них потрібний. Із функціональної точки зору це дає можливість кожен час видаляти або переносити в архів старий лог-файл для аналізу та наочно бачити, що програма працює, дивлячись у директорію протоколювання роботи.

Лог-файл відкривається програмою для дозапису у режимі спільного доступу (read shared mode), що дає змогу читати цей файл сторонніми додатками для аналізу під час запису. У цьому файлі зберігаються:

- час події с точністю до мілісекунд,
- назва події,
- інформація про успішність її запуску або завершення.

Потрібно звернути увагу на важливість запису про успішність кожного етапу події окремим рядком, а не пакетний запис про всю подію цілком – у противному випадку при серйозному збої рядок про всю подію може зовсім не записатися у лог-файл, тим самим розширюючи область пошуку помилки для розробника.

Текст кодується у UTF8, тому що це дозволяє зберігати разом із звичайними символами також спеціальні, що часто полегшує читання для науковця. Програма у Mathematica налаштована таким чином, що додає кожний рядок у форматі StandardForm, випереджаючи його датою й часом у форматі "дд-мм-рррр чч:хх:сс.мс". Формат StandardForm гарантує, що усі символи будуть друкованими та серед них не буде службових даних, що відносяться до внутрішнього формату Wolfram Mathematica.

Збереження результатів виконання кожної ітерації переслідує дві мети: захистити вже отримані результати обчислень від збоїв при обчисленні наступних, та створити можливість ручної зупинки й запуску програми у довільний момент часу, а також поновлення її роботи після аварійного збою. Що також підвищує відмовостійкість програми в цілому. У загальному випадку, зберігання результатів у зовнішній пам'яті також дозволяє без труднощів переносити результати (частково або всі) і продовжувати виконання програми на інших комп'ютерах.

Експортування проводиться зразу двома шляхами: функцією DumpSave [13] – у файл дампу для найшвидшого зворотного завантаження у Mathematica, та функцією Export [13] – у текстовому форматі для обробки сторонніми додатками. Результати кожної ітерації записуються до окремого файлу, а не додаються у один (у кінець). У останньому випадку збій під час запису до файлу зробить його не придатним до використання, крім того файл дампу може бути створений лише один раз в силу своєї природи та не може бути модифікований, лише перезаписаний знову. Треба зазначити, що за потреби експортувати можна також і в інші платформо-незалежні формати, що підтримуються функцією Export.

Механізм збереження повинен заздалегідь підтримувати автоматичне розділення за значеннями вхідних параметрів обчислень, щоб уникнути плутанини. Це досягається за допомогою створення виділеної директорії для конкретної задачі, назва якої містить значення параметрів обчислень, де перебувають папки з лог-файлами, результатами ітерацій, загальними результатами, експортованими графіками й тому подібне. Крім того рекомендується надати користувачеві можливість зсередини програми додавати в кінець назви директорії коротку строку деякої службової інформації: про тип майбутніх обчислень, додаткові характеристики і таке інше. З практики [15], найменування вигляду "Param1Val1_Param2Val2_..._AdditionalStr" зручне для класифікації результатів обчислень однією програмою однієї задачі із різними вхідними параметрами.

Миттєве сповіщення про збій у процесі обчислення. Виконання програми у ядрі Mathematica часто перевищує декілька годин та навіть днів. Під час обчислень ядро може аварійно завершитись: через нестачу оперативної пам'яті, внутрішнього збою у алгоритмах Mathematica, збою у роботі мережі та іншого. У такому разі зручно мати механізм автоматичного сповіщення про таку ситуацію. Контролювати це зсередини матпакету неможливо, бо ядро – основний його центр обробки команд користувача, і майже всі операції проходять за його участі. Тому розроблено сторонній додаток на базі bash-скриптів автоматичного реагування на запуск та закриття ядра Mathematica – процесу WolframKernel. Його ідея складається з додавання фонової задачі, що:

- при запуску ядра однократно створює файл "~/mathkernel.run", що містить PID процесу WolframKernel отриманий командою "pgrep WolframKernel", та відправляє сповіщення на e-mail та у Slack [16],
- при завершенні усіх ядер видаляє цей файл та відправляє інше сповіщення на e-mail та у Slack.

Для відправки e-mail використовується Mailutils 3.7, для відправлення сповіщення у Slack – створений додаток у Slack та розроблений bash-скрипт для роботи із його веб-API.

Важливим зауваженням є те, що до одного серверу одномоментно підключається тільки один клієнт-ініціатор, програма якого у процесі виконання може запускати декілька ядер для паралельних обчислень. Тому сигналом аварії служить закриття

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online

усіх процесів ядра, а PID використовується для однозначного визначення кореневого процесу.

Очистка займаних ресурсів після закінчення програми. Наприкінці роботи програми закривається ядро Mathematica, щоб звільнити оперативну пам'ять для інших додатків на сервері. Для цього служить функція Quit [13], що підтримує повернення коду завершення оточенню через свій аргумент. При закритті ядра губляться всі визначення функцій і даних, які в ньому були, і не були збережені в зовнішній пам'яті чи поточному документі Mathematica.

3. Канал зв'язку із клієнтами, що обробляють результати

Для аналізу та обробки результатів обчислення ітерацій додатками на сторонніх комп'ютерах файли цих результатів повинні зберігатися на:

- носії, доступному зовні (з мережі LAN тощо),
- іншому комп'ютері у мережі LAN, зовнішньому сервісі тощо.

Перший варіант є більш стабільним, надійним та прозорим для додатка, бо логічно та фізично він не відрізняється від зберігання у звичайній, недоступній зовні, директорії. Другий – більше підходить при великій кількості звернень до результатів обчислень із сторонніх комп'ютерів. Логічно він також не відрізняється для додатка, але фізично значно складніший і через це більш ненадійний. Але він дає можливість зберігши один раз результати обчислення зовні, обробляти їх різними аналітичними та статистичними програмними комплексами, не турбуючи обчислювальний додаток та розвантажити сервер від звернень із мережі. Також останній варіант дає більшу гарантію збереження даних при фізичній аварії.

При побудові системи використаний гібридний підхід – дані та протоколи роботи зберігаються локально без доступу із зовнішніх систем. Спеціально створений додаток на базі bash-скриптів:

- дублює їх у сховище Dropbox через web-API,
- додає їх вміст після розбору (парсингу) до бази даних MySQL на сторонньому сервері.

Автоматичне виявлення появи нових файлів засноване на службовому системному додатку inotifywait [17], що при генеруванні системою події закінчення запису до файлу та його закриття запускає вище описану обробку. Ключова частина скрипту, що відповідає за обробку події, наступна: inotifywait -m -r -q --format "%f" -e close_write "$DIR" | while read FILE, де "$DIR" – шлях до директорії для наглядання.

Коли обчислення однієї ітерації займає значний час у додатку є можливість включити відправлення сповіщення у Slack після кожного додавання файлу у директорію результатів ітерацій, що дозволяє кожній зацікавленій особі бачити прогрес розрахунку. Але таку можливість не рекомендується використовувати, якщо час обчислення ітерації менше 15 хвилин, бо повідомлення приходять дуже часто та не мають сенсу.

Переваги використання сервісу Dropbox для дублювання результатів обчислень та файлів протоколу роботи у порівнянні із використанням свого власного серверу для розробленої системи наступні:

- синхронізація із пристроєм користувача проходить автоматично у фоні та майже миттєво, при цьому формується локальна незалежна копія даних, що завжди зберігається, а звернення до неї не навантажують сервер обчислення та сервер Dropbox,
- для доступу потрібен лише додаток Dropbox або браузер на смартфоні, планшеті, ноутбуці, комп'ютері тощо.

4. Клієнти обчислювальної системи, що обробляють дані

Засновані на використанні каналів зв'язку, що описані вище, і як наслідок, здійснюють аналіз результатів обчислень кожної ітерації одним з двох шляхів, кожен з яких має як свої переваги так і недоліки.

Перший – на персональному комп'ютері із ОС Windows 10 із підключеною директорією Dropbox, через однойменний клієнт, у якості віддаленою директорії та Wolfram Mathematica 8, що при появі нових файлів у ній читає їх та обробляє. Безпека базується на вбудованих можливостях клієнту Dropbox.

Його переваги очевидні: доступ до всіх вбудованих аналітичних функцій математичного процесору, різноманітні засоби обробки та аналізу, зміна алгоритмів обробки та аналізу може бути проведена індивідуально та у будь-який час за побажанням користувача, можливість обробки будь-яким іншим програмним забезпеченням за побажанням користувача.

Недоліки: потрібне стороннє програмне забезпечення, а доступ до результатів такого аналізу є тільки на тому комп'ютері, де вони отримані.

Другий – розроблений веб-додаток, заснований на Laravel (версія мови програмування PHP 7.4), що оброблює запити на отримання веб-сторінок через браузер кінцевого користувача, та відповідає на API-запити для отримання та автоматичного оновлення даних через механізм ajax. Аутентифікація заснована на класичному підході: вхід за логіном та паролем, обробка із використанням cookie та сесій, протокол з'єднання HTTPS.

Його переваги: доступ є у кожного користувача, що має доступ, із будь-якої частини світу через будь-який пристрій, що має встановлений браузер, також відсутнє навантаження на клієнт на обробку даних – увесь аналіз проходить на веб-сервері.

Недоліки: дуже малий спектр аналітичних операцій, якими можливо оброблювати дані, у порівнянні із спеціалізованим математичним забезпеченням, а для обробки можуть бути використані тільки заздалегідь запрограмовані на веб-сервері алгоритми аналізу.

Окремо треба зупинитися на використаних технологіях та відмітити, що мова програмування PHP, фреймворк Laravel, СУБД MySQL обрані тільки через те, що під час розробки системи вони виявилися найбільш придатними за швидкістю розробки та

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

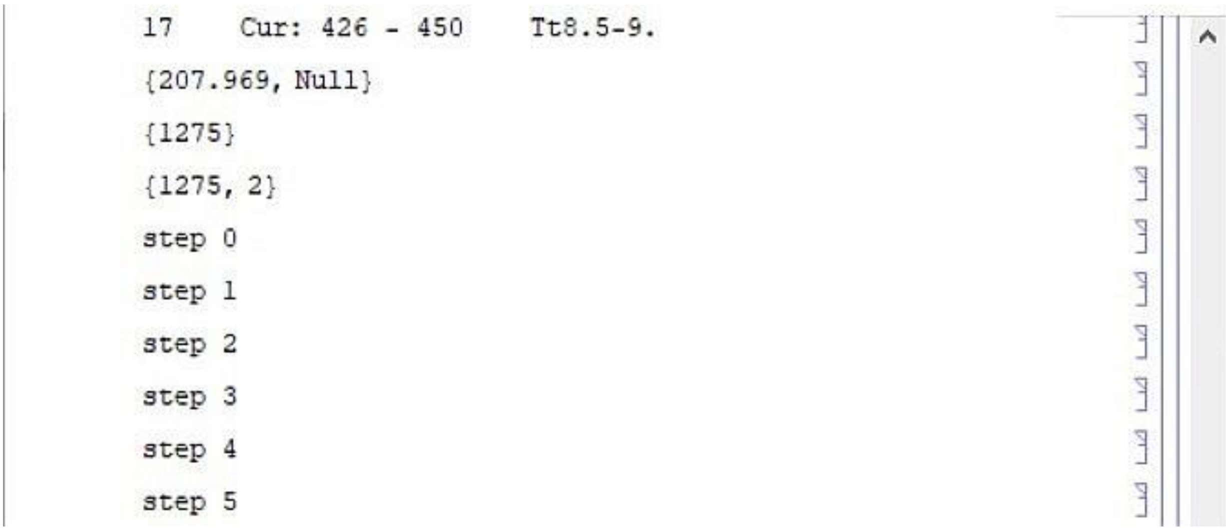
розгортання. Такого ж самого результату можна досягти будь-якими іншими аналогічними засобами.

Демонстрація роботи

Для демонстрації роботи побудованої системи обраний розрахунок задачі обчислення розповсюдження імпульсу Ейрі у одномірному плоскошаруватому середовищі методом апроксимуючих функцій [9]. Увесь процес обчислення ведеться для відрізку нормованого часу t=[0, 10] та нормованого простору x=[0, 1], кроком моделювання h=0.02.

Розглянемо обчислення ітерації №17 для відрізку часу t=[8.5, 9.0]. Це означає, що на попередніх ітерація для відрізку часу t=[0, 8.5] результати вже отримані, збережені локально та віддалено. Рисунки, що наведені нижче отримані у однаковий час.

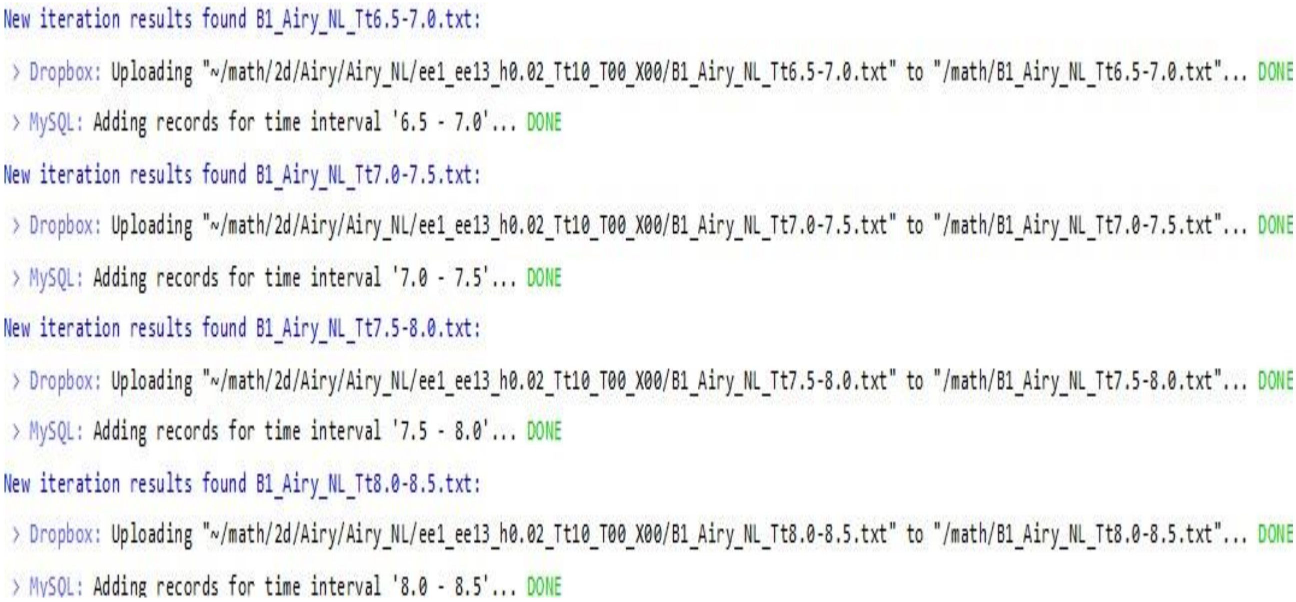
На клієнті-ініціаторі обчислення – вивід у документі Mathematica показаний на рис. 2. Такі ж саме строки записуються до файлу протоколу роботи.



```
17    Cur: 426 - 450    Tt8.5-9.
{207.969, Null}
{1275}
{1275, 2}
step 0
step 1
step 2
step 3
step 4
step 5
```

Рис. 2. Вивід у документі Mathematica на клієнті-ініціаторі обчислення

На сервері обчислення, що розташований у хмарному середовищі, у ssh-консолі у той же час буде наступний вивід, показаний на рис. 3. Видно, як файловий наглядач отримує сповіщення про створення нового файлу результатів ітерації, що має назву вигляду "B1_Airy_NL_Tt*.*-*.*.txt", де зірочки – це цифри, та автоматично завантажує їх до сервісу Dropbox разом із додаванням записів до бази даних. Аналогічним чином проходить обробка створення та зміни файлів протоколу роботи.



```
New iteration results found B1_Airy_NL_Tt6.5-7.0.txt:
 > Dropbox: Uploading "~/math/2d/Airy/Airy_NL/ee1_ee13_h0.02_Tt10_T00_X00/B1_Airy_NL_Tt6.5-7.0.txt" to "/math/B1_Airy_NL_Tt6.5-7.0.txt"... DONE
 > MySQL: Adding records for time interval '6.5 - 7.0'... DONE
New iteration results found B1_Airy_NL_Tt7.0-7.5.txt:
 > Dropbox: Uploading "~/math/2d/Airy/Airy_NL/ee1_ee13_h0.02_Tt10_T00_X00/B1_Airy_NL_Tt7.0-7.5.txt" to "/math/B1_Airy_NL_Tt7.0-7.5.txt"... DONE
 > MySQL: Adding records for time interval '7.0 - 7.5'... DONE
New iteration results found B1_Airy_NL_Tt7.5-8.0.txt:
 > Dropbox: Uploading "~/math/2d/Airy/Airy_NL/ee1_ee13_h0.02_Tt10_T00_X00/B1_Airy_NL_Tt7.5-8.0.txt" to "/math/B1_Airy_NL_Tt7.5-8.0.txt"... DONE
 > MySQL: Adding records for time interval '7.5 - 8.0'... DONE
New iteration results found B1_Airy_NL_Tt8.0-8.5.txt:
 > Dropbox: Uploading "~/math/2d/Airy/Airy_NL/ee1_ee13_h0.02_Tt10_T00_X00/B1_Airy_NL_Tt8.0-8.5.txt" to "/math/B1_Airy_NL_Tt8.0-8.5.txt"... DONE
 > MySQL: Adding records for time interval '8.0 - 8.5'... DONE
```

Рис. 3. Вивід у ssh-консолі файлового наглядача на сервері обчислень

Один з клієнтів, що обробляє результати обчислень має наступний фрагмент виводу у документі Mathematica, що наведений на рис. 4 – за допомогою розробленої функції будується графік вихідної хвилі (суцільна лінія) та отриманої при розрахунках (пунктирна лінія) на повній осі моделювання t=[0,10].

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online

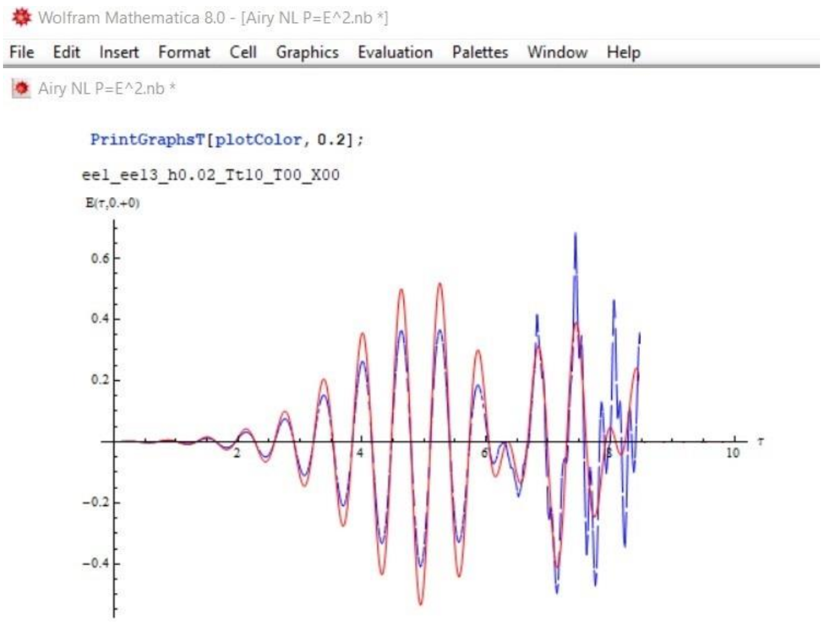


Рис. 4. Обробка результатів на клієнті у математичному процесорі Mathematica

Фрагмент виводу веб-клієнту, отриманий у браузері комп'ютера, наведений нижче на рис. 5: зверху – значення параметрів моделювання, ліворуч – протокол роботи, праворуч – графік модельованої функції.

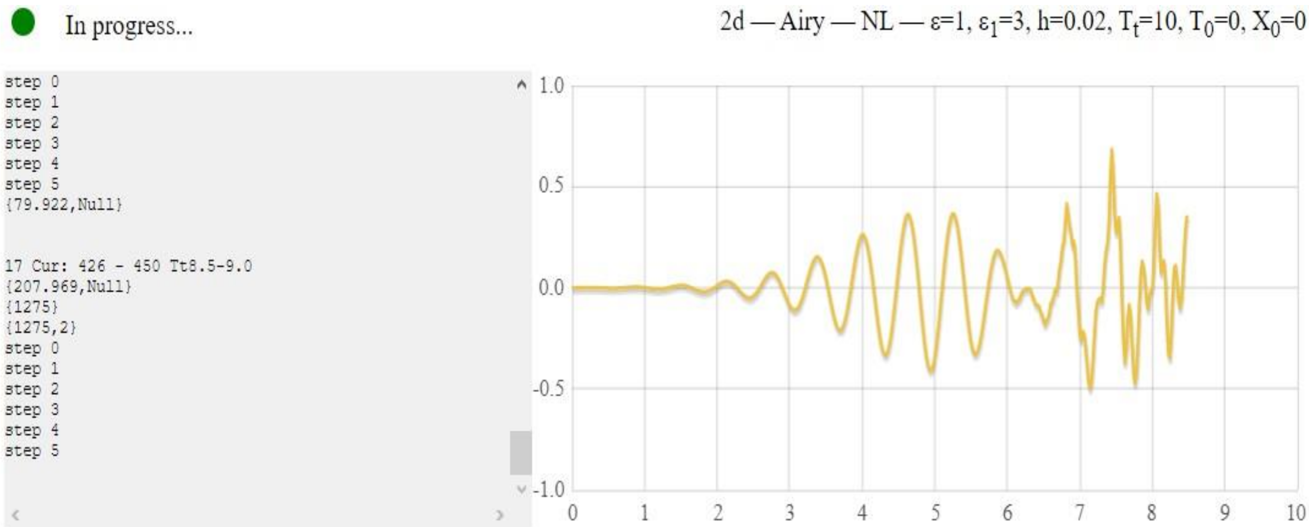


Рис. 5. Вивід оброблених на web-сервері результатів та протоколу роботи у браузері на клієнті

Перспективи подальшого розвитку системи

Перспективами подальшого розвитку розробленої системи бачяться наступні програмні вдосконалення. Підвищення безпеки збереження отриманих результатів, що відправляються на зовнішнє сховище у Dropbox, через попереднє шифрування асиметричними ключами. Для більш ретельного моніторингу роботи ядра Mathematica на сервері обчислень використовувати такий параметр як навантаження на центральний процесор.

Висновки

У роботі розроблені та обґрунтовані практичні основи для реалізації системи розподілених автоматизованих обчислень та аналізу на базі хмарної інфраструктури, що складається з: клієнта-ініціатора обчислень, центра обчислень на базі ядра математичного пакету Wolfram Mathematica, каналів зв'язку із клієнтами, що обробляють результати, із використанням файлового сервісу Dropbox, серверів бази даних та веб-серверу; та клієнтів, що аналізують та обробляють результати за допомогою матпакету Mathematica або інтегрованого середовища у браузері комп'ютера або смартфона.

Підходи, описані у статті, до формування системи дозволили, по-перше, підвищити надійність збереження результатів обчислення через їх потрійне дублювання: локальні файли на сервері обчислень, їх копії завантажені до сервісу Dropbox та записи на сторонній сервер бази даних. По-друге, аналізувати та

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

обробляти дані різними засобами та на різних серверах, що мають доступ до директорії у сервісі Dropbox або бази даних, та зробити паралельними всі процеси обробки результатів на кінцевих клієнтах, без побудування черги за пріоритетом та очікування. По-третє, налагодити комфортний для користувача дистанційний контроль процесу обчислень та реагування на збої в роботі ядра, та наглядати за прогресом та обробкою результатів через будь-який смартфон або планшет. Через ітераційний алгоритм програми стало можливим переривати обчислення у середині, якщо програма дає вочевидь невірні результати, не очікуючи її закінчення, що може економити від годин то тижнів в залежності від складності задачі.

Економічна вигода від використання описаної системи досягається завдяки максимальній автоматизації, що призводить до підвищення якості праці дослідників через мінімізацію невиробничого використання робочого часу. Завдяки використанню хмарних технологій собівартість володіння інфраструктурою системи є значно меншою у порівнянні із реальною технікою та зведена до часу реального її використання, а час та витрати на її модифікацію найменші. Найбільшу економію коштів описана система дасть при нерегулярному використанні або у разі частої зміни задач, що спричиняють істотну зміну конфігурації інфраструктури.

References

1. Jianhua Li, Jingyuan Wang, Yichao Teng, Zhiyong Xu & Jun Cheng (2020), "Broadband supercontinuum generation based on filled structural photonic crystal fibers with low incident optical power", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 52, No. 447. DOI: https://doi.org/10.1007/s11082-020-02570-8
2. Yingying Sun, Jin Zeng, Yejin Li, Peng Rao & Tingliang Hu (2020), "Compensation method for the image motion of a rotary-scan space camera", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 52, No. 502. DOI: https://doi.org/10.1007/s11082-020-02624-x
3. Linghong Jiang, Guoxu Zhang, Yiyang Zhang, Jinhong Zou, Chao Wang, Yuefeng Qi & Lantian Hou (2020), "A miniaturized and high-bandwidth polarization filter based on a plasmonic and liquid crystal offset core photonic crystal fiber", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 52, No. 409. DOI: https://doi.org/10.1007/s11082-020-02515-1
4. Raisa Mamtaz, Kawsar Ahmed, Bikash Kumar Paul, Md. Aslam Mollah, Mst. Nargis Aktar, Muhammad Shahin Uddin & Vigneswaran Dhasarathan (2020), "Design and FEM analysis of pentagonal photonic crystal fiber for highly non-linear applications", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 52, No. 455. DOI: https://doi.org/10.1007/s11082-020-02562-8
5. Zigang Li, Lulu Qiao, Jun Jiang, Ling Hong & Jian-Qiao Sun (2020), "Global dynamic analysis of the North Pacific Ocean by data-driven generalized cell mapping method", *International Journal of Dynamics and Control*, Vol. 8, P. 1141–1146. DOI: https://doi.org/10.1007/s40435-020-00678-z
6. Mahak Vij, Harsh Yadav, Nikita Vashistha, Manju Kumari, Hemant Kumar Verma, Prashant Kumar & K. K. Maurya (2020), "Crystal structure, Hirshfeld surface analysis and thermal behavior of diisopropylammonium succinate, a novel third-order nonlinear optical crystal", *Journal of Materials Science*, Vol. 55, P. 16900–16913. DOI: https://doi.org/10.1007/s10853-020-05181-6
7. Xuehong Ren, Shaopu Yang, Wenzhao Zhao & Guilin Wen (2020), "A crystal plasticity-based constitutive model for ratchetting of cyclic hardening polycrystalline metals", *International Journal of Dynamics and Control*, Vol. 8, P. 1161–1168. DOI: https://doi.org/10.1007/s40435-020-00668-1
8. Zolotariov, D., Nerukh, A. (2011), "Extension of the approximation functions method for 2d nonlinear Volterra integral equations", *Applied Radio Electronics*, Vol. 10, No. 1, P. 39–44.
9. Nerukh, A. G., Zolotariov, D. A., Nerukh, D. A. (2012), "Properties of decelerating non-diffractive electromagnetic Airy pulses", *Applied Radio Electronics*, Vol. 11, No. 1, P. 77–81.
10. Nerukh, A., Zolotariov, D. & Benson, T. (2015), "The approximating functions method for nonlinear Volterra integral equations", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 47, P. 2565–2575. DOI: https://doi.org/10.1007/s11082-015-0141-2
11. Nerukh, A., Zolotariov, D., Kuryzheva, O. & Benson T. (2016), "Dynamics of decelerating pulses at a dielectric layer", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 48, No. 89. DOI: https://doi.org/10.1007/s11082-016-0386-4
12. Wolfram (2020), "Wolfram Mathematica: Modern technical calculations", available at: https://www.wolfram.com/mathematica/ (last accessed 12 November 2020).
13. Wolfram (2020), "Wolfram Language & System Documentation Center", available at: https://reference.wolfram.com/language/ (last accessed 12 November 2020).
14. Laravel (2020), "Laravel – The PHP Framework for Web Artisans", available at: https://laravel.com/docs/6.x/ (last accessed 12 November 2020).
15. Zolotariov, D. A. (2020), Automation and optimization of scientific and engineering calculations in Wolfram Mathematica, Kharkiv : FOP Panov A. M. ISBN: 978-617-7859-36-8
16. Slack (2020), "Where work happens", available at: https://slack.com/intl/en-en/ (last accessed 12 November 2020).
17. Linux (2020), "inotifywait(1) - Linux man page", available at: https://linux.die.net/man/1/inotifywait (last accessed 12 November 2020).

Надійшла (Received) 13.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Золотарьов Денис Олексійович – кандидат фізико-математичних наук, Харків, Україна, email: denis@zolotariov.org.ua, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4907-7810.

Золотарёв Денис Алексеевич – кандидат физико-математических наук, Харьков, Украина.

Zolotariov Denis – PhD (Physics and Mathematics Sciences), Kharkiv, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА БАЗЕ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Статья посвящена теоретическому исследованию и разработке распределенной системы автоматизированных вычислений и анализа на базе облачной инфраструктуры. **Предметом** исследования являются теоретические и практические основы построения систем автоматизированных вычислений и анализа, основанных на клиент-серверной архитектуре в распределенной инфраструктуре на базе облачных технологий. **Целью** статьи является разработка и обоснование практических рекомендаций к формированию инфраструктуры системы автоматизированных вычислений, выбору ее составных элементов и их компонентов. **Задача** работы: выявить необходимые структурные элементы системы автоматизированных вычислений и провести для каждого из них анализ составляющих компонентов и функциональной нагрузки, поставить конкретные задачи для построения каждого из них и обосновать выбор инструментов для их решения. В ходе исследования использованы **методы** системного анализа для декомпозиции сложной системы на элементы и каждого элемента на функциональные компоненты. В **результате** исследования установлено, что инфраструктура системы должна состоять из: единых инициатора вычислений и центра вычислений, каналов связи с клиентами, и конечными клиентами, которые обрабатывают результаты. Вся система должна работать в реальном или близком к реальному времени, что должно быть достигнуто через обработку событий операционной системы и внешних сервисов. Каналы связи должны быть максимально универсальными и предоставлять широкие возможности клиентам для доступа к данным. Конечные клиенты должны быть двух типов: полноценные для гибкой и индивидуальной обработки данных, и упрощенные для интегрированной среды обобщенной обработки данных в мобильном или десктопном браузере. По полученным рекомендациям разработан один из вариантов такой системы, показаны принципы его работы и приведены результаты. **Выводы.** Разработаны теоретические и практические основы для реализации системы распределенных автоматизированных вычислений и анализа на базе облачных технологий. Показано повышение надежности хранения результатов моделирования в такой системе через их тройное дублирование благодаря: локальному хранилищу, использованию внешних базы данных и файлового сервиса. Предоставлены доводы по повышению удобности и гибкости в обработке результатов благодаря возможности использования сторонних аналитических приложений, которые поддерживают загрузку данных из таких источников. Показана экономическая выгода от использования описанной системы. Показаны будущие пути ее усовершенствования.

Ключевые слова: облачные технологии; распределенная инфраструктура; автоматизированные вычисления; экономия ресурсов и денег; итерационные алгоритмы; Mathematica.

THE DISTRIBUTED SYSTEM OF AUTOMATED COMPUTING BASED ON CLOUD INFRASTRUCTURE

The article is devoted to theoretical research and development of a distributed system of automated calculations and analysis based on cloud infrastructure. The **subject** of the research is theoretical and practical principles of building automated calculation and analysis systems based on client-server architecture in a distributed infrastructure based on cloud technologies. The **purpose** of the article is to develop and substantiate practical recommendations for the formation of automated computing system infrastructure, the choice of its elements and their components. **Tasks** of the study is to identify the necessary structural elements of the system of automated calculations and provide for each of them an analysis of components and functional load, set specific tasks for the construction of each of them and substantiate the choice of tools for their solution. The **methods** of system analysis to decompose a complex system into elements and each element into functional components were used during the study. The study found that the system infrastructure should consist of: a single computing initiator and computing center, customer communication channels, and end customers who process the **results**. The entire system must run in real time or near real time mode that must be achieved through the handling of operating system events and external services events. Communication channels should be as versatile as possible and provide customers with ample opportunities to access data. The end customers should be of two types: powerful for flexible and individual data processing, and simplified for the integrated environment of generalized data processing in mobile or desktop browsers. According to the received recommendations one of variants of such system is developed, principles of its work and results are shown. **Conclusions.** The theoretical and practical foundations for the implementation of a system of distributed automated computing and analysis based on cloud technologies have been developed. An increase in the reliability of storing the simulation results in such a system through their triple duplication is shown due to: local storage, using of external databases and external file service. Arguments are given to increase the convenience and flexibility in processing the results due to the possibility of using third-party analytical applications that support getting data from such sources. The economic benefits of using the described system are shown. The future ways of its improvement are given.

Keywords: cloud technologies; distributed infrastructure; automated cloud calculations; saving resources and funds; iterative algorithms; Mathematica.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Золотарьов Д. О. Розподілена система автоматизованих обчислень на базі хмарної інфраструктури. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 47–55. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.047

Zolotariov, D. (2020), "The distributed system of automated computing based on cloud infrastructure", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 47–55. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.047

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

УДК 005.8:004.942 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.056

С. Г. Кійко

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ПОРТФЕЛЯМИ ПРОЄКТІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА МЕТАЛУРГІЙНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

На сьогодні актуальною є проблема створення та впровадження методологічних основ управління портфелями проєктів енергозбереження на металургійних підприємствах, з урахуванням стратегічних цілей, обмеженості ресурсів і ризиків. Вирішення цієї проблеми ускладняється тим, що треба враховувати безліч взаємопов'язаних потоків енергоресурсів, вимог, цілей і стратегій поведінки окремих підрозділів металургійних підприємств, а також динаміку виробничих процесів тощо. **Предметом** дослідження статті є адаптивні методи управління портфелями проєктів енергозбереження на металургійних підприємствах. **Метою** даної роботи є створення методів формування та адаптивного управління портфелем проєктів з урахуванням стратегічних цілей металургійного підприємства щодо енергозбереження та енергоефективності. Вирішуються наступні **завдання**: аналіз та порівняння традиційних та адаптивних процесів управління проєктами; опис основних положень методології предиктивної адаптації при управлінні портфелем енергозберігаючих проєктів металургійного підприємства; детальний розгляд етапів методу формування та реалізації портфеля проєктів енергозбереження металургійного підприємства; розгляд результатів оцінювання важливості критеріїв при обґрунтуванні пріоритетів енергетичної стратегії підприємства; обговорення результатів формування програми енергозбереження на ПрАТ "Дніпроспецсталь". **Методи** дослідження: методи портфельного менеджменту, методи прогнозування, експертно-аналітичні методи. Отримано такі **результати**: Проведено обґрунтування доцільності використання адаптивного управління проєктами енергозбереження на металургійному підприємстві. Описані етапи стратегічного планування щодо енергозбереження та енергоефективності, метод формування та реалізації портфеля проєктів енергозбереження металургійного підприємства. Розглянуто результати використання розроблених методів при формуванні програми енергозбереження на ПрАТ "Дніпроспецсталь". **Висновки**: Побудова системи менеджменту проєктів та програм енергозбереження на металургійних підприємствах потребує вирішення завдання предиктивної аналітики енергоспоживання та якості паливно-енергетичного балансу з подальшою реалізацією адаптивних механізмів планування, моніторингу та управління змінами, що дозволяє більш ефективніше формувати та реалізовувати портфель проєктів енергозбереження на металургійних підприємствах та сприяти підвищенню енергоефективності та конкурентоспроможності підприємств металургійної галузі України.

Ключові слова: портфель проєктів; предиктивна адаптація; управління енергозбереженням; металургійне підприємство, планування енергоспоживання.

Постановка проблеми

Металургійні підприємства є великими споживачами електричної і теплової енергії [1], тому вирішення задач енергозбереження неможливо без розробки комплексної програми і портфеля проєктів за основними напрямками енергозбереження з обов'язковою координацією їх з програмою розвитку основного виробництва. Гострота вирішення цих питань для металургійної галузі України викликана необхідністю поліпшення економічної стабільності підприємств, підвищення конкурентоспроможності продукції та зменшенням залежності від постачальників енергоресурсів.

Загальна мета підвищення енергоефективності на підприємстві реалізується на основі управління портфелем енергозберігаючих проєктів, які спрямовані на виконання таких завдань: оптимізація енергетичного балансу; мінімізація споживання енергоресурсів; оптимізація енергоефективності та ін.

Таким чином, управління проєктами та програмами стає основою енергозбереження та розвитку металургійних підприємств. Однак, особливості, пов’язані з необхідністю враховувати безліч взаємопов'язаних потоків енергоресурсів, вимог, цілей і стратегій поведінки окремих підрозділів металургійних підприємств, а також динаміку виробничих процесів, призводять до необхідності зміни традиційного підходу до управління портфелями проєктів і переходу до адаптивним формам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Традиційні процеси управління проєктами включають етапи планування, виконання, моніторингу, контролю і оцінки проєкту. Якщо в результаті оцінки буде виявлено, що щось пішло не так, це навчання може бути використано в майбутніх проєктах. Згідно PMBOK [2] управління портфелем проєктів має на увазі як проведення аналізу всіх проєктів організації окремо, так і проведення аналізу характеристик всієї сукупності проєктів, що реалізуються в організації, що дозволяє враховувати ризики спільної реалізації проєктів і формувати збалансовані портфелі в якості ефективного механізму реалізації стратегічних цілей організації.

При цьому, основними проблемами управління портфелем проєктів в умовах невизначеності є: формування ефективного портфеля проєктів; розподіл ресурсів між проєктами портфеля; формування ефективного календарного графіка виконання проєктів портфеля; облік впливу невизначеності в управлінні портфелем проєктів.

Тому, оскільки метою управління портфелем є вибір найкращого набору компонентів, що підтримують підприємство в досягненні стратегічних цілей, стратегія повинна стимулювати підготовку "наступного циклу портфеля". Може трапитися так, що стратегія не ясна, не готова до використання, нестабільна і тоді потрібно переходити до адаптивного управління портфелем проєктів [3].

Дійсно, у типовому проєкті після етапу

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

ініціювання та планування учасники знають, що і як потрібно робити, щоб зазначена мета була досягнута, тому управління таким проєктом здається простішим. У проєкті, який не визначає його успіху протягом більшої частини свого життєвого циклу, виникає потреба впровадити інше рішення. Такі потреби можуть бути задоволені шляхом впровадження адаптивного управління [4].

У дослідженні [5] проаналізовані існуючі практики портфельного управління в будівельній сфері і розглянемо особливості впровадження концепції інтелектуального управління портфелем. Автори наголошують на необхідності адаптивного зміни портфеля і планування при зміні профілю ризику проєктів після їх запуску.

Автори в роботі [6] акцентують увагу на тому, що при оцінці ризиків енергозберігаючих проєктів необхідно враховувати напрямки енергозберігаючих заходів. Вони вважають, що для поліпшення оцінки ризиків енергозберігаючих проєктів необхідно: визначити основні напрямки діяльності по енергозберігаючим проєктам; застосовувати основні етапи алгоритму управління ризиками, що визначає кінцеву ефективність енергозберігаючих проєктів; враховувати взаємодію споживачів, енергокомпаній і держави в процесі виявлення та оцінки ризиків; визначити на законодавчому рівні методологію оцінки ризиків енергозберігаючих проєктів. Проблеми управління ризиками на металургійних підприємства розглядаються також в роботі [7]. Автором представлена концепція інтегрованого управління ризиками металургійного підприємства, заснована на аналізі грошових потоків, оскільки кожна ризикова подія знаходить своє відображення на фінансових результатах підприємства.

Відповідно до стандарту PMBok [2] адаптивні життєві цикли проєктів спрямовані на реагування на високі рівні змін і вимагають постійного високого ступеня залученості зацікавлених сторін. Підкреслюється, що адаптивні методи є також ітеративними і інкрементними, але відрізняються тим, що ітерації відбуваються дуже швидко і фіксовані за термінами і вартістю.

Адаптивний менеджмент має форму і методи управління, які дають системі можливість змінювати параметри, структуру керуючої підсистеми і регулятора в залежності від трансформації внутрішніх параметрів об'єкта або зовнішніх збурень, а також від змін стратегічних цілей [8]. В адаптивному управлінні додається ще один контур, крім всіх інших, який намагається зрозуміти, що це за об'єкт, яким управляємо, побудувати більш точну модель і більш адекватно прикладати до нього керуючий вплив.

Відповідно адаптивне планування – система планування, яка передбачає корегування планів при зміні яких-небудь параметрів середовища, в якому здійснюється діяльність, що планується [9].

Процеси адаптивного управління можуть бути активними і пасивними [10] (рис. 1). Основна мета пасивного адаптивного управління – включити процес навчання в існуючі підходи до управління. Інформація, отримана на кожній ітерації проєкту, може використовуватися в наступних ітераціях. Таким чином, ризик і невизначеність, пов'язані з кожної ітерацією, можуть бути значно зменшені. Пасивне адаптивне управління використовується як частина гнучкого підходу (agile).

Мета активного адаптивного управління – навчитися шляхом експериментів визначати кращу стратегію управління.

Процес починається з генерації гіпотези, яка включає в себе вибір кількох альтернатив стратегії. Наступний крок – створення декількох моделей. На практиці ці моделі зазвичай представляють собою графіки проєкту з набором ризиків і невизначеностей для конкретної ітерації. Всі альтернативні моделі слід оцінювати за допомогою кількісного аналізу. Результатами цього аналізу є тривалість, вартість, ймовірність дотримання термінів і інші параметри ітерації, які можуть допомогти вибрати альтернативи для виконання.

Детальні дослідження адаптивного управління проєктами наведено у [11]. На відміну від ітерацій, адаптивна модель у автора складається з ряду фаз, які повторюються в циклі, із циклом зворотного зв'язку після завершення кожного циклу. Кожен цикл заснований на неповному та обмеженому розумінні рішення. При цьому кожен цикл "вчиться" на попередніх циклах і планує наступний цикл, намагаючись сходитися до прийнятного рішення. Автором також введено поняття Adaptive Project Framework, що включає дві частини: настроювання проєкту та виконання проєкту.

Враховуючи особливості проєктів енергозбереження та оточуючого середовища на металургійних підприємствах доцільно здійснити перехід саме до адаптивного управління проєктами.

Ще одна особливість планування та контролю за реалізацією проєктів енергозбереження це необхідність прогнозування витрат енергоресурсів та постійного моніторингу енергоспоживання та енергоефективності від реалізації проєктів.

Наявність в об’єкті управління процесів, що потребують прогнозного моделювання накладає свої особливості на методологію управління відповідними проєктами. У роботі [12] модулі, що виконують завдання прогнозування енергоспоживання на металургійному підприємстві включено у склад системи енергоменеджменту. В роботі [13] для підвищення ефективності управління технічним обслуговуванням в будівельних проєктах пропонується використовувати прогнозне моделювання.

Крім того слід відмітити, що великі багатонаціональні консалтингові фірми застосовують підхід, що має назву прогнозна аналітика проєктів (PPA), який передбачає на основі аналітиці великих даних виконати оцінку ризиків проєкту, забезпечити прогнозування потенційних ризиків і визначити негайні виправлення, які можуть поліпшити продуктивність на будь-якому етапі життєвого циклу проєкту.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) *Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)*

Тобто під прогнозної аналітикою проєкту розуміються кількісні інструменти і методи, які організації можуть використовувати для правильного управління ризиками проєкту і отримання максимальної віддачі від великих і складних проєктів, якими є проєкти енергозбереження на металургійному підприємстві.

Мета статті. Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених теорії організації і управління виробництвом, на сьогоднішній день відсутня методологія формування послідовності елементів технологічних процесів металургійного виробництва для пріоритетного вибору реалізації на них енергозберігаючих проєктів.

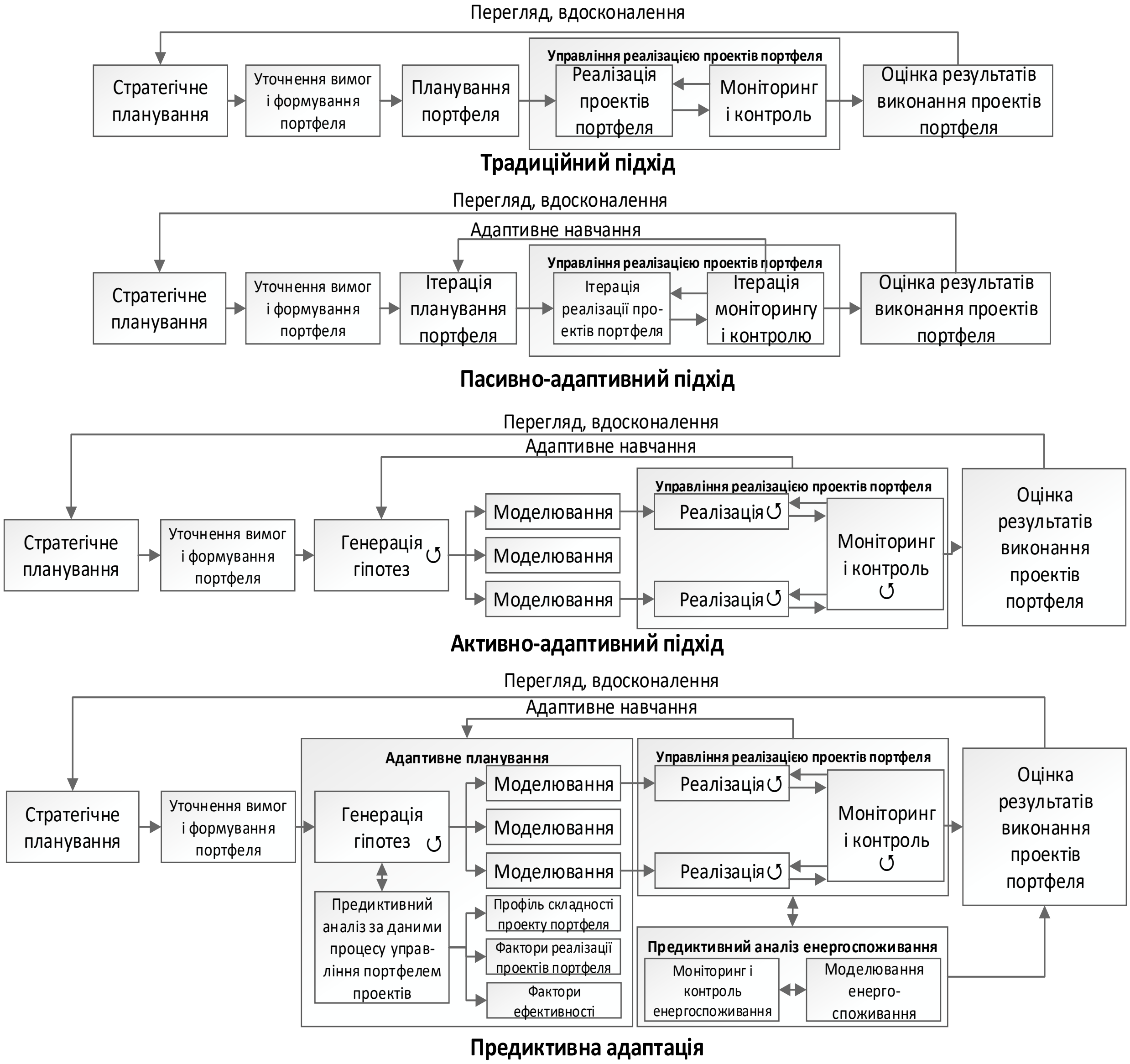


Рис. 1. Порівняння підходів до управління портфелем проєктів

В умовах коли потрібно поліпшення економічної стабільності металургійних підприємств України, підвищення конкурентоспроможності продукції та зменшення залежності від постачальників енергоресурсів, існує протиріччя між необхідністю реалізації програм енергозбереження на металургійних підприємствах і недосконалістю науково-обґрунтованих засобів досягнення цієї мети у вигляді моделей і методів управління портфелями проєктів енергозбереження, в яких повною мірою не враховується безліч взаємопов'язаних потоків енергоресурсів, вимог, цілей і стратегій поведінки окремих підрозділів металургійних підприємств, а також динаміка виробничих процесів.

Тому існує необхідність розробки методів формування портфеля проєктів з урахуванням стратегічних цілей металургійного підприємства щодо енергозбереження та енергоефективності, що дозволяли б здійснювати багатокритерійний вибір проєктів, враховуючи при цьому різноманітність завдань, що вирішуються на металургійних підприємствах, планування реалізації проєктів в різному часовому аспекті, взаємозв'язків та координаційних узгоджень, що існують між проєктами, а також механізми фінансування.

Наукова гіпотеза дослідження ґрунтується на припущенні, що побудова ефективної системи менеджменту проєктів та програм енергозбереження

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

на металургійних підприємствах, яка буде базуватися на предиктивній аналітиці енергоспоживання та якості паливно-енергетичного балансу й включати взаємозалежні адаптивні системи планування, моніторингу та управління змінами дозволить більш ефективніше формувати та реалізовувати портфель проєктів енергозбереження на металургійних підприємствах та сприяти підвищенню енергоефективності та конкурентоспроможності підприємств металургійної галузі України.

Предиктивна адаптація при управлінні портфелем енергозберігаючих проєктів металургійного підприємства

Пропонується методологія предиктивної адаптації [14] для управління портфелями проєктів енергозбереження на металургійних підприємствах, що базується на взаємопов'язаних адаптивних системах планування, моніторингу і управління змінами та дозволяє на основі прогнозування енергоспоживання для складних технологічних процесів і виробництв, а також моделювання і оцінки якості паливно-енергетичного балансу, в умовах обмеженості ресурсів і ризиків здійснювати формування і відбір для реалізації проєктів енергозбереження при узгодженні пріоритетів бізнес-стратегії і стратегії енергоефективності металургійного підприємства.

Перший модуль предиктивного аналізу (див. рис. 1) здійснює оброблення даних щодо реалізації проєктів енергозбереження з метою вирішення наступних завдань: виявлення ризиків проєктів та прогалин в контролі на ранньому етапі, підвищення ймовірності досягнення цілей в області якості і бізнес-цілей, забезпечення постійного контролю та управління витратами для проєктів, які схильні до ризику перевитрат та ін. Для цього використовується база даних успішно завершених проєктів енергозбереження на підприємстві (це має особливе значення тому, що деякі проєкті аналогічні але виконуються для різних підрозділів/цехів).

Використання такого модулю предиктивного аналізу дає можливість забезпечити об'єктивну оцінку внутрішньої складності і можливостей по реалізації проєктів портфелю, а також зрілості існуючих засобів контролю і моделі управління проєктами на підприємстві. Порівнюючи поточні рівні за усіма елементами управління проєктами з необхідними прогнозованими рівнями, даний модуль може допомогти виявити конкретні прогалини, приховані перешкоди і відсутні елементи управління в таких категоріях, як бюджетування, планування, управління ризиками та можливості проєктного офісу. Це дозволяє підприємству визначити конкретні поліпшення та управлінські рішення, які можуть підвищити ймовірність успіху проєкту енергозбереження.

Формою вирішення основного протиріччя процесу реалізації портфеля проєктів енергозбереження на металургійному підприємстві і інструментом організації енергоекономічних зв'язків між процесами енергоспоживання та енергозбереження є механізм предиктивної (прогнозної) адаптації при комплексному управлінні енергоспоживанням металургійного підприємства. Тут використано другий модуль предиктивного аналізу.

По-перше, це предиктивна аналітика енергоспоживання та якості паливно-енергетичного балансу. По-друге, важливе значення при динамічному аналізі та формуванні паливно-енергетичного балансу на металургійному підприємстві має саме блок адаптивного зворотного зв'язку, що здійснює контроль енергоспоживання і контроль досягнення цілей енергетичної програми та цілей реалізації проєктів енергозбереження, що було відібрано до портфелю [15].

За допомогою відповідних управлінських рішень це впливає на формування динамічних нормативів для управління підсистемою енергоспоживання, на оптимальну побудову енергетичних характеристик із заданою точністю за критерієм мінімуму техніко-економічних втрат, на вирішення завдання мінімізації загальної помилки прогнозу споживання енергоресурсів, на аналіз енергоефективності, розподіл ресурсів для програми енергозбереження та корегування пріоритетів енергетичної стратегії.

Таким чином, формується гнучкий адаптивний механізм оптимізації енергетичних активів для підтримки високої оцінки якості паливно-енергетичного балансу металургійного підприємства, що забезпечує узгодження ефективної енергетичної стратегії та стратегії розвитку бізнес-процесів.

Етапи формування та реалізації портфеля проєктів енергозбереження металургійного підприємства

Розглянемо функціонування адаптивних систем планування, моніторингу і управління змінами на усіх етапах формування та реалізації портфеля проєктів енергозбереження металургійного підприємства.

1) перший етап – визначення цілей і пріоритетів енергетичної стратегії металургійного підприємства (рис. 2). На цьому етапі акцент робиться в бік стратегічного планування, обґрунтування пріоритетів енергетичної політики і найбільш важливих напрямків економічного розвитку підприємства. Енергетична стратегія металургійного підприємства будується на основі концептуального підходу до комплексного управління енергоспоживанням металургійного підприємства, на аналізі факторів та резервів енергоефективності, урахуванні вимог учасників ринку палива і енергії, інтересів виробників і постачальників енергоресурсів, вимог учасників ринків металургійної продукції, промислової політики підприємства, що направлена на забезпечення довготривалого і стійкого розвитку його економічного стану, державної підтримки металургійної галузі України.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)
Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

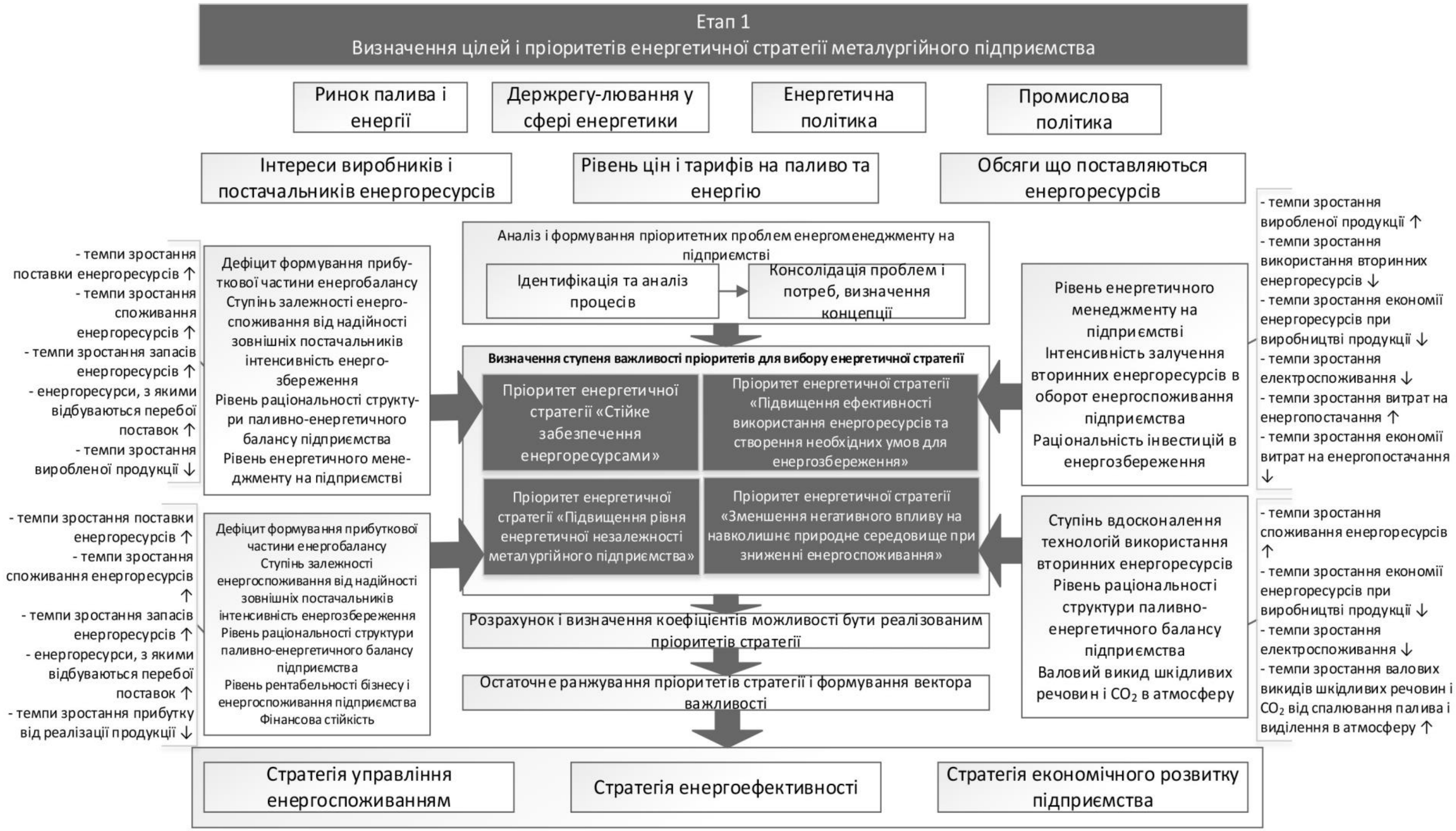


Рис. 2. Етап визначення цілей і пріоритетів енергетичної стратегії металургійного підприємства

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

Енергетична стратегія безумовно пов’язана з ефективним використанням енергоресурсів металургійного виробництва, формуванням оптимальної структури системи управління енергоспоживанням, що повинна використовувати єдину систему цілей, завдань, принципів і показників ефективності. Слід враховувати, що великий вплив на розвиток металургії надає динаміка цін на первинне паливо – енергетичне і технологічне. Тому при оцінці ефективності варіантів формування і реалізації програми по економії палива і енергії для металургійного підприємства слід враховувати рівень цін і тарифів на паливо та енергію, попит і пропозицію на продукцію і паливно-енергетичні ресурси, доступ до ринку ресурсів і нових технологій тощо.

Найбільші проблеми при управлінні енергоспоживанням і формуванні енергетичної політики металургійного підприємства виникають при визначенні пріоритетів і цілей для підвищення енергоефективності та енергозбереження. Пріоритети є базовим поняттям і структурним елементом енергетичної політики і представляють собою найкращі на кожному етапі її реалізації напрямки і форми діяльності органів управління, що регулюють паливно-енергетичний баланс металургійного виробництва. Іншими словами, пріоритети характеризують в агрегованому вигляді основні напрямки та відмінні характеристики енергетичної стратегії металургійного підприємства на довгостроковий період. Прикладами пріоритетів енергетичної стратегії металургійного підприємства можуть бути наступні: стійке забезпечення енергоресурсами; підвищення ефективності використання енергоресурсів та створення необхідних умов для енергозбереження; зменшення негативного впливу на навколишнє середовище при зниженні енергоспоживання металургійного підприємства; підвищення рівня енергетичної незалежності металургійного підприємства тощо. В першу чергу, управління енергоспоживанням направлено на раціональне використання енергетичних ресурсів металургійними підприємствами. Під ефективним енергоспоживанням розуміється його результативність з позиції досягнення показників енергоефективності, а також реалізація комплексу заходів або дій, що вживаються для забезпечення більш ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів.

Як то видно з схеми, визначення пріоритетних проблем можливе лише на базі глибокого і всебічного аналізу усіх процесів підприємства, а також сформованих на даному підприємстві економічних тенденцій, які будуть характеризувати процес формування якості паливно-енергетичного балансу металургійного підприємства.

На рис. 2 для кожного з пріоритетів представлені його метрики та індикатори з зазначенням напрямку зміни (збільшення/зменшення) при якому даний пріоритет енергетичної політики набуває важливості. Наприклад, для пріоритету, який пов'язаний зі стійким забезпеченням енергоресурсами метриками є наступні: дефіцит формування прибуткової частини паливно-енергетичного балансу; ступінь залежності енергоспоживання від надійності зовнішніх постачальників енергоресурсів; інтенсивність енергозбереження; рівень раціональності структури паливно-енергетичного балансу підприємства; рівень енергетичного менеджменту на підприємстві. Індикаторами (тобто коли спостерігається відповідний тренд), які підвищують важливість цього пріоритету при формуванні енергетичної стратегії є такі: збільшення темпів зростання поставки енергоресурсів; збільшення темпів зростання споживання енергоресурсів; збільшення темпів зростання запасів енергоресурсів; збільшення кількості енергоресурсів, з якими відбуваються перебої поставок; зменшення темпів зростання виробленої продукції. Слід відмітити, що в основі ефективної енергетичної стратегії підприємства лежить індивідуальний набір чинників, які повинні бути в полі зору енергоменеджменту підприємства, оскільки з часом під впливом тих чи інших факторів формується потенціал енергозбереження, і він повинен бути своєчасно реалізований для підвищення конкурентоспроможності та сталого соціально економічного розвитку підприємства.

Аналогічно метрики та індикатори наведено для інших конкретних прикладів пріоритетів енергетичної стратегії металургійного підприємства.

Обгрунтування пріоритетів енергетичної стратегії металургійного підприємства доцільно проводити в декілька кроків: виявлення першочергових енергоекономічних проблем металургійного підприємства; вибір базових напрямків, за якими далі буде сформований портфель енергозберігаючих проєктів, визначення вектору важливості та ранжування пріоритетів енергетичної стратегії за допомогою експертних методів. У портфель будуть вноситися як окремі проєкти програми енергозбереження, так і проєкти котрі взагалі направлені на вдосконалення поточної діяльності та економічний розвиток металургійного підприємства.

2) другий етап – планування і формування портфеля проєктів енергозбереження. Об'єктами портфелю/програми енергозбереження на металургійному підприємстві є процес управління, виробництво (технологія) і комунальне господарство. Основою адаптивної системи планування портфеля проєктів енергозбереження є побудовані на підприємстві механізмі та відповідні автоматизовані системи для обліку і контролю енергоспоживання, безперервне оцінювання ефективності використання ресурсного потенціалу в процесах діяльності підприємства, планування видаткової і прибуткової частини паливно-енергетичного балансу та оцінювання його якості і безумовно багаторівневе прогнозування енергоспоживання.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)
Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

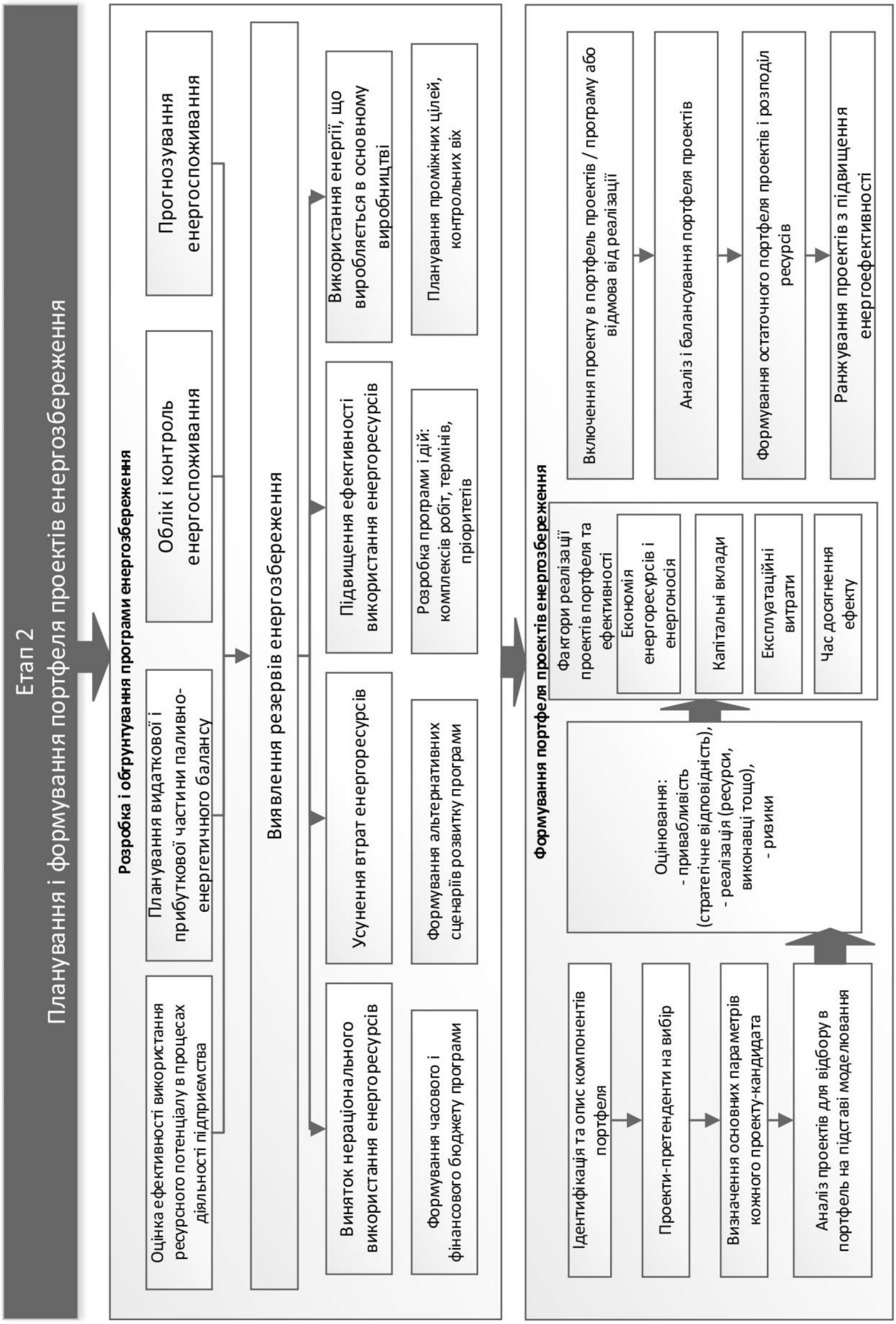


Рис. 3. Етап планування і формування портфеля проектів енергозбереження

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

Особливу роль у виявленні резервів енергозбереження відіграє динамічна оцінка якості паливно-енергетичного балансу, тому що саме він характеризує необхідні ефективні енергоекономічні зв'язки процесів підприємства та дає змогу перевертіти цілісність системи енергоспоживання підприємства і результативність енергетичної політики. Внутрішні резерви при формуванні паливно-енергетичного балансу можуть бути приховані у неефективному використанні видаткової частини балансу або низькій частці використання ресурсозберігаючих технологій при виробництві продукції тощо. Взагалі основними напрямками за якими здійснюється пошук проєктів-кандидатів на включення до портфелю є виняток нераціонального використання енергоресурсів, усунення втрат енергоресурсів, підвищення ефективності використання енергоресурсів, використання вторинної енергії, що виробляється в основному виробництві та інше.

Формування ефективного портфеля проєктів зводиться до того, щоб визначити такий порядок відбору проєктів, що дозволяє врахувати, як вплив зовнішнього середовища, так і ризиків внутрішнього середовища підприємства, а для підприємства забезпечити максимальну гарантовану енергоефективність. Енергоефективність відбивається через співвідношення результатів виробничої діяльності та витрачених на їх досягнення економічно, технічно і технологічно обґрунтованих обсягів енергетичних ресурсів в умовах енергозберігаючої інтенсифікації промислового виробництва. Важливу роль тут відіграє моделювання та аналіз реалізованості проєктів енергозбереження. Основою такого аналізу є обґрунтування можливості реалізації проєкту, а також ступінь впливу на цінності програми енергозбереження. Крім того, визначається доступність енергозберігаючих технологій та обладнання, що необхідні для реалізації проєкту, можливість їх освоєння та ефективної експлуатації в конкретних умовах. Побудова адаптивних механізмів пріоритезації, оптимізації та балансування портфелю проєктів передбачає регулювання економічних і енергетичних показників (процесів) на підприємстві за допомогою реалізації енергозберігаючих проєктів для витримування основних співвідношень темпів зростання показників ефективності в динамічної моделі оцінки якості паливно-енергетичного балансу металургійного підприємства.

3) третій етап – моніторинг та управління реалізацією портфеля проєктів енергозбереження. Саме тут ми бачимо розглянуті раніше модулі предиктивного аналізу. Перший дає об'єктивну оцінку внутрішньої складності і можливостей по реалізації проєктів портфелю, а також зрілості існуючих засобів контролю і моделі управління проєктами на підприємстві. Другий модуль – це предиктивна аналітика енергоспоживання та якості паливно-енергетичного балансу. Побудовані предиктивні механізми дозволяють готувати управлінські рішення тоді, коли вже з'являються відповідні значення індикаторів та сигнали, за якими можна помітити ранні ознаки настання важливих подій в енергетичної ситуації та для прийняття попереджувального управління енергоспоживанням та реалізацією проєктів енергозбереження.

Результати, одержані при прогнозуванні енергоспоживання, служать попередньою базовою інформацією на всіх етапах планування та управління процесом енергоспоживання підприємства. При цьому адаптивний енергетичний менеджмент має форму і методи портфельного управління, що дає системі можливість змінювати параметри підсистеми планування та реалізації проєктів енергозбереження і одночасно регуляторів енергоспоживання на металургійному підприємстві в залежності від трансформації внутрішніх параметрів процесів енергоспоживання або зовнішніх факторів (цін і тарифів, попиту і пропозиції енергоресурсів, питомих норм тощо), а також від зміни стратегічних цілей і пріоритетів.

Як механізми адаптивної зміни в системі планування розглядаються наступні: коригування розкладів (так в залежності від результатів моделювання перспективного енергоспоживання і досягнення цільових показників енергоефективності збільшується або зменшується тривалість етапів проєктів); зміна пріоритетів (тут змінюється план незавершених робіт в залежності від результатів аналізу попередніх етапів реалізації проєктів енергозбереження і на основі динамічної оцінки якості паливно-енергетичного балансу металургійного підприємства); перерозподіл ресурсів і ін.

Приклад оцінювання важливості критеріїв при обґрунтуванні пріоритетів енергетичної стратегії підприємства

Для вирішення завдань планування та управління портфелем проєктів енергозбереження, а також енергоменеджменту на ПрАТ "Дніпроспецсталь" впроваджено цілу низку автоматизованих систем, ядром при цьому виступає корпоративна інформаційна система управління на базі SAP ERP (ECC 6.0). Це дозволяє ПрАТ "Дніпроспецсталь" цілеспрямовано реалізовувати комплексну енергетичну програму, яка охоплює наступні напрямки: розвиток власної енергетичної бази; розвиток і вдосконалення системи обліку енергоресурсів; підвищення ефективності використання енергоресурсів споживачами, скорочення втрат при транспортуванні енергоресурсів; моніторинг споживання енергоресурсів; модернізація технологічних процесів і агрегатів; вдосконалення енергетичного балансу підприємства; залучення персоналу в енергозберігаючу діяльність.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

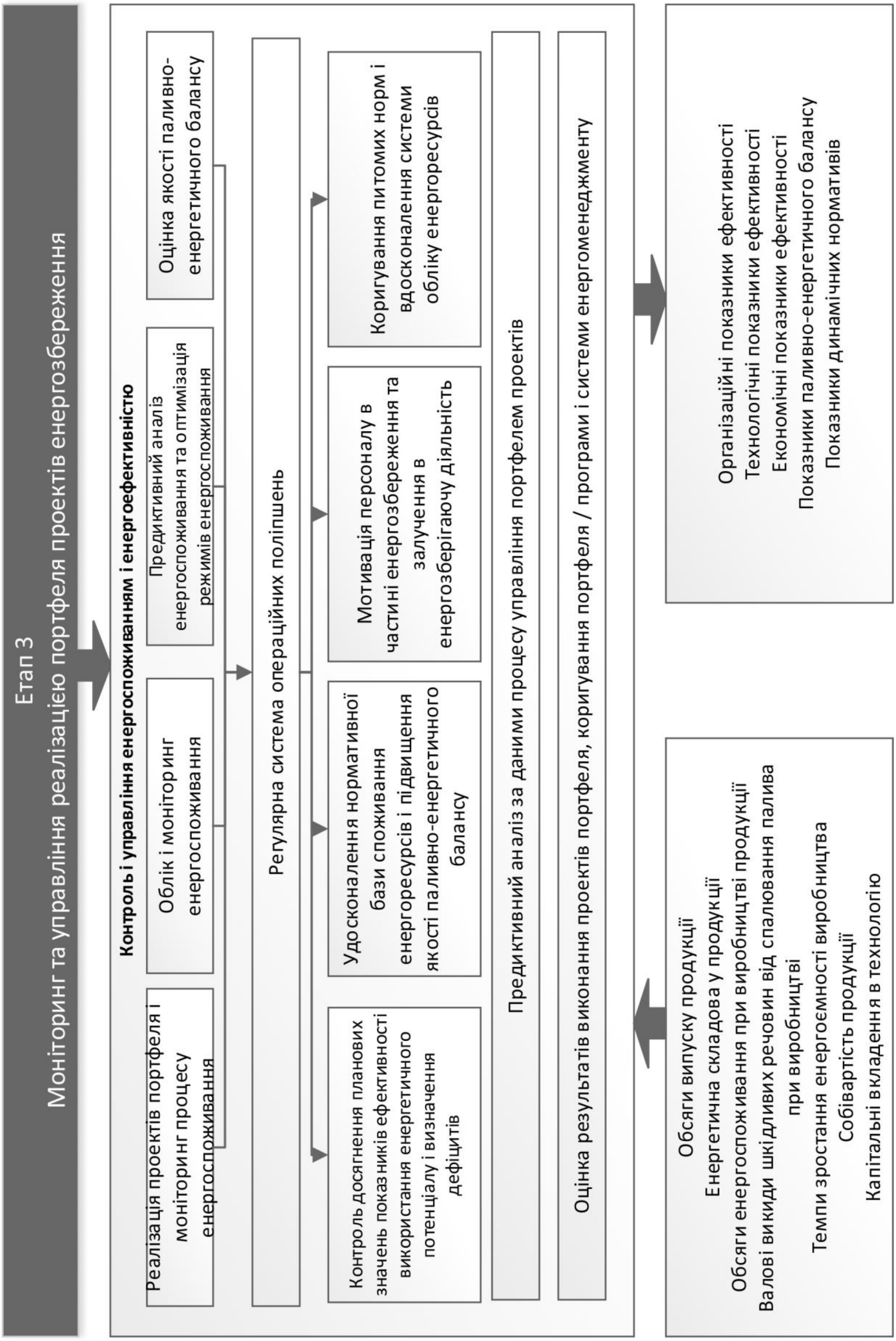


Рис. 4. Етап моніторингу та управління реалізацією портфеля проєктів енергозбереження

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

У складі програмного комплексу є модуль оцінки важливості, який призначений для формування класів порівнюваних об'єктів, визначення складу значущих властивостей для порівняльної оцінки об'єктів між собою і визначення векторів важливості властивостей і пріоритету порівнюваних об'єктів.

Система використовується для великого кола завдань, таких як: обґрунтування пріоритетів енергетичної стратегії підприємства; пріоритизація критеріїв енергоефективності; відбір проєктів в портфель; оцінювання ризиків та інші. На рис. 5 наведено приклад розв'язання задач обґрунтування пріоритетів енергетичної стратегії підприємства. Для оцінки важливості використаний метод аналізу ієрархій, в основі якого покладена порівняльна оцінка суджень експертів за шкалою переваг про порівнюваних об'єктах. На рис. 6 представлені результати обґрунтування пріоритетів енергетичної стратегії металургійного підприємства у вигляді діаграми із зазначенням найбільш важливої альтернативи. Найбільшу важливість має такий напрямок, як вдосконалення обладнання і режимів роботи, раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів і електроенергії.

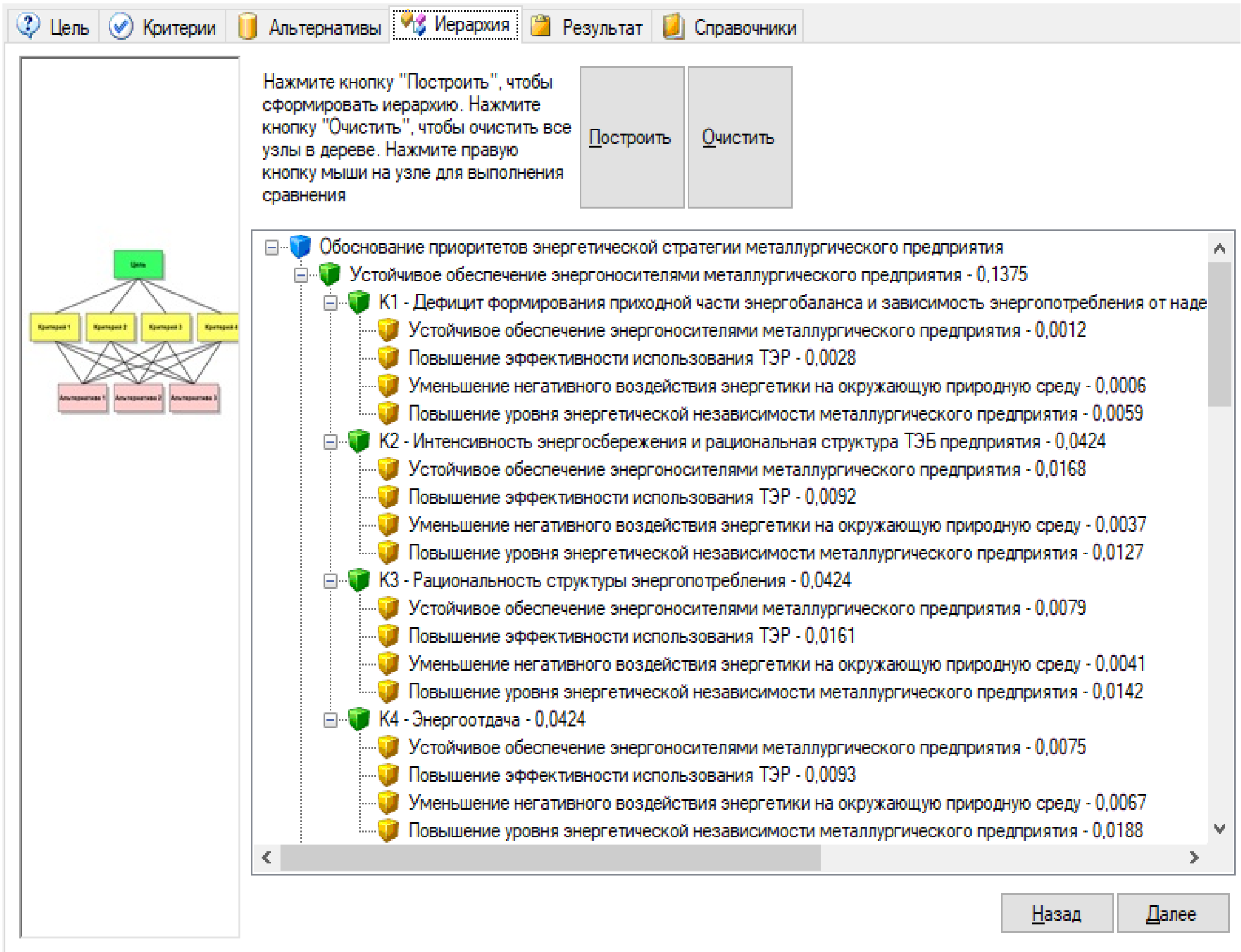


Рис. 5. Результати порівняльної оцінки важливості критеріїв/альтернатив при обґрунтуванні пріоритетів енергетичної стратегії підприємства

Результати експериментів

Розроблена інформаційна технологія дозволяє ідентифікувати, аналізувати і відбирати існуючі і перспективні проєкти з метою вибору найбільш значущих з наявних. У процесі аналізу система автоматично дозволяє оптимізувати портфель, щоб направити обмежені ресурси на найбільш пріоритетні цілі. Було проведено експериментальні дослідження методів планування енергоспоживання на основі реальних даних з вироблення металопродукції і електроспоживання виробничими підрозділами ПрАТ "Дніпроспецсталь".

Апробація розроблених моделей і комп'ютерних засобів в ПрАТ "Дніпроспецсталь" показала, що можливе ефективне управління енергоефективністю на основі управління програмами і портфелями проєктів. Так в період з 2019 по 2020 рік на підприємстві було реалізовано проєктів з енергозбереження на загальну суму 1756 тис. грн. Дані щодо досягнутої економії паливно-енергетичних ресурсів наведено у табл. 1. У програмі енергозбереження ПрАТ "Дніпроспецсталь" найбільш капіталомісткими проєктами є проєкти з оновлення обладнання.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)
Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

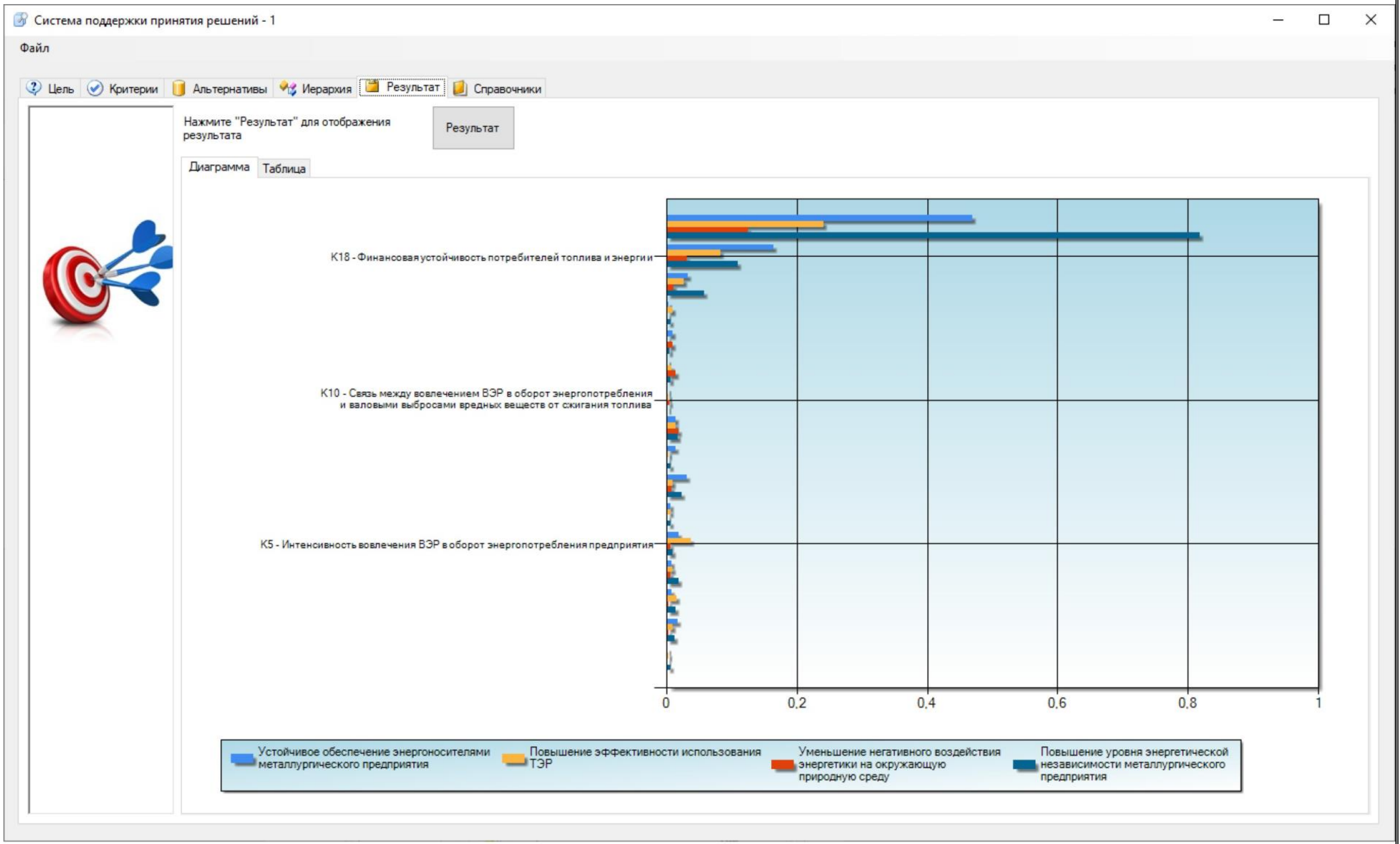


Рис. 6. Діаграма результатів завдання оцінювання важливості пріоритетів енергетичної стратегії металургійного підприємства

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2522-9818 (print)* *ISSN 2524-2296 (online)*

Таблиця 1. *Програма енергозбереження ПрАТ "Дніпроспецсталь" 2019-2020рр.*

Енергозберігаючий проєкт	Строк	Вартість, тис. грн.	Економія паливно-енергетичних ресурсів				
			Всього зекономлено, тис. т. ум. палива	Вартість зекономлених енергоресурсів, тис. грн.	у тому числі:		
					Природний газ, млн. куб.м	Електроенергія, млн. кВт*год	Теплова енергія, тис. Гкал
Проведення комплексу організаційних заходів щодо скорочення проміжплавочних простоїв дугових печей (у т.ч. по підготовці завалки, забезпеченню роботи допоміжних механізмів)	2019	-	0,252	1220		0.7	
Проведення теплотехнічної наладки термічної печі та кільцевої печі ковальского цеху	2019	200	0,012	100	0,010		
Проведення теплотехнічної наладки установки сушки ківшів "МАПЕКО" СПЦ-2	2019	30	0,001	15	0,001		
Проведення теплотехнічної наладки установок "HELIOS" ЦАОМ	2019	140	0,008	70	0,007		
Впровадження перетворювальної техніки в залежності від режимів роботи устаткування	2019	40	0,36	1745		1,0	
Регулювання тиристорних перетворювачів намагнічування машин ГПА стану прокатного цеху в режимі роботи на холостому ході	2019	50	0,216	1045		0,6	
Проведення теплотехнічної наладки камерних печей ковальського пресового цеху	2020	1060	0,094	530	0,081		
Проведення заходів щодо зміни схеми теплопостачання	2020	180	0,56	3640			3,1
Використання установки утилізації тепла ГКР для потреб ГВС	2020	56	0,126	823			0,7
Всього		1756	1,377	9188	0,099	1,6	3,8

Висновки

Аналіз традиційних та адаптивних процесів управління проєктами показав доцільність використання прогнозної аналітики для ефективного управління ризиками проєкту і отримання максимальної віддачі від великих і складних проєктів, якими є проєкти енергозбереження на металургійному підприємстві.

Запропоновано методологію управління портфелями проєктів енергозбереження на металургійних підприємствах, яка відрізняється формуванням парадигми предиктивної адаптації, що базується на взаємопов'язаних адаптивних системах планування, моніторингу і управління змінами та дозволяє на основі прогнозування енергоспоживання для складних технологічних процесів і виробництв, а також моделювання і оцінки якості паливно-енергетичного балансу, в умовах обмеженості ресурсів і ризиків здійснювати формування і відбір для реалізації проєктів енергозбереження при узгодженні пріоритетів бізнес-стратегії і стратегії енергоефективності металургійного підприємства.

Детальний розгляд етапів формування та реалізації портфеля проєктів енергозбереження металургійного підприємства дозволяє зробити наступні виводи:

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

- моделювання та оцінка якості паливно-енергетичного балансу підприємства дозволяє за допомогою вихідних динамічних нормативів отримати певну систему похідних динамічних нормативів для адаптивного регулювання енергетичних активів металургійного підприємства, що забезпечує реалізацію ефективної стратегії енергоменеджменту металургійного підприємства при відборі проєктів для стратегічного планування підвищення енергоефективності та енергозбереження виробництва;

- ранжирування цілей, оцінювання привабливості та реалізуємості проєктних дій стимулюють до вибору тих проєктів, які будуть максимально цінними для енергетичної стратегії підприємства і мінімізують ризики;

- всі пріоритети енергетичної політики пов'язані між собою, вибір конкретних пріоритетів для реалізації підсилює їх спрямованість на результативність у сфері енергоменеджменту за рахунок супутніх ефектів в зонах взаємодії і збільшує можливість реалізації подальших пріоритетів у майбутньому для підприємства;

Основний висновок щодо обґрунтування пріоритетів та оцінки енергетичної політики полягає в тому, що треба робити акцент на ранжування пріоритетів і визначення цілей в рамках цих пріоритетів, що може здійснюватися експертно-аналітичними методами при відборі проєктів з підвищення енергоефективності та енергозбереження.

Розроблений програмно-методичний комплекс управління портфелями проєктів енергозбереження на металургійних підприємствах містить у собі сукупність програмного, інформаційного, математичного, організаційного та методичного забезпечення для виконання робіт із моніторингу енергоспоживання та якості паливно-енергетичного балансу, планування та контролю реалізації проєктів та програми енергозбереження на металургійному підприємстві. За допомогою розробленого програмно-методичного комплексу було проведено оцінювання виконання цільового використання енергетичних ресурсів після реалізації проєктів і заходів з енергозбереження на ПрАТ "Дніпроспецсталь"

Список літератури

1. Шеметов А. Н., Федорова С. В., Кузнецов С. В., Ляпин Р. Н. Современные проблемы и перспективы формирования модели управления энергохозяйством на предприятиях горно-металлургического комплекса. *Электротехнические системы и комплексы*. 2016. № 4 (33). С. 41–48.
2. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Fifth Edition / USA. PMI, 2013. 589 p.
3. Romano L. Adaptive portfolio management. *Advances in IT Personnel and Project Management*. 2017. P. 153–177. DOI: https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2151-8.ch006
4. Wirkus M. Adaptive management approach to an infrastructure project. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2016. P. 414–422. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.206
5. Erzaij K., Hatem W.A., Maula B. Applying Intelligent Portfolio Management to the Evaluation of Stalled Construction Projects. *Open Engineering*. 2020. No. 10 (1). P. 552–562. DOI: https://doi.org/10.1515/eng-2020-0064
6. Kurbanov F., Yessengeldin B. S., Yermanova A. A., Zhanseitov A. T. Features of risk assessment of energy saving projects. *Bulletin of the Karaganda University*. 2019. P. 338–344.
7. Tworek P. Integrated risk management in metallurgical enterprises – Methodical approach. *Metalurgija – Sisak then Zagreb*. 2016. Vol. 55. P. 527–530.
8. Тихомирова О. Г. Адаптивное управление предпринимательскими структурами как открытыми динамическими системами. *Фундаментальные исследования*. 2012. № 9-2. С. 495–499.
9. Ивлев А. А., Кравченко А. Ю., Хованов Д. Г., Стукалин С. В. Совершенствование процессов программно-целевого планирования и управления созданием научно-технического задела для перспективного вооружения на основе адаптивного подхода. *Вооружение и экономика*. 2009. № 2 (6). С. 42–50.
10. Virine L. Adaptive Project Management. PM World Today. 2008. Vol. X, Issue V.
11. Wysocki R. K. Effective Project Management: Traditional, Adaptive, Extreme. Seventh Edition. Wiley. 2014. 726 p.
12. Filimonova, A. A., Kazarinov L. S., Barbasova T. A. A method of effective planning and control of industrial facility energy consumption. *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*. 2015. Vol. 9, No. 12. P. 2070–2074.
13. Omar N. S., Hatem W. A., Najy H. I. Predictive Modeling for Developing Maintenance Management in Construction Projects. *Civil Engineering Journal*. 2019. No.5(4). P. 892–900. DOI: https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091297
14. Кійко С. Г. Предиктивна адаптація при управлінні портфелем проєктів енергозбереження на металургійному підприємстві. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2020. № 4 (41). С. 133–144. DOI: https://doi.org/10.30748/nitps.2020.41.16
15. Molokanova V. M., Orliuk O. P., Petrenko V. O., Butnik-Syverskyi O. B., Khomenko V. L. Formation of metallurgical enterprise sustainable development portfolio using the method of analyzing hierarchies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. No.2. P. 131–136. DOI: https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/131

References

1. Shemetov, A. N., Fedorova, S. V., Kuznetsov, S. V., Lyapin R. N. (2016), "Modern problems and prospects for the formation of a model of energy management at the enterprises of the mining and metallurgical complex" ["Sovremennyye problemy i perspektivy formirovaniya modeli upravleniya energokhozyaystvom na predpriyatiyakh gorno-metallurgicheskogo kompleksa"], *Electrical systems and complexes*, No. 4 (33), P. 41–48.
2. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (2013) – Fifth Edition, USA, PMI, 589 p.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

3. Romano, L. (2017), "Adaptive portfolio management", *Advances in IT Personnel and Project Management*, P. 153–177. DOI: https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2151-8.ch006
4. Wirkus, M. (2016), "Adaptive management approach to an infrastructure project", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, P. 414–422. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.206
5. Erzaij, K., Hatem, W. A., Maula, B. (2020), "Applying Intelligent Portfolio Management to the Evaluation of Stalled Construction Projects", *Open Engineering*, No. 10 (1), P. 552–562. DOI: https://doi.org/10.1515/eng-2020-0064
6. Kurbanov, F., Yessengeldin, B. S., Yermanova, A. A., Zhanseitov, A. T. (2019), "Features of risk assessment of energy saving projects", *Bulletin of the Karaganda University*, P. 338–344.
7. Tworek, P. (2016) "Integrated risk management in metallurgical enterprises – Methodical approach", *Metalurgija – Sisak then Zagreb*, Vol. 55, P. 527–530.
8. Tikhomirova, O. G. (2012), "Adaptive management of entrepreneurial structures as open dynamic systems" ["Adaptivnoye upravleniye predprinimatel'skimi strukturami kak otkrytymi dinamicheskimi sistemami"], *Basic research*, No. 9-2, P. 495–499.
9. Ivlev, A. A., Kravchenko, A. Y., Khovanov, D. G., Stukalin, S. V. (2009), "Improving the processes of program-target planning and management of the creation of a scientific and technical reserve for advanced weapons" based on an adaptive approach ["Sovershenstvovaniye protsessov programmno-tselevogo planirovaniya i upravleniya sozdaniyem nauchno-tekhnicheskogo zadela dlya perspektivnogo vooruzheniya na osnove adaptivnogo podkhoda"], *Armament and economy*, No. 2 (6), P. 42–50.
10. Virine, L. (2008), "Adaptive Project Management", *PM World Today*, Vol. X, Issue V.
11. Wysocki, R. K. (2014), Effective Project Management: Traditional, Adaptive, Extreme, Seventh Edition, Wiley, 726 p.
12. Filimonova, A. A., Kazarinov, L. S., Barbasova, T. A. (2015), "A method of effective planning and control of industrial facility energy consumption", *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, Vol. 9, No. 12, P. 2070–2074.
13. Omar, N. S., Hatem, W. A., Najy, H. I. (2019), "Predictive Modeling for Developing Maintenance Management in Construction Projects", *Civil Engineering Journal*, No. 5 (4), P. 892–900. DOI: https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091297
14. Kiyko, S. G. (2020), "Predictive adaptation in the management of the portfolio of energy saving projects at the metallurgical enterprise" ["Predyktyvna adaptatsiya pry upravlinni portfelem proektiv enerhozberezhennya na metalurhiynomu pidpryyemstvi"], *Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, No. 4 (41), P. 133–144. DOI: https://doi.org/10.30748/nitps.2020.41.16
15. Molokanova, V. M., Orliuk, O. P., Petrenko, V. O., Butnik-Syverskyi, O. B., Khomenko, V. L. (2020), "Formation of metallurgical enterprise sustainable development portfolio using the method of analyzing hierarchies", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, No. 2, P. 131–136. DOI: https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/131

Надійшла (Received) 28.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кійко Сергій Геннадійович – кандидат технічних наук, ПрАТ Електрометалургійний завод "Дніпроспецсталь" ім. А. М. Кузьміна, Голова правління, Запоріжжя, Україна; email: sergiy.kiyko@dss.com.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4676-5722.

Кийко Сергей Геннадьевич – кандидат технических наук, ЧАО Электрометаллургический завод "Днепроспецсталь" им. А. Н. Кузьмина, председатель правления, Запорожье, Украина.

Kiyko Sergey – PhD (Engineering Sciences), PJSC "Electrometallurgical plant "Dniprospetsstal" named after A. M. Kuzmin, Chairman of the Board, Zaporozhye, Ukraine.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИИ ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

На сегодняшний день является актуальной проблема создания и внедрения методологических основ управления портфелями проектов энергосбережения на металлургических предприятиях, с учетом стратегических целей, ограниченности ресурсов и рисков. Решение этой проблемы осложняется тем, что нужно учитывать множество взаимосвязанных потоков энергоресурсов, требований, целей и стратегий поведения отдельных подразделений металлургических предприятий, а также динамику производственных процессов и т.д. **Предметом** исследования статьи являются адаптивные методы управления портфелями проектов энергосбережения на металлургических предприятиях. **Целью** данной работы является создание методов формирования и адаптивного управления портфелем проектов с учетом стратегических целей металлургического предприятия по энергосбережению и энергоэффективности. Решаются следующие **задачи**: анализ и сравнение традиционных и адаптивных процессов управления проєктами; описание основных положений методологии предиктивной адаптации при управлении портфелем энергосберегающих проектов металлургического предприятия; детальное рассмотрение этапов метода формирования и реализации портфеля проектов энергосбережения металлургического предприятия; рассмотрение результатов оценки важности критериев при обосновании приоритетов энергетической стратегии предприятия; обсуждение результатов формирования программы энергосбережения на ЧАО "Днепроспецсталь". **Методы** исследования: методы портфельного менеджмента, методы прогнозирования, экспертно-аналитические методы. Получены следующие **результаты**: Проведено обоснование целесообразности использования адаптивного управления проєктами энергосбережения на металлургическом предприятии. Описаны этапы стратегического планирования по энергосбережению и энергоэффективности, метод формирования и реализации портфеля проектов энергосбережения металлургического предприятия. Рассмотрены результаты использования разработанных методов

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

при формировании программы энергосбережения на ЧАО "Днепроспецсталь". **Выводы**: Построение системы менеджмента проектов и программ энергосбережения на металлургических предприятиях требует решения задачи предиктивной аналитики энергопотребления и качества топливно-энергетического баланса с последующей реализацией адаптивных механизмов планирования, мониторинга и управления изменениями, что позволяет более эффективно формировать и реализовывать портфель проектов энергосбережения на металлургических предприятиях и способствовать повышению энергоэффективности и конкурентоспособности предприятий металлургической отрасли Украины.

Ключевые слова: портфель проектов; предиктивная адаптация; управления энергосбережением; металлургическое предприятие, планирование энергопотребления.

ADAPTIVE PORTFOLIO MANAGEMENT OF ENERGY SAVING PROJECTS AT A METALLURGICAL ENTERPRISE

Today, the problem of creating and implementing methodological foundations for managing portfolios of energy saving projects at metallurgical enterprises is urgent, taking into account strategic goals, limited resources and risks. The solution to this problem is complicated by the fact that it is necessary to take into account the many interrelated flows of energy resources, requirements, goals and strategies of behavior of individual subdivisions of metallurgical enterprises, as well as the dynamics of production processes, etc. The **subject** of the article is adaptive methods of portfolio management of energy saving projects at metallurgical enterprises. The **purpose** of this work is to create methods for the formation and adaptive management of the project portfolio, taking into account the strategic goals of the metallurgical enterprise for energy saving and energy efficiency. The following **tasks** are solved: analysis and comparison of traditional and adaptive project management processes; description of the main provisions of the methodology of predictive adaptation in the management of the portfolio of energy-saving projects of the metallurgical enterprise; detailed consideration of the stages of formation and implementation of the portfolio of energy saving projects of the metallurgical enterprise; consideration of the results of the assessment of the importance of the criteria in substantiating the priorities of the energy strategy of the enterprise; discussion of the results of the formation of the energy saving program at PJSC "Dneprospetsstal". Research **methods**: portfolio management methods, forecasting methods, expert-analytical methods, risk management methods. The following **results** were obtained: The substantiation of expediency of use of adaptive management of energy saving projects at the metallurgical enterprise is carried out. The stages of strategic planning for energy saving and energy efficiency, the stages of formation and implementation of the portfolio of energy saving projects of the metallurgical enterprise are described. The results of the formation of the energy saving program at PJSC "Dneprospetsstal" were considered. **Conclusions**: Building a management system for energy saving projects and programs at metallurgical enterprises requires solving the problem of predictive analysis of energy consumption and fuel and energy balance with subsequent implementation of adaptive mechanisms for planning, monitoring and change management, which allows more efficient formation and implementation of energy saving projects and projects. to promote the increase of energy efficiency and competitiveness of the enterprises of the metallurgical industry of Ukraine.

Keywords: project portfolio; predictive adaptation; energy saving management; metallurgical enterprise, energy consumption planning.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Кійко С Г. Адаптивне управління портфелями проєктів енергозбереження на металургійному підприємстві. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 56–70. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.056

Kiyko, S. (2020), "Adaptive portfolio management of energy saving projects at a metallurgical enterprise", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 56–70. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.056

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

UDC 004.7 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.071

M. MOZHAIEV, P. BUSLOV

A METHOD FOR IMPROVING THE QUALITY INDICATORS OF A DISTRIBUTED FORENSIC INFORMATION SYSTEM

Subject of research: the process of monitoring the quality indicators of a computer network of a forensic information system using methods for increasing the frequency resolution of acousto-optic spectrum analyzers. The **aim** of this work is the possibility of increasing the QoS indicators of a computer network by achieving the potential accuracy of estimating the frequencies of two simultaneously arriving radio pulses using the super-Rayleigh resolution method in acousto-optic spectrum analyzers (AOSA). The following **tasks** are solved in the article: analysis of various information systems of forensic examination and the tasks that they solve; analysis of the use of acousto-optic spectrum analyzers to determine the parameters of the transmitted signal in a distributed forensic system; derivation of an analytical expression for evaluating the potential accuracy of the frequency detuning value of two pulses. The following **methods and models** are used: models and methods of systems theory (based on the information approach), models and methods for constructing distributed systems and their components in accordance with various hierarchical levels of their organization and operating conditions; models and methods of theories of propagation and interaction of electromagnetic waves with wave structures of various physical nature. The following **results** were obtained: The analysis has established that forensic information systems are distributed in nature and impose high requirements on the quality of the functioning of telecommunications equipment of the corresponding computer networks (CN). To meet these requirements, it is necessary to improve the systems for monitoring, protecting and transmitting information in the corresponding CN, which is impossible without solving the problem of monitoring signal parameters. Research has been carried out on the use of AOSA to ensure control over communication channels of computer networks. It was found that most of the AOSA frequency resolution methods have limitations associated with the Rayleigh criterion, which significantly limits the potential for frequency separation of pulses. The use of the method of super-Rayleigh resolution of narrow-band pulses in terms of their arrival time is proposed. An analytical expression is obtained to estimate the potential accuracy of determining the value of the detuning in the frequency of two pulses. **Conclusions.** The forensic information system is a complex heterogeneous distributed system. To improve the efficiency of its functioning, it is necessary to control the parameters of the signal propagating in the network. The use of the super-Rayleigh resolution method in AOSA will increase the resolution of AOSA by increasing the frequency resolution of two non-simultaneous radio pulses of long duration.

Keywords: distributed information system; computer network; acousto-optic spectrum analyzer; QoS indicators of computer networks; resolution; super-Rayleigh resolution.

Introduction

At the moment, in the modern world, there is a colossal amount of ready-to-use information and computing resources that were created at different times. Different approaches were used to develop them. Almost always, when developing a newer information system, you can find and use ready-made in their functions, ready-made components that are already working. The problem is that compatibility requirements were not taken into account when creating them. These components do not understand each other; they cannot work together. It is desirable to have a mechanism or set of mechanisms that will make such independently designed computing resources compatible. The main task of such information and computing resources is, first of all, facilitated access to remote resources and control over the sharing of these resources (computers, files, data in a database (DB). Such resources include a variety of distributed information systems (DIS).

A set of computers connected by communication channels can be considered as a software module (application), executed within a separate process. Users and applications work consistently in DIS regardless of where and when this interaction occurs. To do this, DIS must have characteristics such as hiding from users the differences between computers and how they communicate. Another important DIS characteristic is the way in which DIS provides a consistent user (and application) experience. DIS must meet the following requirements: - transparency; - openness; - flexibility; - scalability (extensibility). These requirements fix two essential points: the autonomy of the DIS nodes and the presentation of the system by the user as a single structure. In this case, the main DIS link is software. Diverse software is rapidly developing and penetrating into all spheres of human activity. Forensic expertise is no exception.

The distributed nature of forensic information systems and the importance of information processed by the system impose increased requirements both on the structure of the system itself and on the quality of data transfer between various subsystems. A large number of studies have been devoted to overcoming these problems [1-12].

A significant place in these studies is occupied by the analysis of the impact of the quality of telecommunications equipment on the functioning of DIS forensic examination. The studies carried out in these works have established that in order to increase the efficiency of the DIS forensic examination, it is necessary to ensure a high quality of functioning of the computer network of the information system, which is not possible without improving the corresponding equipment [9 - 17].

Consequently, the improvement of existing systems for the transmission of information and the design of new telecommunication systems is an urgent task to improve the quality of service for the entire IP of forensic examination.

The **purpose** of this article is to analyze existing models and types of forensic information systems and the

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

possibility of increasing the QoS indicators of a computer network by achieving the potential accuracy of estimating the frequencies of two simultaneously arriving radio pulses using the super-Rayleigh resolution method in acousto-optic spectrum analyzers.

1. To solve this problem, it is necessary to solve a number of specific problems:

2. To analyze the various forensic information systems and the tasks they solve.

3. To conduct an analysis of the use of AOSA to determine the parameters of the transmitted signal in a distributed forensic system.

4. To obtain an analytical expression for evaluating the potential accuracy of the frequency detuning of two pulses.

5. To develop a method to improve the efficiency of a distributed information system

Main part

1. Analysis of the construction and functioning of forensic information systems

Forensic expertise, varied in form and content, is impossible without the use of a variety of sources of information. These are documents in various information systems, including databases. When selecting information, the principles of reliability, relevance, necessary sufficiency and completeness are observed. The principles of creating information systems include simplicity, openness, interactivity, structure, functional distribution, integration, security and automation.

Expert systems are a line of research in the field of artificial intelligence for the creation of computing systems capable of making decisions similar to the decisions of experts in a given subject area [3]. The functioning of a database in forensic science is based on the principles of operational replenishment and relevance, sufficient speed in the search and processing of data, compliance of answers with search queries, as well as ensuring the protection of information. When investigating the situation of an emergency situation (ES), analyzing material evidence, as well as studying an investigative or operational situation, a systematic approach, game theory, queuing, fuzzy sets and other modern approaches to processing complex and diverse information are used. The decision in forensic examination is made in several stages: modeling, building scenes and processes; analysis of situations based on these models; forecasting their changes. Increasingly, modeling is carried out on the basis of three-dimensional models and even using the so-called augmented reality. In traceology and in image analysis, such a model makes it possible to unambiguously identify an object. The objectivity of the examination with such information support is fully realized.

The use of a database in forensic science involves the collection, accumulation, storage, processing and analysis of information. When collecting information, as a rule, special equipment is used, scanners, digital cameras and video cameras, sound recording devices. In some cases, it is still not possible to digitize the information used in the examination. In this case, bullet sleeves, casts of footprints, full-scale collections, etc. are used. Their accumulation, systematization, search and identification is also based on the database. As the main carrier of large amounts of information used to store these databases, the most effective use of hard drives. Sometimes database copies are stored on external hard drives or "in the cloud" on servers that provide access to them over the Internet around the clock. Currently, there are many reference and information funds. The overwhelming majority of them are database-based and are automated information retrieval systems. Forensic institutions [3] use reference and information funds, built in relation to specific types of expertise, as well as for various objects or research methods. However, they are all implemented in the form of automated information retrieval systems based on a database, and are part of the forensic registration system. This system includes subsystems called forensic accounting. Accounts are classified by purpose and features of registration objects.

Thus, the study showed that there are effective information systems in practically all areas of information support for forensic examination. These information systems have a distributed and heterogeneous nature and, in order to ensure the main indicators of the quality of functioning, they place high demands on the quality of the functioning of the telecommunications equipment of the corresponding computer networks (CN). After all, it cannot yet be stated that information systems for the provision of forensic expertise (ISPFE) have the properties of artificial intelligent systems that expert systems possess.

To solve this complex problem, it is necessary to make efforts in all aspects of ISPFE functioning, including to improve the quality of QoS CN. The next section of our article will analyze possible ways to improve QoS through the use of modern methods for determining the parameters of the signal propagating in the network.

2. Analysis of the possibility of using AOSA to determine signal parameters in a computer network.

To successfully solve the problem of electromagnetic compatibility of a large number of currently existing various communication, radio navigation and radar complexes, it is necessary to determine the parameters of radio emission sources as accurately as possible, in real time. The task of measuring the parameters of propagating signals is complicated by the fact that modern radio engineering complexes during operation can change the basic parameters of radiation, such as: frequency, pulse duration, pulse repetition period, and many others. For operational recognition and determination of radio signal parameters, processing methods using acousto-optic interaction are increasingly used. This is due to the specific capabilities of such methods: parallelism, high speed and frequency of optical signal processing, etc. [4, 17, 18].

The above possibilities are implemented in acousto-optic spectrum analyzers (AOSA), which are distinguished by their simplicity of design and parallel processing of signals in a wide frequency band and

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

practically in real time [4]. The advantages of using AOSA for solving spectral analysis problems and expanding the bandwidth of simultaneously analyzed frequencies necessitate a deeper analysis of the resolution of these devices.

Analysis of a number of works [4, 7, 14, 17, 18] devoted to the theory of development of devices for acousto-optic conversion and signal processing allows stating the contiguity of such characteristics of frequency accuracy as the accuracy of reading the radio signal frequency and resolution for the class of devices under consideration. In this case, the resolving power of an acousto-optic spectrum analyzer is understood to be its ability to resolve two close frequency components of the analyzed spectrum or two adjacent in frequency radio emission [7, 14, 17]. Resolution is quantitatively defined as the minimum frequency interval between two radio emissions or spectrum components, at which they are reliably separated. The characteristic of the frequency readout accuracy allows one to judge with what accuracy the frequency interval between adjacent frequency components or the true value of each of them can be measured [4].

Indeed, in the practice of designing and constructing acousto-optic and, in particular, optical devices for spectral analysis, the resolution and frequency readout accuracy are determined by the parameters of the instrumental function formed by these devices and the selected resolution criterion. In most cases, to characterize the frequency accuracy of the device, the concept of the Rayleigh criterion is introduced, to determine which the case is considered when the input of an acousto-optic transducer is affected by two harmonic signals spaced apart in frequency by a value of Δf [4, 17]. This happened historically, by analogy with the resolution of most optical instruments, for example, telescopes. In this case, two optical signals are formed in the focal plane of the device, the intensity distribution of each of which along the plane of the photodetector is described by an apparatus function of the form sin2 (x)/x2, and the linear distance Δx between the maxima of zero orders is proportional to Δf. According to the criterion under consideration, the resolution limit of two signals in a diffraction-limited optical system is reached if the maximum of the zero order of one signal coincides with the minimum of the first order of the second. Thus, the resolution limit and the accuracy of the signal frequency reading according to the Rayleigh criterion are ultimately determined by the device itself, namely, it is inversely proportional to the width of its instrumental function.

The analysis of the resolution criterion considered above, given in [4], shows that it is, in essence, focused on qualitative observations, and the value of the resolution obtained on the basis of such a definition does not correspond to modern requirements for measuring technology. So, for example, the well-known opinion that the limit of the resolution and accuracy of the signal frequency reading is determined by the properties of the device and, in particular, by the width of the generated instrumental function, when investigating the procedure for restoring the input from an inaccurately known output turns out to be incorrect for a wide class of input signals with a finite spectrum.

The inconsistency of the Rayleigh concept of resolution with the results of experiments with quantitative measurements led to a wide discussion of the very concept of resolution and an analysis of the corresponding criteria. The results of research in the field of the theory of resolution and presented in [4, 17, 18] allow us to say that the resolution limit and the accuracy of measuring the frequency reference becomes not a property of the device itself, and is determined, in particular, not by the width of its instrumental function, but by the accuracy of reading output process. In turn, the accuracy of recording the output signals under ideal experimental conditions is determined by fluctuation processes in the equipment. Therefore, only the fluctuation limit of resolution is insurmountable, due to objective physical phenomena (discreteness of the charge, the quantum nature of optical radiation, etc.). Thus, the frequency accuracy of existing acousto-optic spectrum analyzers, the choice of the parameters of photodetectors of which was based on the principles of Rayleigh resolution, can be significantly improved by using special procedures for recording and processing optical signals, taking into account their statistical properties due to the nature of their formation.

Recently, in papers [17, 18] devoted to the problem of increasing the resolving power of acousto-optic spectrum analyzers, other physical principles have also been applied. For example, [17] proposed a technique for increasing the resolution of acousto-optic spectrum analyzers taking into account the nonlinear nature of acousto-optic interaction. In this case, the analysis of the acousto-optic interaction proceeding in acousto-optic spectrum analyzers was carried out without integration over time, which leads to smoothing of fluctuations.

In most cases, the frequencies of radio pulses measured in AOSA are so close that it is not possible to distinguish them using either the Rayleigh criterion or other methods. But in pulsed radar there is a method of super-Rayleigh resolution of narrow-band pulses in terms of their arrival time. The basis of this method is the noiseless idealization of the signal mixture and its analytical representation by a polynomial, the degree of which is equal to the number of signal sources, and the roots are uniquely related to their parameters.

3. Evaluation of the potential accuracy of determining the frequency detuning of two pulses.

It is well known, that in most of the currently existing AOSA, the signal is sequentially read from a line of photosensitive elements. Thus, we can assume that there is a vector containing N measurements at points $x_1, \dots, x_N$ of a random variable distributed according to Poisson's law $n = \{n_1, n_2, \dots, n_N\}$. Each element of the measurement vector is characterized by mathematical expectation $M(n_i)$ and variance $D(n_i)$, and. $\mathrm{M}(\mathrm{n_i}) = D(\mathrm{n_i}) = b_i, \;\; i = 1, 2, \dots, N$.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

It is known [10] that b_i are functions of the parameters a, x_i, Δ:

$$b_i = \left(\frac{Sin\left(a\left(x+\Delta/2\right)\right)}{a\left(x+\Delta/2\right)} \right)^2 + \left(\frac{Sin\left(a\left(x-\Delta/2\right)\right)}{a\left(x-\Delta/2\right)} \right)^2, \quad (1)$$

where a – is the parameter characterizing the diffraction properties of the spectrum analyzer, and the unknown is the parameter Δ, characterizing the frequency detuning of the two analyzed pulses.

In (1), the amplitude is assumed to be normalized to unity, since taking it into account in the future has no difficulties.

Fig. 1, and fig. 2 show the possible form of the mean value of the vector n, determined by dependence (1) at the values $a = \pi$ and $a = 0.5$, respectively (the value Δ= 1).

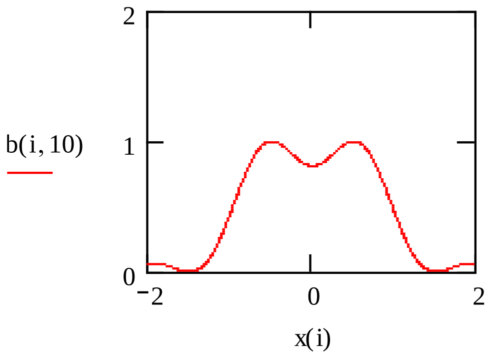


Fig. 1. The average value of the vector n at $a = \pi$

If the samples are independent of each other, their joint distribution will have the form:

$$P(\Delta, \underline{n}) = \prod_{i=1}^{N} P\left(b_i, n_i\right), \quad (2)$$

where

$$P(b_i, n_i) = \frac{e^{-b_i} b_i^{n_i}}{n_i!}. \quad (3)$$

It is required to determine the potential estimation accuracy of the parameter Δ.

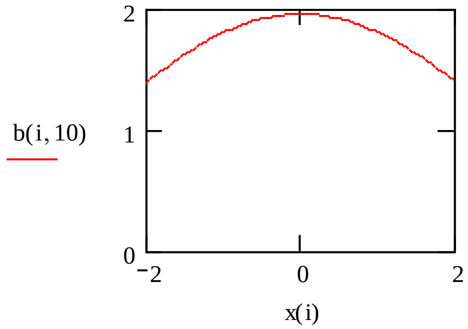


Fig. 2. Average value of vector *n* at *a* = 0,5

The potentially possible variance of the parameter Δ estimation is determined based on the Rao-Cramer inequality. It is equal to the reciprocal of the expected value (i.e., averaged over realizations) of the second derivative of the logarithm of the distribution function (2), taken with the opposite sign [14]:

$$\sigma_\Delta^{\ 2} = -\overline{\partial^2 \ell n P(\Delta, n)/\partial\Delta^2} = 1/\sum_{i=1}^{N} (\partial b_i/\partial\Delta)^2 / b_i\,, \quad (4)$$

where the bar above the expression means the averaging sign,

$$\partial b_i/\partial\Delta = \frac{2Sin\left(a\left(x_i+\Delta/2\right)\right)}{a^3\left(x_i+\Delta/2\right)^3}\left[a\left(x_i+\Delta/2\right)cos\left(a\left(x+\Delta/2\right)\right)-\left(a\Delta/2\right)Sin\left(a\left(x+\Delta/2\right)\right)\right]+$$
$$+\frac{2Sin\left(a\left(x_i-\Delta/2\right)\right)}{a^3\left(x_i-\Delta/2\right)^3}\left[a\left(x_i-\Delta/2\right)cos\left(a\left(x-\Delta/2\right)\right)-\left(a\Delta/2\right)Sin\left(a\left(x-\Delta/2\right)\right)\right].$$

Note that the expression for calculating the variance does not contain the second derivatives of b_i. In practice, the true values of Δ are unknown, so they are replaced with appropriate estimates. However, here we do not consider the issues of obtaining estimates for the unknown parameter and for the purposes of analyzing the dependence of the potential accuracy on the value of the unknown parameter, we will assume that it is known exactly.

We studied the dependence of the value of the root-mean-square error in estimating the detuning of two pulses in frequency σ_Δ on the detuning Δ at various sampling rates of the parameter x. Discretization of the parameter x was carried out on the interval [−2 π /a, 2 π /a], i.e. $x_i = -\frac{2\pi}{a} + i4\pi/aN$, where i = 1, 2, … , N; where N is the number of samples on the selected interval. The research results for a = π are shown in fig. 3 and fig. 4, and in fig. 5 and fig. 6 - for a = 0.5. The number of samples was chosen equal to 10 and 100.

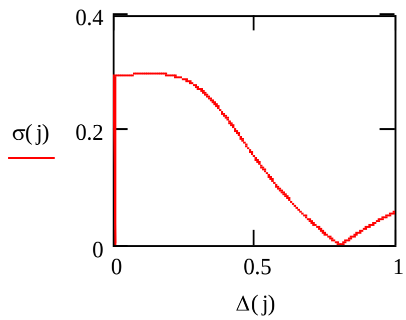


Fig. 3. Dependence of σ_Δ on the detuning value Δ at *N* = 10, *a* = π

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

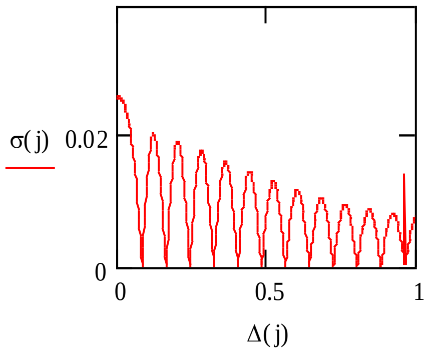


Fig. 4. Dependence of σ_Δ on the detuning value Δ at N = 100, $a = \pi$

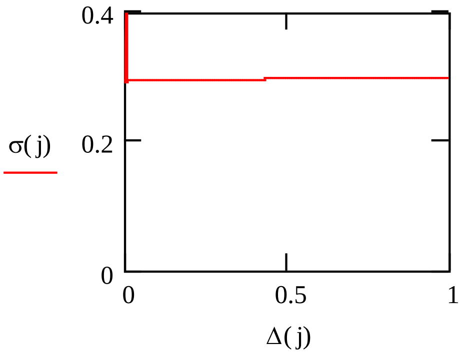


Fig. 5. Dependence of σ_Δ on the detuning value Δ at N = 10, a = 0,5

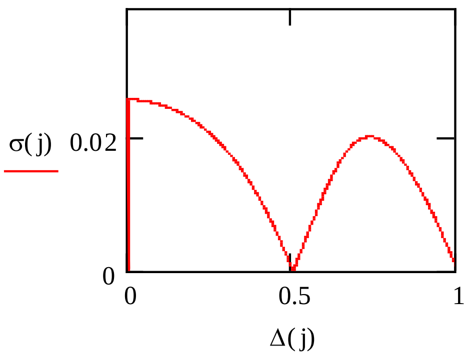


Fig. 6. Dependence of σ_Δ on the detuning value Δ at N = 100, a = 0,5

Analysis of figs. 3 - 6 shows that the dependence of the root-mean-square error in estimating the detuning in frequency on its value is periodic. This is natural, since the terms in (4) are also periodic functions. However, as the value a decreases, the periodicity in the selected interval becomes less noticeable (figs. 1, 2), which explains the difference in the nature of the curves in figs. 3, 5. With a small number of discrete (N = 10, fig. 3, 5) and a small detuning $\Delta < 0.4$, the root mean square error of the estimated parameter is commensurate with its value. This means that reliable estimates are unlikely to be obtained under these conditions. With an increase in the number of samples on the selected interval (N = 100, figs. 4, 6), the value of the root-mean-square error is less than 10% of the value of the estimated parameter over the entire interval.

4. The method of increasing the efficiency of a distributed information system

The results obtained in the previous part of the article allow us to propose a method for controlling the frequency of the signal propagating in the ISPFE information transmission channels. As noted above, this method is based on the use of super-Rayleigh resolution of narrow-band pulses, which provides up to 12% increase in the frequency measurement accuracy in comparison with known methods. Thus, it is possible to propose a method for increasing the operability of a distributed information system, which is based on the use of AOSA, the optimal processing of a signal functioning in the ISPFE computer network, which leads to a significant improvement in the resolution and, in turn, leads to a decrease in information loss caused by electromagnetic problems, compatibility and synchronization of pulses in the investigated computer networks.

Conclusions

The article carried out studies of the forensic information system, which confirmed that this system is distributed and heterogeneous, which explains the complexity of the complete automation of this system. As part of the analysis, it was found that for the effective functioning of the forensic information system, it is necessary to fulfill rather stringent requirements for the computer network that provides information exchange.

It is proposed to monitor the efficiency of the computer network of the forensic information system based on the determination of the main parameters of the signal, which ensures the transmission of information in communication channels.

When monitoring the frequency of pulses propagating in communication channels, the article proposes the use of acousto-optic spectralizers, which provide fairly high frequency resolution values.

As a result of the analysis of the classical (Rayleigh) approach to determining the resolution of AOSA, it was found that the frequency resolution can be significantly improved by applying special procedures for recording and processing optical signals, taking into account their statistical properties due to the nature of their formation.

The article substantiates the possibility of using super-Rayleigh frequency resolution of pulses in acousto-optic spectrum analyzers. An expression is obtained for estimating the potential accuracy of the frequency detuning of two pulses. Analysis of potential accuracy calculations shows that for the practical use of the idea of super-Rayleigh frequency resolution of pulses in acousto-optic spectrum analyzers, it is necessary to provide the required sampling frequency.

The article proposes a method for increasing the efficiency of a distributed information system, which is based on the use of AOSA, the optimal processing of a signal operating in the ISPFE computer network.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

References

1. Lamport, L. "Distributin", available at : http://research.microsoft.com/enus/um/people/lamport/pubs/distributed-system.txt (last accessed: 06.11.2016).
2. Tanenbaum E., Van-Steen, M. (2003), *Distributed Systems. The principles and paradigms*, SPb. : Peter, 877 p.
3. Radchenko, G. I. (2012), *Distributed Computing*, Chelyabinsk : Photographer, 184 p.
4. Mozhaiev, M., Melashchenko, O., Roh, V. Usatenko M. (2020), "Means of improving the quality of service of the computer network of the forensic information system", *Innovate Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 57–65. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057
5. Kuchuk, G. (2007), "Traffic management of multiservice distributed telecommunication network" ["Upravlinnya trafikom mulʹtyservisnoyi rozpodilenoyi telekomunikatsiynoyi merezhi"], *Control, navigation and communication systems*, Kyiv : TsNII NiU, Issue 2, P. 18–27.
6. Kuchuk, G., Ruban, I., Davikoza, O. (2013), "Conceptual approach to synthesis of information and telecommunication network structure" ["Kontseptualʹnyy pidkhid do syntezu struktury informatsiyno-telekomunikatsiynoyi merezhi"], *Systems of information processing: collection of scientific works*, No. 7 (114), P. 106–112.
7. Kosenko, V. (2017), "Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, P. 4–9. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01
8. Kovalenko, A., Kuchuk, G. (2018), "Methods of synthesis of information and the technical structure of structural systems governs a critical situation" ["Metody sinteza informacii i tekhnicheskoj struktury strukturnyh sistem upravlyaet kriticheskoj situaciej"], *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 1, P. 22–27. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04
9. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Yeremenko, O. (2019), "Model of data traffic QoS fast rerouting in infocommunication networks", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 127–134. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.127
10. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, P. 1–6. DOI: https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655
11. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaev, M., Lohvynenco, M. (2017), "Multiservise network security metric", *IEEE Advanced information and communication technologies-2017, Proc. of the 2th Int. Conf.*, Lviv, P. 133–136.
12. Kosenko, V. (2017), "Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 46–52. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.046
13. Kuchuk, G.., Kovalenko, A., Mozhaev, A. (2010), "An Approach to Development of Complex Metric for Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010*, Kyiv : NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, P. 158–160.
14. Kliuiev, O., Mozhaiev, M., Uhrovetskyi, O., Mozhaiev, O., Simakova-Yefremian, E. (2019), "Method of forensic research on image for finding touch up on the basis of noise entropy", *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings*.
15. Davydovskyi, Y., Reva, O., Artiukh, O., Kosenko, V. (2019), "Simulation of computer network load parameters over a given period of time", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 72–80. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.072
16. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I. E., Svyrydov, A., Kharchenko, V. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control, Springer Nature Switzerland AG*, Vol. 171, P. 161–183. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8
17. Mozhaiev, M., Kuchuk, N., Usatenko M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 134-140. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134
18. Rudnytsky, V., Mozhaiev, M. and Kuchuk, N. (2020) "Method for the diagnostics of synchronization disturbances in the telecommunications network of a critical used computer system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (11), P. 172–180. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.172

Received 26.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Можаєв Михайло Олександрович – кандидат технічних наук, Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз ім. засл. проф. М.С. Бокаріуса, завідувач сектору комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень, Харків, Україна; email: mikhail.mozhayev@hniise.gov.ua; ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1566-9260.

Можаев Михаил Александрович – кандидат технических наук, Харьковский научно-исследовательский институт судебных экспертиз им. засл. проф. Н.С. Бокариуса, заведующий сектора компьютерно-технических и телекоммуникационных исследований, Харьков, Украина.

Mozhaiev Mykhailo – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv SRI Examinations named Dist. prof. N.S. Bokarius, Head of the Department of Computer Engineering and Telecommunication, Kharkiv, Ukraine.

Буслов Павло Володимирович – Харківський національний університет радіоелектроніки, здобувач, Харків, Україна; email: p.buslov@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2558-4984.

Буслов Павел Владимирович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, соискатель, Харьков, Украина.

Buslov Pavlo – Kharkiv National University of Radio Electronics, Aspirant, Kharkiv, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Предмет дослідження: процес контролю показників якості комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи із застосуванням методів підвищення роздільної здатності по частоті акустооптичних аналізаторів спектра. **Метою** роботи є можливість підвищення показників QoS комп'ютерної мережі за рахунок досягнення потенційної точності оцінювання частот двох радіоімпульсів, що прийшли одночасно, при використанні методу понадрелеевского дозволу в акустооптичних аналізаторах спектра (АОАС). У статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз різних інформаційних систем судової експертизи і завдань, які вони вирішують; аналіз використання акустооптичних аналізаторів спектра для визначення параметрів сигналу, що передається в розподіленої системі судової експертизи; виведення аналітичного виразу для оцінки потенційної точності величини розладу по частоті двох імпульсів. Використовуються такі **методи і моделі**: моделі та методи теорії систем (на базі інформаційного підходу), моделі і методи побудови розподілених систем і їх компонентів у відповідності з різними ієрархічними рівнями їх організації та умов експлуатації; моделі і методи теорій поширення і взаємодії електромагнітних хвиль з хвильовими структурами різної фізичної природи. Були отримані наступні результати: Проведений аналіз встановив, що інформаційні системи судової експертизи мають розподілений характер і висувають високі вимоги до якості функціонування телекомунікаційного обладнання відповідних комп'ютерних мереж (КМ). Для забезпечення цих вимог необхідне вдосконалення систем контролю, захисту і передачі інформації в відповідних КМ, яке неможливо без вирішення проблеми контролю параметрів сигналу. Проведено дослідження використання АОАС для забезпечення контролю над каналами зв'язку комп'ютерних мереж. Встановлено, що більшість методів покращення роздільної здатності АОАС має обмеження, пов'язані із застосуванням критерію Релея, що істотно обмежує потенційну можливість поділу імпульсів по частоті. Запропоновано використання методу понадрелеевского дозволу вузькосмугових імпульсів по часу їх приходу. Отримано аналітичний вираз для оцінки потенційної точності визначення величини розладу по частоті двох імпульсів. **Висновки.** Інформаційна система судової експертизи є складною гетерогенної розподіленої системою. Для підвищення ефективності її функціонування необхідно здійснювати контроль за параметрами сигналу, що поширюється в мережі. Використання методу понадрелеевского дозволу в АОАС дозволить підвищити роздільну здатність АОАС за рахунок підвищення дозволу по частоті двох радіоімпульсів, що прийшли неодночасно, великої тривалості.

Ключові слова: розподілена інформаційна система; комп'ютерна мережа; акустооптичний аналізатор спектру; показники QoS комп'ютерних мереж; роздільна здатність; понадрелеевский дозвіл.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Предмет исследования: процесс контроля показателей качества компьютерной сети информационной системы судебной экспертизы с применением методов повышения разрешающей способности по частоте акустооптических анализаторов спектра. **Целью** работы является возможность повышения показателей QoS компьютерной сети за счет достижения потенциальной точности оценивания частот двух одновременно пришедших радиоимпульсов при использовании метода сверхрэлеевского разрешения в акустооптических анализаторах спектра (АОАС). В статье решаются следующие **задачи**: анализ различных информационных систем судебной экспертизы и задач, которые они решают; анализ использования акустооптических анализаторов спектра для определения параметров передаваемого сигнала в распределенной системе судебной экспертизы; вывод аналитического выражения для оценки потенциальной точности величины расстройки по частоте двух импульсов. Используются следующие **методы и модели**: модели и методы теории систем (на базе информационного подхода), модели и методы построения распределенных систем и их компонентов в соответствии с различными иерархическими уровнями их организации и условий эксплуатации; модели и методы теорий распространения и взаимодействия электромагнитных волн с волновыми структурами различной физической природы. Были получены следующие **результаты**: Проведенный анализ установил, что информационные системы судебной экспертизы имеют распределенный характер и предъявляют высокие требования к качеству функционирования телекоммуникационного оборудования соответствующих компьютерных сетей (КС). Для обеспечения этих требований необходимо совершенствование систем контроля, защиты и передачи информации в соответствующих КС, которое невозможно без решения проблемы контроля параметров сигнала. Проведены исследования использования АОАС для обеспечения контроля над каналами связи компьютерных сетей. Установлено, что большинство методов разрешения по частоте АОАС имеет ограничения, связанные с применением критерия Рэлея, что существенно ограничивает потенциальную возможность разделения импульсов по частоте. Предложено использование метода сверхрэлеевского разрешения узкополосных импульсов по времени их прихода. Получено аналитическое выражение для оценки потенциальной точности определения величины расстройки по частоте двух импульсов. **Выводы.** Информационная система судебной экспертизы является сложной гетерогенной распределенной системой. Для повышения эффективности ее функционирования необходимо осуществлять контроль за параметрами сигнала, распространяющегося в сети. Использование метода сверхрэлеевского разрешения в АОАС позволит повысить разрешающую способность АОАС за счет повышения разрешения по частоте двух неодновременных радиоимпульсов большой длительности.

Ключевые слова: распределенная информационная система; компьютерная сеть; акустооптический анализатор спектра; показатели QoS компьютерных сетей; разрешающая способность; сверхрэлеевское разрешение.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Можаєв М. О., Буслов П. В. Метод підвищення показників якості розподіленої інформаційної системи судової експертизи. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 71–77. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.071

Mozhaiev, M., Buslov, P. (2020), "A method for improving the quality indicators of a distributed forensic information system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 71–77. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.071

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

UDC 005.4 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.078

S. RUSANOVA

MODELING THE IMPACT OF THE TRANSPORT PROVISION OPTION ON PROJECT RISKS

The **subject** of the research is the formalization of the influence of the option of transport provision of the project on its risks. The **aim** of the study is to improve the efficiency of project management processes by identifying and formalizing the risks associated with the transportation of the project. **Tasks** of the study: to characterize the impact of transportation on the project; to describe formally the dependence of expenses on options for transport provision of projects; to develop a formation scheme and a method for assessing the risks of excess costs and loss of time for the project under the influence of the transport option. The following **methods** are used: system analysis, functional analysis. **Results**: project risks are formed under the influence of many factors, and transport provision is one of the components of this set. The set of characteristics of the project, which are influenced by transport provision - cost, risks, duration, quality, and result, has been established and characterized. At the same time, the alternatives and variability of transport provision form a corresponding impact on the project risks. In this study, under the option of transportation, a combination of a specific type and type of vehicle, its characteristics (for example, carrying capacity) and conditions of use in the project (purchase, lease or service from project suppliers) are accepted. The transport provision of the project is considered for three levels: separate work, time period, and project as a whole. For each of the levels, the following is established: the volume of necessary transport services; the number of vehicles required; costs for each option of transportation. Mathematical expressions are obtained for the magnitude of the potential risks of the project in the form of time losses and additional costs associated with the options for transport provision. Additional costs are determined by the loss of time, the characteristics of the vehicle, the cost structure depending on the conditions for using the vehicles. **Conclusions**: The formalizations obtained make it possible to quantify the impact of transport options on project risks. These results are the basis for the further development of a model for choosing the optimal option for transport provision for the project, implying a set of specific vehicles, terms and conditions of their use in the project.

Keywords: vehicle; risks; project; assessment; costs.

Introduction

Most of the projects being implemented are associated with the creation of material objects, which are, in fact, the products of these projects, which implies the formation of an appropriate logistics system and the need for transportation. Depending on the specifics of the transport infrastructure and the availability of vehicles, the parameters of the project product and the timing of its receipt, that is, the duration of the project life cycle, can be adjusted. For example, in infrastructure projects, the specifics of the terrain and transport infrastructure determine the parameters of the project product and the mode of work on the project. Thus, the development of the project and its planning should be carried out in accordance with the need to transport the logistics of the project.

Transport provision, along with other processes in the project, allows for variation both by the type of vehicles and their characteristics, and by the condition of their use in the project. By the terms of use in the project we mean the purchase of vehicles, their lease for the period of the project or the period of work related to transportation, or the receipt of services from project suppliers. Such combinations – the type of vehicle, its characteristics and conditions of use in the project - form alternative transport options that affect the project as a whole. Establishing this impact on project risks is the crux of the problem addressed in this study. Despite the fact that the issues of transport provision of logistics and optimization of the parameters of the delivery of goods are sufficiently discussed and investigated in modern research, nevertheless, projects are characterized by specific structures and a system of requirements, which determines the specificity of the impact of transport provision on them. Note that this problem, despite its relevance for most of the projects being implemented, is practically not represented in modern studies.

Analysis of literature and research

The theory of project management is enriched with new approaches both in the global aspect (for example, [1, 2]) and in terms of individual areas of knowledge.

The alternative options for transport logistics in terms of the characteristics of vehicles and their use on the example of sea transportation and large exporters was investigated in [3, 4], with the main focus on the exporter's transport costs. Projects related to the development of transport and infrastructure has certain specificity; therefore, this problem is actively addressed in modern research, for example, [5-11]. In addition, the development of the concept of project-oriented management determines the use of a project-based approach to the organization of cargo delivery [12]. Transport provision for projects of logistics systems is mentioned in [13] as an element that may or may not be included in the project product, but further this issue does not receive any development.

Some works that relate to transportation issues in the project are related to field development projects (for example, [14]), but these studies are aimed at optimizing the routes of bypassing drilling platforms by specialized marine vessels, that is, in fact, they are considering the already selected option of transportation for the level of operational management of transportation processes.

Any processes associated with projects correspond to one of the areas of knowledge in project management [15], and, in particular, risk and risk management is one of

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2524-2296 (online)*

them. Since the variation of transport provision determines not only the costs of the project, but also its risks, it should be noted that this issue, in principle, has not been studied in scientific works. The ideas of the formation of regularities in transport costs presented in [3] can be taken as a basis.

Statement of the purpose of the article. Based on the foregoing, the purpose of this study is to improve the efficiency of project management processes by identifying and formalizing the impact of the transport option on project risks.

Based on the goal, the objectives of the study are:

1) to characterize the impact of transportation on the project;

2) to describe formally the dependence of costs on options for transport provision of projects;

3) to develop a formation scheme and a method for assessing the risks of excess costs and loss of time for the project under the influence of the option of transport provision

Results

So, each project allows for an alternative in transportation, and the choice of the best option should be carried out taking into account the interests of the entire project. In contrast to the problems of choosing transport provision in transport logistics, where, as a rule, the main criterion is transport costs provided that the necessary parameters of transport services are provided, the project arises (fig. 1):

a) *additional requirements* related to the timing of the project and project tasks, that is, taking into account the project life cycle and the duration of project work;

b) the need to take into account the impact of transport services *on the entire project*, and, therefore, on its *cost, risks, quality, and result.*

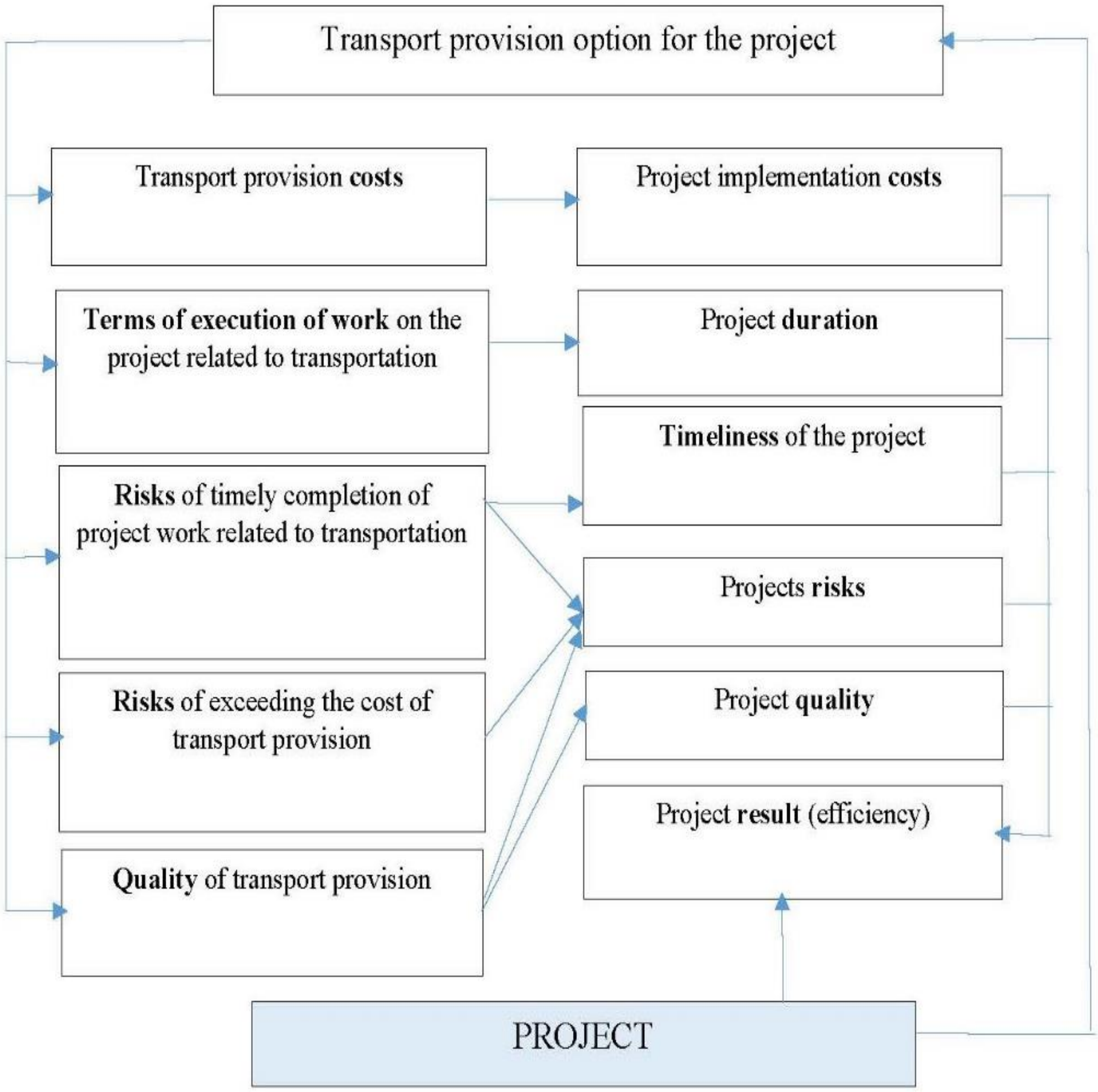


Fig. 1. Influence of transport provision on project characteristics

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Cost indicators, although they are dominant when choosing a transport option, nevertheless, each option contributes to the risks of the project, and in practice, the choice of the best option is based on a cost-risk trade-off. Therefore, it is important to assess the magnitude of the risks from the point of view of the entire project.

As alternative options for transport provision of projects, we will consider the following combination $\left\langle C_k^g, b \right\rangle$:

- kind of vehicle $k = \overline{1,K}$,
- type of vehicle $g = \overline{1,G_k}$,
- vehicle characteristics $C_k^g = \left(C_{k1}^g, C_{k2}^g, ..., C_{kY_k}^g\right)$.

Terms of use in the project: purchase of vehicles $b = 1$, rental of vehicles $b = 2$, transport service as a service from suppliers $b = 3$.

Note that the transport provision of the project involves three levels of consideration: work, time period, project as a whole. This decomposition is determined by the variety of projects, primarily in terms of scale and duration in time. Therefore, depending on the specifics of the project, one or another variant of the level of consideration of the transport provision of the project is selected.

Risk assessment is carried out after the sequential solution of the following tasks: establishing the volume of necessary transport services, determining the number of necessary vehicles, determining the costs for each option of transportation.

Establishing the volume of necessary transport services. The network schedule of the project (work $A_{ij}, i, i = \overline{1,n-1}, j = \overline{2,n}, i \neq j$) is the basis for obtaining information about the volumes of required traffic, as a result, the following is formed: Q_{kij}^g – the volume of transport services for a specific project work for each type and type of vehicle used in the project; $Q_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})$ – the volume of transport services for the project for a specific period of time $\left[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}\right]$; $\tau = \overline{1,\psi}$ ψ – the number of allocated time intervals within the project life cycle; $Q*_k^g$ – the total volume of transport services for the project with a specific type and type of vehicle.

Determining the number of vehicles required. The characteristics of the vehicle determine its "performance" P_{kij}^g (carrying capacity) in the specific conditions of the considered transport service (transportation distances, empty/ballast trips/transitions, loading/unloading intensity, the need for additional stops, etc.):

$$P_{kij}^g = P_{kij}^g(C_k^g), k = \overline{1,K}, g = \overline{1,G_k}, i = \overline{1,n-1}, j = \overline{2,n}. \quad (1)$$

Carrying capacity $P_{kij}^g(C_k^g)$ determines the number of vehicles of each type and type N_{kij}^g required to perform transport services for the project:

$$N_{kij}^g = \frac{Q_{kij}^g}{P_{kij}^g(C_k^g)}, k = \overline{1,K}, g = \overline{1,G_k}, i = \overline{1,n-1}, j = \overline{2,n}. \quad (2)$$

If the conditions of transport services for works of one time interval $\left[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}\right]$ are practically the same, that is $P_{kij}^g = P_k^g$, $A_{ij} \in \left[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}\right]$, the number of vehicles for the project time period (taking into account rounding):

$$N'^g_k(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) = \left\lceil \frac{Q_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})}{P_k^g(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})} \right\rceil, \quad (3)$$
$$k = \overline{1,K}, g = \overline{1,G_k}, \tau = \overline{1,\psi}.$$

In this case, the carrying capacity naturally depends on $\left[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}\right]$. The total number of vehicles of each type and type for the project as a whole:

$$N*_k^g(C_k^g) = \left\lceil \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^{n} N_{kij}^g(C_k^g) \right\rceil = \left\lceil \sum_{\tau=1}^{\psi} N_k^g(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) \right\rceil, \quad (4)$$
$$k = \overline{1,K}, g = \overline{1,G_k}.$$

The formalization of transport costs is summarized in table 1.

Table 1. *Costs by options for project transportation*

Transport support costs of the project	**Transport support costs of work** A_{ij}	**Transport support costs over a period of time** $\left[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}\right]$
	$b = 3$	
$R*_{kb}^g(C_k^{g\gamma}, Q*_k^g)$, $k = \overline{1,K}, g = \overline{1,G_k}$, $\gamma = \overline{1,\Gamma_k^g}$	$R_{kbij}^g(C_k^{g\gamma}, Q_{kij}^g)$, $k = \overline{1,K}, g = \overline{1,G_k}$, $\gamma = \overline{1,\Gamma_k^g}, i = \overline{1,n-1}, j = \overline{2,n}$	$R_{kb}^g(C_k^{g\gamma}, Q_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})$, $k = \overline{1,K}, g = \overline{1,G_k}$, $\gamma = \overline{1,\Gamma_k^g}, \tau = \overline{1,\psi}$

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

The end **Table 1.**

$b=2$		
$R^{*g}_{kb}(C^g_k, Q^{*g}_k, T^g_k) =$ $= R^{*og}_{kb}(C^g_k, Q^{*g}_k) +$ $+R^{*rg}_{kb}(C^g_k, T^g_k),$ $k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}$	$R^g_{kbij}(C^g_k, Q^g_{kij}, t_{ij}) =$ $= R^{og}_{kbij}(C^g_k, Q^g_{kij}) + R^{rg}_{kbij}(C^g_k, t_{ij}),$ $k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k},$ $i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}$	$R^g_{kb}(C^g_k, Q^g_k, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) =$ $= R^{og}_{kb}(C^g_k, Q^g_k) +$ $+R^{rg}_{kb}(C^g_k, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}),$ $k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}, \tau=\overline{1,\psi}$
$b=1$		
$R^{*g}_{kb}(C^g_k, Q^{*g}_k, T^g_k, F) =$ $= R^{*og}_{kb}(C^g_k, Q^{*g}_k) +$ $+R^{*pg}_{kb}(C^g_k, T^g_k) +$ $+R^{*invg}_{kb}(C^g_k, F),$ $k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}$	$R^g_{kbij}(C^g_k, Q^g_{kij}, t_{ij}, F) =$ $= R^{og}_{kbij}(C^g_k, Q^g_{kij}) +$ $+R^{pg}_{kbij}(C^g_k, t_{ij}) + R^{invg}_{kbij}(C^g_k, F),$ $b=1, k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k},$ $i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}$	$R^g_{kb}(C^g_k, Q^g_k, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}, F) =$ $= R^{og}_{kb}(C^g_k, Q^g_k) + R^{pg}_{kb}(C^g_k, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) +$ $+R^{invg}_{kb}(C^g_k, F),$ $k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}, \tau=\overline{1,\psi}$

Accepted designations: T^g_k – vehicle rental period; R^{og}_{kb} operating (maintenance) costs; $R^{rg}_{kb}, b=2$ payment of rent; $f^{rg}_k(C^g_k, t_{ij})$, $f^{rg}_k(C^g_k, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})$, $f^{rg}_k(C^g_k, T^g_k)$ respectively, rental rates of vehicles for work duration t_{ij}, time period and the project as a whole; $F=(F_1,..,F_\lambda)$ – conditions of financing when purchasing a vehicle; $R^{invg}_{kb}, b=1$ – investment costs; $R^{pg}_{kb}, b=1$ – fixed costs of vehicles; $\gamma=\overline{1,\Gamma^g_k}$ – transport service provider index (for $b=3$).

The main project risks associated with transport support are overspending (i.e. exceeding budget limits) and failure to meet the deadlines for project work and the project as a whole. At the same time, the loss of time can also be estimated as additional costs (including fines for delays in obtaining the project product, etc.). The risk is determined not only by the characteristics of vehicles (for example, an old ship implies a high risk of breakdowns and the need for unscheduled repairs), but, first of all, by the conditions of their use in the project. For example, when renting or purchasing vehicles, the project management system gets full control over transportation, but at the same time increases the degree of responsibility for the vehicle (for example, the need to pay for repairs). Let's look at this issue in more detail for each variant of transport support of the project from the point of view of the terms of use of vehicles.

For the use case of transport services from suppliers, that is, for $b=3$, the main risk is the risk associated with the choice of the supplier. As a rule, the level of costs, in this situation, is relatively constant, and the main risk lays in the failure to meet the deadlines for the delivery of vehicles, etc., that is, delays in the provision of transport services. Thus, the main risk in this situation can be expressed in the form $\Delta t_{ijb}, b=3, i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}$ for those works that use transport support, and the volume of transport services Q^g_{kij} is compared to them, this generally involves the use of several types and types of vehicles. Therefore, within the framework of the transport service of a specific work, several types and types of vehicles can take part, and the possible increase in the time for performing the work is, in principle, a function of their characteristics, that is $\Delta t_{ijb}=\Delta t_{ijb}(C^g_k, k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}), b=3$.

When choosing the option of transport provision for $b=3$ the alternative arises, first of all, from the point of view of the company supplying transport services, so let's supplement the characteristics of the vehicle with the index of belonging to a certain supplier – $C^{g\gamma}_k$. Taking this into account, a possible increase in the time of project work under the influence of the transport factor has the form:

$$\Delta t_{ijb}=\Delta t_{ijb}(C^{g\gamma}_k, k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}, \gamma=\overline{1,\Gamma^g_k}), b=3. \quad (5)$$

It should be noted that this value can be estimated at the stage of project preparation and the beginning of its implementation only by an e xpert way, where the experience of an expert on the results of transport services for similar projects serves as the initial information.

An increase in the time of work execution by an amount Δt_{ijb} allows in accordance with the network schedule of design work, taking into account time reserves, critical path, etc. to determine the impact Δt_{ijb} on the duration of the life cycle of the project T and, in particular, the time of receipt of the project product T^{prod}_b, that is, to set the values $T^{prod}_b, \Delta T_b$:

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

$$\Delta T_b^{prod} = \Delta T_b^{prod}(\Delta t_{ijb}, i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}),$$
$$\Delta T_b = \Delta T_b(\Delta t_{ijb}, i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}), b=3. \quad (6)$$

Any delays in the course of project work, as a rule, lead to additional financial costs for the project ΔR_b:

$$\Delta R_b = \Delta R_b(\Delta T_b, \Delta T_b^{prod}, \Delta t_{ijb}, i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}), b=3. \quad (7)$$

Note that in (7) additional project costs ΔR are, on the one hand, the results of an increase in the duration of the project, on the other hand, the result of not completing the project on time, that is, delays in receiving the project product T_b^{prod} and completing the project ΔT_b (for example, penalties, loss of favorable time to market with the project product). Thus, not only direct costs, but also indirect ones, in the form of loss of commercial opportunities with the project product, form ΔR_b, that is, (7) can be clarified:

$$\Delta R_b = \Delta R_1(\Delta T_b) + \Delta R_2(\Delta T_b^{prod}) +$$
$$+\Delta R_3(\Delta t_{ijb}(C_k^{g\gamma}), k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k},$$
$$\gamma = \overline{1,\Gamma_k^g}, i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}), b=3. \quad (8)$$

For the option of leasing vehicles, that is for $b=2$ the main risk is associated with the excess of the planned costs for work, time period and project, respectively, by the values: $\Delta R_{kbij}^{og}(C_k^g, Q_{kij}^g)$, $\Delta R_{kb}^{og}(C_k^g, Q_k^g)$, $\Delta R*_{kb}^{og}(C_k^g, Q*_k^g)$. Moreover, the level of these values is specific for a particular type and type of vehicle, in addition, the characteristics of a vehicle C_k^g determine not only a possible increase in operating costs (for example, an "old" vehicle requires additional costs for fuel, lubricants, minor repairs, etc.), but also possible loss of time due to a malfunction of the vehicle, which, as in the above situation, leads to an increase in the duration of the project. In contrast to (5), for the situation with the rental of a vehicle, the increase in the duration of the work is not associated with suppliers, but exclusively with the characteristics of vehicles:

$$\Delta t_{ijb} = \Delta t_{ijb}(C_k^g, k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}), b=2. \quad (9)$$

Taking into account the more complex cost structure for this option of transport provision, the risk of increased costs ΔR_b is associated with two components – one is formed under the influence of a possible increase in the time for work ΔR^t (similar to the option $b=3$ considered above), the second - under the influence of risk factors associated with operating a vehicle temporary ownership) ΔR^r.

Thus, additional project costs in case of using rented vehicles:

$$\Delta R_b = \Delta R^t + \Delta R^r, b=2,$$
$$\Delta R^t = \Delta R_1(\Delta T_b) + \Delta R_2(\Delta T_b^{prod}) +$$
$$+\Delta R_3(\Delta t_{ijb}(C_k^g), k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}, i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}); \quad (10)$$
$$\Delta R^r = \sum_{k=1}^{K}\sum_{g=1}^{G_k} \xi_k^g \cdot \Delta R*_{kb}^{og}(C_k^g, Q*_k^g),$$

where $\xi_k^g \ge 0$ is a coefficient that reflects the share of possible increase in operating costs for each type and type of vehicle. Establishing this ratio goes beyond project management, but is determined by transport specialists, taking into account the specifics of each type and type. In general, this coefficient depends not only on the specifics of the type and type of vehicle, but also on its characteristics C_k^g (for example, the use of an old truck naturally has a great chance of causing an increase in operating costs, including for minor repairs, than a new one), that is $\xi_k^g(C_k^g)$. As $\Delta R*_{kb}^{og}(C_k^g, Q*_k^g)$ is associated with each vehicle, then when forming the final value of additional costs in (9) this is taken into account as a sum for all vehicles.

For the option of purchasing vehicles for the project, that is at $b=1$, the risks of a possible increase in the time parameters of the project are similar for the option $b=2$. At the same time, the risks of an increase in project costs are maximum, since in addition to the risks of an increase in operating costs as for $b=2$, there is a risk of an increase in investment costs (for example, if a loan was used in foreign currency, and the exchange rate changed significantly during the implementation of the project; or due to the inability to complete the next payment on the loan, penalties are charged).

Thus, additional project costs in case of using the purchase of vehicles:

$$\Delta R_b = \Delta R^t + \Delta R^r + \Delta R^{inv}, b=1,$$
$$\Delta R^t = \Delta R_1(\Delta T_b) + \Delta R_2(\Delta T_b^{prod}) +$$
$$+\Delta R_3(\Delta t_{ijb}(C_k^g), k=\overline{1,K}, g=\overline{1,G_k}, i=\overline{1,n-1}, j=\overline{2,n}); \quad (11)$$
$$\Delta R^r = \sum_{k=1}^{K}\sum_{g=1}^{G_k} \xi_k^g \cdot R*_{kb}^{og}(C_k^g, Q*_k^g),$$
$$\Delta R^{inv} = \sum_{k=1}^{K}\sum_{g=1}^{G_k} \varsigma_k^g \cdot R*_{kb}^{invg}(C_k^g, F),$$

where the coefficient $\varsigma_k^g \ge 0$ determines the possible increase in investment costs, and in the general case it depends on the financing conditions, that is, it can be represented as $\varsigma_k^g(F)$.

A diagram of the influence of the transport option on the project risks in terms of time and costs is shown in fig. 2.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

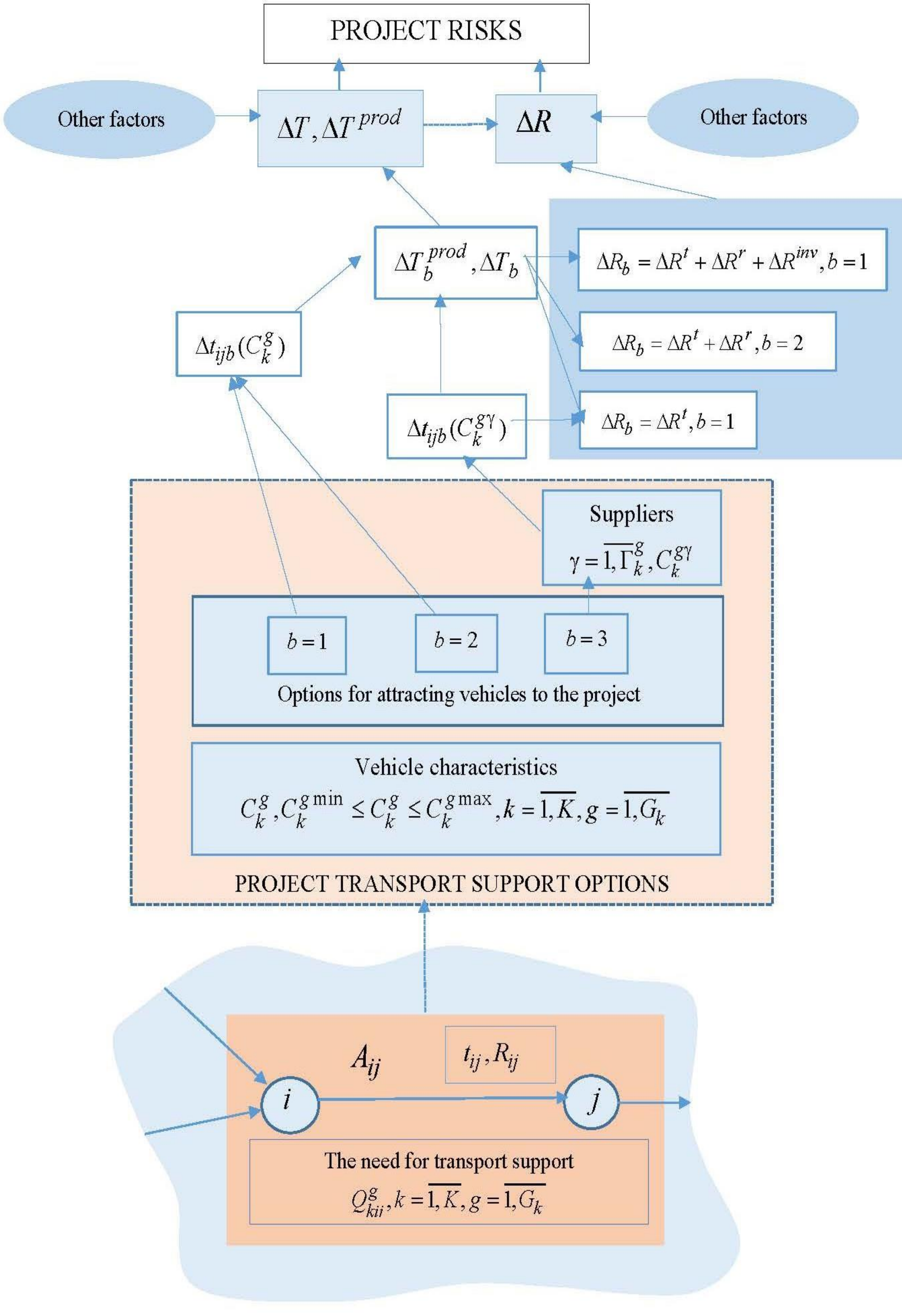


Fig. 2. Scheme of the formation of risks of excess costs and loss of time for the project associated with various options for transport support of projects

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Conclusions

Project risks are formed under the influence of many factors, and transport provision is one of the components of this set. At the same time, the alternatives and variability of transport provision form a corresponding impact on the project risks. A project transport option is a combination of specific types and types of vehicles, their characteristics (for example, carrying capacity) and the conditions for their use in the project (purchase, lease, or transport service from project suppliers). Mathematical expressions have been obtained for the magnitude of the potential risks of the project (in the form of time losses and additional costs) associated with the options for transportation.

The results obtained are the basis for the further development of a model for choosing the optimal option for transport support for the project, implying a set of specific vehicles, the terms and conditions of their use in the project.

References

1. Bushuyev, S., Bushuiev, D., Bushuieva, V. (2020), "Project management during Infodemic of the COVID-19 Pandemic", Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 2 (12), P. 13–21. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.013
2. Dotsenko, N., Chumachenko, D., Chumachenko, I. (2019, June), "Management of Critical Competencies in a Multi-Project Environment, *In ICTERI*, P. 495–500.
3. Onishchenko, S. P., Siraev, A. R., Samoilovskaya, V. P. (2012), "Evaluation of the effectiveness of options for organizing transport provision of distribution systems" ["Otsenka effektivnosti variantov organizatsii transportnogo obespecheniya raspredelitel'nykh sistem"], *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, Vol. 6, No. 3, P. 37–43.
4. Onishchenko, S. P., Siraev, A. R. (2013), "Optimization of transport support of systems of distribution of export production" ["Optymyzatsyya transportnoho obespechenyya system raspredelenyya éksportnoy produktsyy"], *Methods and means of management of development of transport systems*, No. 1, P. 58–72.
5. Chen, Z. et al. (2019), "Research on Comprehensive Multi-Infrastructure Optimization in Transportation Asset Management: The Case of Roads and Bridges", *Sustainability*, No. 16, P. 4430–4459.
6. Gamez, E. A., Touran, A. (2009), "A Method of Risk ranking for International Transportation Projects", *Proceedings of 7th International Probabilistic Workshop*, Delft, The Netherlands, P. 187–203, November.
7. Owens, J. (2010), "Project Management for Complex Transportation Projects", *Graduate Theses and Dissertations*, 11627. DOI: https://doi.org/10.31274/etd-180810-1807
8. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2009), *Guidance for Transportation Project Management*, Washington, DC: The National Academies Press. DOI: https://doi.org/10.17226/23028.
9. Bínová, H. (2013), "Methodology of transportation project management", *Journal of System of Integration*, No. 1, P. 30–37.
10. Lytvynenko, D., Malyeyeva, O. (2019), "A comprehensive method of balancing and harmonizing the interests of stakeholders in transport systems development projects", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 91–98. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.091
11. Abou-Senna, H., Radwan, E., Navarro, A., Abdelwahab, H. (2018), "Integrating transportation systems management and operations into the project life cycle from planning to construction: A synthesis of best practices", *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Vol. 5, Issue 1, P. 44–55. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.04.006
12. Pavlova, N., Onyshchenko, S. (2020), "Organization of transport company's project-oriented management (on the example of the freight forwarding company)", *Management of Development of Complex Systems*, No. 42, P. 23–29. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.23-28
13. Andrievska, V., Bondar, A., Onyshchenko, S. (2019), "Identification of creation and development projects of logistic systems", *Development of management and entrepreneurship methods on transport*, No. 4 (69), P. 26–37. DOI: https://doi.org/10.31375/2226-1915-2019-4-26-37
14. Halvorsen-Weare, E. E., Fagerholt, K. (2011), "Robust Supply Vessel Planning", *Network Optimization*, Berlin: Springer, P. 559–573. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-642-21527-8_62
15. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) (2013), *Project Management Institute*, Fifth edition, 589 p.

Received 03.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Русанова Світлана Сергіївна – Одеський національний морський університет, старший викладач кафедри експлуатації портів і технологій вантажних робіт, Одеса, Україна; email: rusanova20140909@gmail.com; ORCID: http://orcid.org//0000-0003-3624-6582.

Русанова Светлана Сергеевна – Одесский национальный морской университет, старший преподаватель кафедры эксплуатации портов и технологий грузовых работ, Одесса, Украина.

Rusanova Svitlana – Odessa National Maritime University, Senior Lecturer of the Department of Port Operating and Handling Technologies, Odessa, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВАРІАНТУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА РИЗИКИ ПРОЄКТУ

Предметом дослідження є формалізація впливу варіанту транспортного забезпечення проєкту на його ризики. **Метою** дослідження є підвищення ефективності процесів управління проєктами за рахунок ідентифікації та формалізації ризиків, пов'язаних з транспортним забезпеченням проекту. **Завдання** дослідження: охарактеризувати вплив транспортного забезпечення на характеристики проекту; формалізовано описати залежність витрат за варіантами транспортного забезпечення проектів; розробити схему формування і метод оцінки ризиків перевищення витрат і втрат часу за проектом під впливом варіанти транспортного забезпечення. Використовуються такі **методи**: системний аналіз, функціональний аналіз. **Результати**: ризики проєкту формуються під впливом безлічі факторів, і транспортне забезпечення є однією зі складових цієї множини. Встановлено і охарактеризовано сукупність характеристик проєкту, на які впливає транспортне забезпечення – вартість, ризики, тривалість, якість, і результат. При цьому альтернативність і варіативність транспортного забезпечення формують відповідний вплив на ризики проєкту. В даному дослідженні під варіантом транспортного забезпечення прийнята комбінація конкретного типу і виду транспортного засобу, його характеристики (наприклад, вантажопідйомність) і умови використання в проекті (придбання, оренда або послуга від постачальників проєкту). Транспортне забезпечення проекту розглянуто для трьох рівнів: окрема робота, період часу, проєкт в цілому. Для кожного з рівнів встановлено: обсяг необхідного транспортного обслуговування; кількість необхідних транспортних засобів; витрати по кожному варіанту транспортного забезпечення. Отримано математичні вирази для величини потенційних ризиків проєкту у вигляді втрат часу і додаткових витрат, пов'язаних з варіантами транспортного забезпечення. Додаткові витрати визначаються втратами часу, характеристиками транспортного засобу, структурою витрат в залежності від умови використання транспортних засобів. **Висновки**: Отримані формалізації дозволяють кількісно оцінити вплив на проєкт на рівні ризиків варіантів транспортного забезпечення проєктів. Дані результати є базою для подальшої розробки моделі щодо вибору оптимального варіанта транспортного забезпечення проєкту, що має на увазі сукупність конкретних транспортних засобів, терміни і умови їх використання в проєкті.

Ключові слова: транспортний засіб; ризики; проєкт; оцінка; витрати.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАРИАНТА ТРАНСПОРТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА РИСКИ ПРОЕКТА

Предметом исследования является формализация влияния варианта транспортного обеспечения проекта на его риски. **Целью** исследования является повышение эффективности процессов управления проектами за счет идентификации и формализации рисков, связанных с транспортным обеспечением проекта. **Задачи** исследования: охарактеризовать влияние транспортного обеспечения на проект; формализовано описать зависимость расходов по вариантам транспортного обеспечения проектов; разработать схему формирования и метод оценки рисков превышения расходов и потерь времени по проекту под влиянием варианта транспортного обеспечения. Используются следующие **методы**: системный анализ, функциональный анализ. **Результаты**: риски проекта формируются под влиянием множества факторов, и транспортное обеспечение является одной из составляющей этого множества. Установлена и охарактеризована совокупность характеристик проекта, на которые оказывает влияние транспортное обеспечение – стоимость, риски, продолжительность, качество, и результат. При этом альтернативность и вариативность транспортного обеспечения формируют соответствующее влияние на риски проекта. В данном исследовании под вариантом транспортного обеспечения принята комбинация конкретного типа и вида транспортного средства, его характеристики (например, грузоподъемность) и условия использования в проекте (приобретение, аренда или услуга от поставщиков проекта). Транспортное обеспечение проекта рассмотрено для трех уровней: отдельная работа, период времени, проект в целом. Для каждого из уровней установлены: объем необходимого транспортного обслуживания; количества необходимых транспортных средств; расходы по каждому варианту транспортного обеспечения. Получены математические выражения для величины потенциальных рисков проекта в виде потерь времени и дополнительных затрат, связанных с вариантами транспортного обеспечения. Дополнительные затраты определяются потерями времени, характеристиками транспортного средства, структурой затрат в зависимости от условия использования транспортных средств. **Выводы**: Полученные формализации позволяют количественно оценить влияние вариантов транспортного обеспечения на риски проектов. Данные результаты являются базой для дальнейшей разработки модели по выбору оптимального варианта транспортного обеспечения проекта, подразумевающей совокупность конкретных транспортных средств, сроки и условия их использования в проекте.

Ключевые слова: транспортное средство; риски; проект; оценка; расходы.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Русанова С. С. Моделювання впливу варіанту транспортного забезпечення на ризики проєкту. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 78–85. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.078

Rusanova, S. (2020), "Modeling the impact of the transport provision option on project risks", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries,* No. 4 (14), P. 78–85. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.078

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

UDC 519.68 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.086

Lb. CHERNOVA, L. CHERNOVA

COGNITIVE MODELING OF KNOWLEDGE MANAGEMENT MECHANISMS IN THE TRAINING OF SPECIALISTS

The **subject** of research in this article is knowledge management in the training of specialists in project-oriented organizations, in particular, higher education institutions. The **purpose** of the work is to develop a cognitive model of knowledge management for the formation of educational programs in the training system. **Objectives** of the study: to consider the concepts and mechanisms of knowledge management of organizations; to form a cognitive model of the knowledge management mechanism; to consider system indicators of cognitive model; to analyze the structural features of the cognitive model. The following **methods** are used in the work: project management methodology (knowledge management areas), system approach, cognitive and graph models. **Results**. The article provides a definition of "knowledge management", discusses the conditions under which the necessary knowledge and information will be available to perform tasks. The issue of consideration the specifics and features of the educational institution is discussed. Knowledge management methods are used in the construction of the educational process at the university. The main functions in the practical activities of the organization are given: mediation, export, internalization, cognition. Forms of practical implementation of knowledge management are also considered: educational organization, knowledge library and strategic awareness. The article also considers the possibility of the main provisions of the theory of knowledge management in the educational process, as improving the quality of training is the goal of any educational system. The article develops a cognitive model of the knowledge management mechanism, on the basis of cognitive analysis revealed useful patterns that reflect the influence of factors of different physical nature on the results of training. **Conclusions**. Cognitive modeling can be the key to rapidly improving the effectiveness of knowledge management in training. The classical approach to knowledge management requires a high level of employee involvement in relevant processes, as they need to identify knowledge, share it, record it and apply it. Cognitive modeling can reduce this requirement as it streamlines the processes of identifying, capturing, storing, and sharing knowledge. In addition, they increase the applicability of knowledge by offering appropriate context for the student. The accumulated experience of cognitive modeling of complex organizational management systems allows on a fundamental basis to approach the study of knowledge management mechanisms in the training of specialists. It is proposed to use the obtained results to configure knowledge management mechanisms in order to improve the quality of training.

Keywords: knowledge management; cognitive technologies; educational process; educational programs; cognitive analysis.

Introduction

Currently, a new direction has appeared in management – the theory of knowledge management. Knowledge management is a developing area of scientific and practical activities, the purpose of which is to systematize the work with intellectual resources (assets) and accumulated experience. We cannot manage knowledge in the traditional sense, but we can, according to B. Gates, create such conditions when the necessary knowledge and information will be available at the right time to the right people to perform the necessary tasks. Individuals' knowledge can be expanded and deepened, i.e. managed, for example, by building different formats of training with teachers, tutors or self-study.

Cognitive knowledge management mechanisms can be the key to rapidly improving the effectiveness of knowledge management. Cognitive technologies allow to automate the processes of identification, fixation and exchange of knowledge.

The choice of knowledge management methodology will be productive in the development of educational programs for higher education.

Analysis of recent publications

The existing publications investigate the methods, models and mechanisms of project-oriented management of educational activities of higher educational institutions [1].

Thus, in [2], factors that affect the results and possibilities of introducing key competencies into the activities of an organization are analyzed, and a general algorithm for the transition from direct to dual competence is proposed.

The article [3] analyzes the influence of the requirements for scientific and pedagogical workers, enshrined in licensing conditions, on the parameters of the educational process in a higher educational institution. The degree of sufficiency of these factors for the preparation of a graduate competitive in the labor market is analyzed. A cognitive model based on indicators used to assess an educational institution during licensing and additional indicators characterizing a competitive graduate and student achievement during the educational process is proposed.

The work [4] provides a brief overview of the cognitive approach to modeling and management. A class of management tasks is identified, for the solution of which it is advisable to use cognitive modeling. A method of forming a strategy for solving semi-structured problems based on cognitive models as applied to socio-economic systems is presented. Some directions of further development of the cognitive approach are indicated. The article [5] offers a functional diagram of the cognitive model.

In knowledge management, artificial intelligence methods are also used: neural network [6] and ontological approaches [7]. The technologies of knowledge formation in the distance education system are being developed [8, 9].

Thus, as a result of the analysis of the achievements of scientists in the field of knowledge management of the

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

system of training specialists [10 - 14], we found that in the project management methodology, the component associated with the management of knowledge itself is insufficiently studied

The purpose of the work and problem statement. Today, one of the urgent problems is to apply the theory of knowledge management in the construction of the educational process in a modern university, taking into account the specifics and characteristics of an educational institution. Knowledge management should perform the main functions in the practical activities of the organization: the formal presentation and analysis of knowledge management mechanisms (KMMs), a toolkit of cognitive maps is used.

The purpose of the work is to develop a cognitive model of knowledge management for the formation of educational programs in the system of training specialists.

Research objectives:

- to consider the concepts and mechanisms of knowledge management organizations;
- to form a cognitive model of the knowledge management mechanism;
- to consider the systemic indicators of the cognitive model;
- to analyze the structural features of the cognitive model.

The paper uses the method of using areas of knowledge in project management methodology for the introduction of project management mechanisms and tools into the practical activities of educational institutions.

Presentation of the main material

There is every reason to believe that knowledge management in university education should be understood as a process that combines the processes of training, education, professional development of staff and teachers, and the formation of specialist competencies. All these processes combine knowledge if we consider knowledge in its integral form.

Researchers of the problem of knowledge in modern science consider it expedient to single out a type of knowledge that is complex in nature - the so-called living knowledge. They can be defined as personal knowledge based on understanding (theory) and skill (practice), which are constantly included in human activity and are the basis for its development (human competence). This knowledge is the source of the formation of new theoretical and practical knowledge and can be formalized and transferred for use by other people, i.e., there is a diffusion of knowledge.

The knowledge management process should go simultaneously on three main objects: people, processes and technologies [10]. The object "people" involves the establishment of contacts and interaction between people with knowledge (these are students, teachers, employees, employers involved in teaching). The object "processes" is associated with the development of procedures for the exchange of knowledge, mechanisms for motivating and attracting people to participate in the exchange of knowledge (these are basic educational programs, advanced training, the creation and use of the possibilities of the educational environment of the university, the organization of the educational process based on modern scientific and educational provision, research of teachers and students, monitoring the quality of education, etc.). The object of "technology" is focused on the development of technological infrastructure for the preservation of experience and communication (databases of libraries and electronic resources that support educational courses and disciplines, internal networks and other IT solutions in the university, the use of the latest educational technologies in the educational process). Knowledge management in relation to these three objects will provide a real opportunity to build a personal model of education for each student, when, given the same information sources, the student learns to choose what he needs to solve a specific problem. Explicit "traditional" knowledge, recorded in the educational program in "didactic units", combined with the implicit personal knowledge of the teacher, will become the basis for a new personal knowledge of the student. It is this approach that increases the value of an individual, since everyone becomes a bearer of unique knowledge and unique experience built using this knowledge. This once again emphasizes the subjectivity of knowledge. In this case, it is the development of human potential that will be the most important resource in the construction of an educational program, i.e. the educational program will create conditions for the development of the potential of each person.

The formalization of implicit knowledge is an essential element of knowledge management. The task of reflecting tacit knowledge in various educational programs for the training of a specialist (from basic educational to the curriculum of a discipline or course) becomes extremely urgent. It can be solved with the help of mentoring, training or the formation of professional communities, that is, in the course of face-to-face synchronous communication. The importance of solving such a problem, which is to create conditions for the exchange of professional non-formalized knowledge in the company, is constantly emphasized in the manuals on knowledge management.

We believe that the choice of knowledge management methodology will be productive in the development of educational programs for higher education. This is due to the fact that the process of knowledge management should go simultaneously on three main objects: people, processes and technologies [10]. The object "people" involves establishing contacts and interaction between people with knowledge (these are students, teachers, employees, employers involved in teaching). The object "processes" is associated with the development of procedures for the exchange of knowledge, mechanisms for motivating and attracting people to participate in the exchange of knowledge (these are basic educational programs, advanced training, the creation and use of the possibilities of the educational environment of the university, the organization of the educational process on the basis of modern scientific and

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

educational provision, scientific research of teachers and students, monitoring the quality of education, etc.). The object of "technology" is focused on the development of technological infrastructure for the preservation of experience and communication (databases of libraries and electronic resources that support educational courses and disciplines, internal networks and other IT solutions in the university, the use of the latest educational technologies in the educational process). Knowledge management in relation to these three objects will provide a real opportunity to build a personal model of education for each student, when, given the same information sources, the student learns to choose what he needs to solve a specific problem. Explicit "traditional" knowledge, recorded in the educational program in "didactic units", combined with the implicit personal knowledge of the teacher, will become the basis for a new personal knowledge of the student. It is this approach that increases the value of an individual, since everyone becomes a bearer of unique knowledge and unique experience built using this knowledge. This once again emphasizes the subjectivity of knowledge. In this case, it is the development of human potential that will be the most important resource in the construction of an educational program, i.e. the educational program will create conditions for the development of the potential of each person.

The most important factor linking the organizational process in a production company, as well as the educational process in a University, is the presence of a certain experience in obtaining knowledge from the subjects of these processes (employees at the enterprise, students and teachers at the University), mastered in the process of obtaining systematic education. Therefore, they have more or less formed the ability to acquire knowledge and act in accordance with the task being solved (i.e., key competencies). This means that general approaches to their further education will be based on these competencies. Moreover, the level of their formation will ultimately determine the success of educational and professional activities.

In modern conditions, knowledge management is of particular importance in the activities of any organizations, including educational ones. It contributes to the creation of a special culture of this organization - in particular, about that part of the corporate culture that encourages employees to constantly exchange important knowledge (this is both scientific discoveries and the tactics of communicating with a "difficult" client), to the creative growth of members of the professional community, to critical relation to one's own experience and "collective" knowledge, etc. It is this part of the culture that serves as the key to the successful development of an organization or university. “In the ideal world of business, every member of an organization has easy access to the knowledge of their colleagues. Employees willingly share their know-how, and the organization is developing rapidly thanks to the continuous flow of new knowledge”- this is the picture painted by well-known researchers of knowledge management theory [11]. However, in the real world of business, the opposite happens most often: knowledge is not shared, but reliably stored and protected. How to convince people to share their knowledge? Knowledge management must answer this question. The way to solve this problem is to establish mutual connections between people and manage processes and technologies. Knowledge management should perform basic functions in the practice of an organization: mediation, internalization, exportation and cognition [15].

Mediation provides people with access to the knowledge available in the organization (institution), brings together those who are looking for certain knowledge and those who currently have such knowledge. Universities as educational institutions have always performed such an intermediary function: they collected, stored, created and provided access to the necessary knowledge to everyone who needed this knowledge.

Export is the establishment of a link between previously unrelated knowledge by placing it in an external storage and further systematization based on certain criteria. At the same time, one should take care of the constant replenishment of knowledge, of the translation of implicit knowledge into explicit (formalized) ones. In the conditions of the university educational process, there is a mechanism for scientific conferences, laboratories, the work of project groups and teams, refresher courses, and other communities that solve the problem of exporting knowledge through its formalization. The main role in the implementation of the function of exporting knowledge in the university belongs to libraries, electronic databases and resources of various kinds, which are constantly being replenished and expanded. However, as practice shows, while there are certain difficulties for employees, teachers and students using these resources. The factors contributing to the occurrence of these problems require more detailed study.

Internalization is a query-based knowledge extraction process. It will be ineffective until knowledge is presented to the user in a form that is convenient for his perception. To solve this problem, you can use the interpretation of data and information (for example, tables, graphs, brief summaries, etc.), as well as filtering knowledge (by analogy with the mechanism for presenting the required information through Internet search resources).

Cognition is the transformation of knowledge into action, when, on the basis of the presented available knowledge, a solution corresponding to a specific task is developed. In this case, the authors consider cognition as a practical implementation of knowledge that participated in the three previous procedures. In our opinion, it is this aspect of knowledge management in a modern university that is most weakly expressed. This is objectively connected both with the relative remoteness of the results of education, and with the vastness and complexity of the range of tasks that have to be solved in the educational process, with the predominance of often intuitive solutions, which is the exclusive ability of human intelligence, while it is impossible to give any recipes and develop algorithms activities. At the same time, this is a very important process for the development of

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

professional competencies of a future specialist: after all, it is precisely situational tasks of a high degree of uncertainty that he will have to solve in the changing contexts of professional activity.

These four functions are based on a knowledge management model in which the main task is to teach employees to share their knowledge.

From the point of view of using the theory of knowledge management in a modern educational institution, the forms of practical implementation of knowledge management are attractive [6]. These include: Learning Organization, Knowledge Library and Strategic Awareness:

The learning organization is the pinnacle to which educational institutions, including universities, are striving today. A learning organization is an organization that knows how to create, acquire and disseminate knowledge and changes its behavior in accordance with new information, with original opinions and modern thought patterns. Its mission is to develop a commitment to the innovative spirit of the entire organization - thus acquiring the ability to cultivate a collective knowledge that is less at risk of loss if employees leave. In a learning organization, activities are aimed at developing the intellectual potential of employees, self-training and advanced training mechanisms are used for the constantly changing context of activities and new professional tasks. We are seeing something similar at the present time in the university teaching community, when more and more employees appear who strive to constantly acquire new knowledge, learn, but they need this knowledge to solve specific problems, and not just "for the future". Thus, there is a real embodiment of the idea of continuous education, education throughout life.

The "knowledge library" approach aims to improve the organization's ability to manage new projects and processes. It is based on the creation of a corporate knowledge base intended for the accumulation and dissemination of data on the most effective methods, as well as on previously implemented projects. In this case, it becomes possible to use these results in further projects (the experience of appointing a "chronicler" is also known, which describes everything that happens during the development and implementation of a project, another example is the creation of electronic resources available to all employees of a company or educational institution).

Strategic awareness involves working with large amounts of information and the ability to shrewdly and in a timely manner to extract knowledge from these stores. At the university, such repositories can be created for interaction with employers, for the implementation of recurring projects or for the development of educational and methodological support of the educational process at departments, in directorates of educational programs, in dean's offices of faculties. This knowledge will undoubtedly be important in the development of interdisciplinary disciplines and courses, the number of which will constantly increase and the content will expand in connection with the transition to competence-based programs and new standards of higher professional education.

Cognitive modeling methods are a fairly effective tool for analyzing poorly structured systems. The specified class of systems includes the systems of educational training of specialists.

Thus, cognitive maps can be used to formally represent and analyze knowledge management systems (KMS) [16]. They are a way of displaying cause and effect relationships, which are usually represented as a directed graph:

$$G = < E, W >,$$

where $E = \{e_1, e_2, ..., e_n\}$ is a set of systemic factors called concepts; W – a binary relation at a set E, which defines a set of links between its elements.

Elements e_i and e_j are considered to be related by the relation W, which is denoted as $e_i W e_j$, if a change in the meaning of the concept e_i (cause) leads to a change in the meaning of the concept e_j (influence). Thus, the cognitive model displays the concept e_i of a cause on an influence e_j. If we consider the concept of the intensity of influence, we come to the concept of a fuzzy cognitive map. It expands the concept of a traditional (clear) cognitive map and reflects the fact of differences in the intensity of mutual influence between concepts. Let us define the indicator of the intensity of influence in the form of a fuzzy matrix $A = \{a_{ij}\}, i = \overline{1,n}, j = \overline{1,n}$, the elements of which determine the direction and intensity of influence between the concepts e_i and e_i:

$$a_{ij} = a(e_i, e_j),$$

where a_{ij} is a normalized indicator of the intensity of influence between concepts e_i and e_j.

Thus, we have the characteristic function of the ratio A, which has a number of special properties [16]. Let's note that $a_{ij} \in [-1; 1]$, that is, the intensity indicator is characterized by an intermediate degree of positive or negative influence.

Let us display the object under study in the form of a weighted directed graph, the vertices of which correspond to elements of the set E (concepts), and the arcs correspond to nonzero elements of the relation W, i.e. a causal relationships. Each arc has a weight given by the corresponding value a_{ij}. Let's represent the relation W in the form of a cognitive matrix $A = \|a_{ij}\|, i, j = \overline{1,n}$ of dimension $n \times n$ (n is the number of concepts in the system), which is the adjacency matrix of the given graph.

The current *state of the system* is determined by the values of all FCM concepts. The target state of the system is determined by a set of values for a set of target concepts.

Here are the calculation formulas for the *system indicators of the cognitive model* [16].

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

The consonance of the influence of the *i*-th concept on the system is calculated as the average value of the consonance of the influence of individual concepts:

$$\overline{H_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n} c_{ij}}{n}, \quad (1)$$

where c_{ij} – the consonance of the influence of the *i*-th concept on the *j*-th concept.

Consonance of the influence of the system on the *j*-th concept:

$$\overline{H_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} c_{ij}}{n}. \quad (2)$$

Dissonance of the *i*-th concept impact on the system:

$$\overline{D_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n} d_{ij}}{n}, \quad (3)$$

where d_{ij} – dissonance of the influence of the *i*-th concept on the *j*-th concept.

Dissonance of the impact of the system on the *j*-th concept:

$$\overline{D_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_{ij}}{n}. \quad (4)$$

The intensity of the influence of the *i*-th concept on the system:

$$\overline{P_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{n}, \quad (5)$$

a_{ij} – the intensity of the influence of the *i*-th concept on the *j*-th concept.

Impact of the system on the j-th concept:

$$\overline{P_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}}{n}. \quad (6)$$

The main indicator is the centralization of the impact of the *i*-th concept:

$$E_i^p = \overline{P_i} - \overline{P_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{ij} - \sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{n}. \quad (7)$$

A thorough analysis of the subject area is carried out, according to the results of which a set of factors (concepts) that have the strongest influence on decision-making on knowledge management are identified (table 1). The whole set of concepts characterizes the following aspects of the educational process:

- individual characteristics of students;
- informational and methodological support of the learning process;
- learning outcomes;
- external factors influencing the learning process.

Table 1. *Grouping and characteristics of cognitive model concepts*

No.	Concept name	Concept characteristics
		Individual characteristics of students
1	Basic mathematical knowledge and skills	Has a noticeable effect on the system. In the process of targeted training, this concept is subject to development, which can create the necessary conditions for achieving a tangible positive effect in training.
2	Motivation	It is considered as a significant factor in the learning process model.
3	Cognitive style	Determines the student's ability to successfully master the educational program, has a significant impact on the system.
		Information and methodological support of the learning process
4	Qualification of teaching staff	Significantly strengthens the system through the implementation of a scientifically based policy of personnel management and the introduction of innovative technologies for improving the qualifications of the teaching staff.
5	Science school	Creates conditions for preserving and developing traditions and maintaining the high status of the university.
6	Innovation in the educational process	The impact on the system is relatively small, since the power of the concept's influence on the system can be explained by the cyclical renewal of the methodological systems of education. At the same time, the renewal period can reach (depending on the specifics of the university) 3-4 academic semesters.
7	Teaching staff income	The impact on the system is manifested in many aspects. This issue affects the interests of the teacher as the leading subject of the learning process and requires a delicate study.
8	Study load (classroom hours)	Relatively weakly affects the system, the differentiated approach of the administration to the definition of the teaching load of the teacher, taking into account the volume and quality of the scientific, methodological and educational work performed by him, will create conditions for the activation of individual work with students. On the contrary, strict normative methods of planning the workload will limit the teacher's opportunities in matters of professional development and level the conditions for the growth of the professional competence of university graduates.

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

End the **Table 1**

Learning results		
9	Special mathematical competencies (knowledge and skills) of a graduate	It forms the basis for the formation of students of professional competence, including mathematical knowledge, abilities, skills, ways of thinking and acting, as well as the ability to acquire new mathematical knowledge, abilities, skills, ways of thinking and activity, as well as the ability to acquire new mathematical knowledge and use them in further professional activities.
10	Formation of professionally important qualities (knowledge and skills) of a graduate	Allows the student to get a set of intellectual, personal, behavioral qualities of knowledge and skills that make it possible to act adequately in any situation.
11	Readiness of the graduate to solve professional problems	The key component of the system, which is interpreted as a set of knowledge and skills of a special kind, a way of performing professional activities, the integrated implementation of knowledge, skills, know-how and relationships in known or new work situations that allow you to set and achieve goals for transforming situations.
External factors		
12	The demand for a university graduate in the labor market	It can be assessed as a fairly balanced factor. The level of demand for university graduates achieved in the labor market has a positive effect on concepts 2, 5 and 7 and, as a result, corrects the vector of further improvement of the learning process.

It should be borne in mind that the selected factors are interdependent. Therefore, the model of fuzzy cognitive maps is a fully connected graph.

To formalize the procedures of cognitive analysis in knowledge management, it is necessary to present a sequence of procedures for transforming the initial matrix $A = \left\| a_{ij} \right\|, i, j = \overline{1, n}$ into a transitively closed cognitive matrix containing the information necessary to determine the system characteristics of the FCM [17].

Fig. 1 shows the graph of the network cognitive model of the knowledge management mechanism.

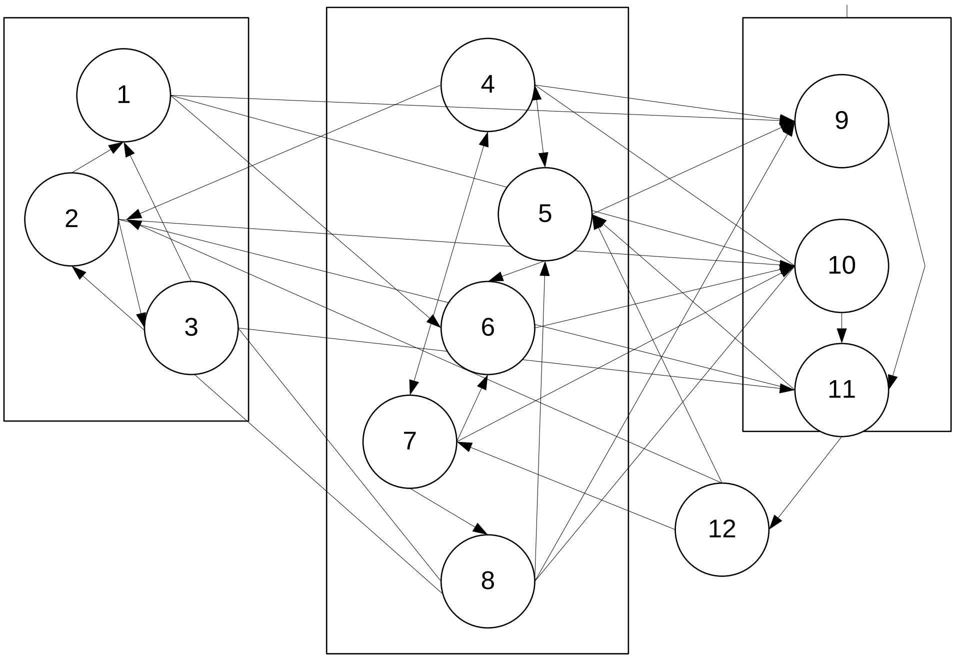


Fig. 1. Graph of network cognitive model of knowledge management mechanism

Based on the results of the analysis, it is possible to draw conclusions about the greatest positive effect from a coordinated change in the group of model concepts that provide a sustainable impact on the system through cause-and-effect relationships. For example, in fig. 1 one can distinguish such sequences of influence of concepts: "$3 \to 1 \to 9 \to 11$" и "$5 \to 4 \to 7 \to 10$".

Critical analysis and assessment of the organization's knowledge management potential contribute to decision-making in project management of the development of educational institutions.

Conclusions

The formal representation of the knowledge management mechanism in the form of a cognitive map allows to generalize and systematize the accumulated research experience in order to identify patterns and quantify the impact of the most significant factors in the training process.

As a result of the cognitive analysis of the FCM, a group of factors (concepts) was identified, the coordinated

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

change (adjustment) of the characteristics of which can provide a significant increase in the quality of training.

The results obtained can become the basis for further research on knowledge management mechanisms, which are considered as a promising direction in projects for the development of higher education.

References

1. Piterska, V., Lohinov, O., Lohinova, L. (2020), "Conceptual model of project-oriented management of educational activities of higher education institutions", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (11), P. 59–67. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.059
2. Chernova, L. (2019), "Key competence as a basis for innovation projects management", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (7), P. 113-120. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.113
3. Ilyin, O. O. (2017), "Cognitive model and method of management of indicators of professional activity of educational and pedagogical workers for increase of competitiveness of graduates of university", *International Scientific and Practical Conference World science*, ROST, Vol. 1, No. 8, P. 41–49.
4. Avdeeva, Z. K., Kovriga, S. V., Makarenko, D. I., Maksimov, V. I. (2007), "The cognitive approach to management" ["Kognitivnyy podkhod v upravlenii"], *Problems of management*, No. 3.
5. Magazov, S. S. (2000), "Functional diagram of the cognitive model" ["Funktsional'naya skhema kognitivnoy modeli"], *Artificial Intelligence*, Vol. 3, P. 257–262.
6. Parzhin, Yu., Kosenko, V., Podorozhniak, A., Malyeyeva, O., Timofeyev, V. (2020), "Detector neural network vs connectionist ANNs", *Neurocomputing*, Vol. 414, 13 November 2020, P. 191–203. DOI: https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.025
7. Malyeyeva, O., Nosova, N., Fedorovych, O., Kosenko, V. (2019), "The semantic network creation for an innovative project scope as a part of project knowledge ontology", *CEUR Workshop Proceedings*, No. 2362, available at : http://ceur-ws.org/Vol-2362/paper27.pdf
8. Chukhrai, N., Mrykhina, O. (2017), "Developing technologies on the basis of knowledge transformation chains", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 145–154. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.145.
9. Malieieva, J., Kosenko, V., Malyeyeva, O., Svetlichnyj, D. (2019) "Creation of collaborative development environment in the system of distance learning", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (8), P. 62–71. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.8.062.
10. Marinicheva, M. K. (2008), *100% Knowledge Management*: A Guide for Trainees [*Upravleniye znaniyami na 100%* : Putevoditel' dlya praktikantov], Moscow: Alpina Business Books, 320 p.
11. Koulolos, T. T., Frappaolo, K. (2008), *Knowledge Management* [*Upravleniye znaniyami*] / Transl. from English, Moscow, 224 p.
12. Tesla, Yu. M., Khlevna, Yu. L., Yegorchenkova, N. Yu. (2016), "Knowledge management in meta-methodology of project management" ["Upravlinnya znannyamy v meta-metodolohiyi upravlinnya proektamy"], *Project management and production development: Coll. Science*, Lugansk : Published by SNU. V. Dalia, No. 4 (60), P. 53–61.
13. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. (2003), "Project management methodology as a universal model of knowledge" ["Metodolohyya upravlenyya proektamy kak unyversal′naya model′ znanyy"], *Project management and production development. Coll. Science*, Lugansk : Published by SNU. V. Dalia, No. 3 (8), P. 5–12.
14. Babayev, I. A. (2004), "Tools for modeling knowledge in project management" ["Ynstrumenty modelyrovanyya znanyy v upravlenyy proektamy"], *Project management and production development. Coll. Science*, Lugansk : Pblished by SNU. V. Dalia, No. 2 (10), P. 10–24.
15. Glubokova, E. N. (2009), "Knowledge management as a basis for building the educational process in a modern university" ["Upravleniye znaniyami kak osnova postroyeniya obrazovatel'nogo protsessa v sovremennom universitete"], *Bulletin of the Russian State Pedagogical University named by A.I. Herzen*, SPb., No. 100, P.48–56.
16. Silov, V. B. (1995), *Making strategic decisions in a fuzzy environment* [*Prinyatiye strategicheskikh resheniy v nechetkoy obstanovke*]: monograph, Moscow, INPRO-RES, 228 p.
17. Smirnova, E. E., Nadezhdin, E. N. (2016), "Fuzzy cognitive model of the mechanism for the formation of professional competencies of the future bachelor of economics" ["Nechetkaya kognitivnaya model' mekhanizma formirovaniya professional'nykh kompetentsiy budushchego bakalavra ekonomiki"], *Information of education and science*, No. 1 (29), P. 175– 184.

Received 06.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чернова Любава Сергіївна – кандидат технічних наук, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій, Миколаїв, Україна; email: 19chls92@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0228-6677.

Чернова Любава Сергеевна – кандидат технических наук, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, доцент кафедры информационных управляющих систем и технологий, Николаев, Украина.

Chernova Liubava – PhD (Engineering Sciences), Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Associate Professor of the Department of Information Control Systems and Technologies, Mykolaiv, Ukraine.

Чернова Людмила Сергіївна – доктор технічних наук, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій, Миколаїв, Україна; email: lyudmylachernova@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0666-0742.

Чернова Людмила Сергеевна – кандидат технических наук, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, преподаватель кафедры информационных управляющих систем и технологий, Николаев, Украина.

Chernova Lyudmyla – PhD (Engineering Sciences), Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Lecturer of the Department of Information Control Systems and Technologies, Mykolaiv, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

КОГНІТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ УПРАВЛІННЯ ЗНАННЯМИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ

Предмет дослідження в даній статті – управління знаннями при підготовці фахівців в проектно-орієнтованих організаціях, зокрема, вищих навчальних закладах. **Мета** роботи – розробити когнітивну модель управління знаннями для формування освітніх програм в системі підготовки фахівців. Завдання дослідження: розглянути поняття і механізми управління знаннями організацій; сформувати когнітивну модель механізму управління знаннями; розглянути системні показники когнітивної моделі; провести аналіз структурних особливостей когнітивної моделі. У роботі застосовано **методи**: методологія управління проектами (управління знаннями), системний підхід, когнітивні і графові моделі. **Результати**. У статті наводиться визначення "управління знаннями", розглядаються умови, коли потрібні знання і інформація стануть доступні для виконання завдань. Розглянуто питання урахування специфіки та особливостей освітнього закладу. Застосовуються **методи** управління знаннями в побудові освітнього процесу в університеті. Наведено основні функції в практичній діяльності організації: посередництво, експортування, інтерналізація, пізнання. Також розглянуті форми практичної реалізації управління знаннями: навчальна організація, бібліотека знань і стратегічна обізнаність. У статті також розглядається можливість основних положень теорії управління знаннями в освітньому процесі, так як підвищення якості підготовки фахівців є метою будь-якої освітньої системи. У статті розроблена когнітивна модель механізму управління знаннями, на основі когнітивного аналізу виявлені корисні закономірності, які відображають вплив факторів різної фізичної природи на результати підготовки фахівців. **Висновки**. Когнітивне моделювання може стати ключем до швидкого підвищення ефективності управління знаннями при підготовці фахівців. Класичний підхід до управління знаннями вимагає високого рівня залученості співробітників у відповідні процеси, оскільки їм необхідно самостійно виявляти знання, обмінюватися ними, фіксувати їх і застосовувати. Когнітивне моделювання може знизити цю вимогу, оскільки дозволяє упорядкувати процеси виявлення, фіксації, зберігання та обміну знаннями. Крім того, вони підвищують застосовність знань, пропонуючи відповідні з урахуванням контексту студента. Накопичений досвід когнітивного моделювання складних організаційних систем управління дозволяє на принциповій основі підійти до дослідження механізмів управління знаннями при підготовці фахівців. Отримані результати пропонується використовувати для налаштування механізмів управління знаннями з метою підвищення якості підготовки.

Ключові слова: управління знаннями; когнітивні технології; освітній процес; освітні програми; когнітивний аналіз.

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

Предмет исследования в данной статье – управление знаниями при подготовке специалистов в проектно-ориентированных организациях, в частности, высших учебных заведениях. **Цель** работы – разработать когнитивную модель управления знаниями для формирования образовательных программ в системе подготовки специалистов. **Задачи** исследования: рассмотреть понятия и механизмы управления знаниями организаций; сформировать когнитивную модель механизма управления знаниями; рассмотреть системные показатели когнитивной модели; - провести анализ структурных особенностей когнитивной модели. В работе применен методы: методология управления проектами (области управления знаниями), системный подход, когнитивные и графовые модели. **Результаты**. В статье приводится определение "управление знаниями", рассматриваются условия, когда нужные знания и информация станут доступны для выполнения задач. Рассмотрен вопрос учета специфики и особенностей образовательного учреждения. Применяются **методы** управления знаниями в построении образовательного процесса в университете. Приведены основные функции в практической деятельности организации: посредничество, экспортирование, интернализация, познание. Также рассмотрены формы практической реализации управления знаниями: обучающая организация, библиотека знаний и стратегическая осведомленность. В статье также рассматривается возможность основных положений теории управления знаниями в образовательном процессе, так как повышение качества подготовки специалистов является целью любой образовательной системы. В статье разработана когнитивная модель механизма управления знаниями, на основе когнитивного анализа выявлены полезные закономерности, которые отражают влияние факторов различной физической природы на результаты подготовки специалистов. **Выводы**. Когнитивное моделирование может стать ключом к быстрому повышению эффективности управления знаниями при подготовке специалистов. Классический подход к управлению знаниями требует высокого уровня вовлеченности сотрудников в соответствующие процессы, поскольку им необходимо самостоятельно выявлять знания, обмениваться ими, фиксировать их и применять. Когнитивное моделирование может снизить это требование, поскольку позволяет упорядочить процессы выявления, фиксации, хранения и обмена знаниями. Кроме того, они повышают применимость знаний, предлагая подходящие с учетом контекста студента. Накопленный опыт когнитивного моделирования сложных организационных систем управления позволяет на принципиальной базе подойти к исследованию механизмов управления знаниями при подготовке специалистов. Полученные результаты предлагается использовать для настройки механизмов управления знаниями с целью повышения качества подготовки.

Ключевые слова: управление знаниями; когнитивные технологии; образовательный процесс; образовательные программы; когнитивный анализ.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Чернова Лб. С., Чернова Л. С. Когнітивне моделювання механізмів управління знаннями при підготовці фахівців. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 86–93. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.086

Chernova, Lb., Chernova, L. (2020), "Cognitive modeling of knowledge management mechanisms in the training of specialists", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 89–93. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.086

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) *Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)*

УДК 66.012:66.048.3 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.094

А. Р. Шейкус

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РУХЛИВОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ РЕКТИФІКАЦІЇ

Предмет. Система автоматичного рухливого керування процесом ректифікації. **Мета.** Підвищення продуктивності і енергоефективності процесу ректифікації шляхом розробки системи автоматичного керування, яка передбачає рухливі керуючі впливи на процес, а також дослідження перехідних процесів в розробленій системі при основних збуреннях. **Завдання.** Розробка системи автоматичного рухливого керування процесом ректифікації, розрахунок перехідних процесів в розробленій системі, визначення і оцінка показників якості керування. **Методи.** Методи імітаційного цифрового моделювання роботи автоматичної системи керування. **Результати.** Розроблено систему автоматичного керування процесом ректифікації, що передбачає дискретні і неперервні рухливі керуючі впливи. Дискретні впливи полягають у змінах точки введення живлення в колону; неперервні – в зміні співвідношення витрат потоків живлення, що подаються в верхню і нижню частини установки. Також використовуються традиційні керуючі впливи шляхом зміни витрат теплоносія в випарник куба і зрошування. Оптимальні традиційні і рухливі керуючі впливи розраховуються обчислювальним керуючим пристроєм за нормалізованим критерієм з використанням нелінійної прогнозуючої моделі і реалізуються шляхом впливів на виконавчі пристрої на лініях подачі потоків живлення, зрошування в колону і теплоносія в випарник. Система передбачає використання адекватної математичної моделі, для чого виконується її періодична ідентифікація і здійснюється контроль за ходом процесу шляхом додаткового вимірювання температурного профілю колони, температури і тиску на контрольній тарілці. З метою підтримки матеріального балансу за рідинною і паровою фазами передбачено стабілізацію тиску вверху колони, рівнів в ємностях для збору дистиляту і кубового продукту шляхом зміни витрат холодоагенту в конденсатор, дистиляту і кубового продукту. На прикладі ректифікаційної колони для поділу суміші метанол-вода методами імітаційного цифрового моделювання досліджено працездатність запропонованої системи автоматичного рухливого керування. Збурення полягали у змінах витрати, складу і температури живлення. **Висновки.** Доведено, що використання розробленої системи дозволяє підвищити техніко-економічні показники процесу ректифікації і поліпшити якість керування. Результати можуть використовуватись в хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній, харчовій промисловості для керування та оптимізації процесів бінарної, багатокомпонентної ректифікації.

Ключові слова: ректифікація; рухливе керування; прогнозуюча модель; перехідні процеси; тарілка живлення.

Вступ

Процес ректифікації є одним з основних способів розділення рідких і газових гомогенних сумішей, компоненти яких розрізняються за температурами кипіння, їх концентрування, захисту навколишнього середовища [1]. Сутність процесу полягає в багаторазових випаровуваннях рідинної і конденсаціях парової фаз, які рухаються протилежно в спеціальних апаратах колонного типу. Підвищені вимоги до якості продуктів, що одержуються, і висока енергоємність процесу ректифікації визначають необхідність розробки високоефективних систем керування [2].

На дослідження особливостей процесу ректифікації як об'єкта регулювання та розробку систем керування спрямована велика кількість робіт. Серед існуючих рішень можливо умовно виділити стабілізуючі системи регулювання [3], системи управління із застосуванням прогнозуючих моделей [4], нейронних мереж [5], екстремальні [6], багатоконтурні [7] та робастні системи [8]. Їх об'єднує традиційний спосіб реалізації керуючих впливів, який полягає в змінах витрат матеріальних та енергетичних потоків. Однак вимушені зміни флегмового числа або витрат кінцевих продуктів знижують продуктивність колони, а збільшення парового потоку – зростання собівартості поділу.

Можливості підвищення техніко-економічних показників процесу не вичерпуються використанням вказаних керуючих впливів. В останні роки для об'єктів з розподіленими параметрами успішно застосовують системи розподіленого [9] та рухливого [10] керування шляхом переміщення джерел речовини і енергії в просторової області апаратів. Застосування даних дій дозволяє впливати на внутрішні процеси об'єкта в необхідній точці, яка переміщується і в просторі, і в часі. Розробка системи автоматичного керування процесом ректифікації, в якій разом з традиційними використовуються і рухливі впливи на процес, є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В якості рухливого керуючого впливу на процес ректифікації може використовуватися зміна номера тарілки живлення колони [11]. У цьому випадку точка введення сировини зміщується за висотою апарату, а переміщення носить дискретний характер. Вибір такого впливу обґрунтований тим, що його здійснення не потрібує додаткових витрат матеріальних або енергетичних ресурсів, а технічна реалізація має мінімальну складність. В якості рухливого впливу з неперервним характером переміщення може використовуватися перерозподіл потоку живлення між контактними пристроями колони в різних частках.

В напрямку рухливого керування процесом ректифікації проведено імітаційні дослідження технологічних основ і статичних характеристик ректифікаційних колон, які довели доцільність і ефективність використання рухливих впливів [12]. Також розроблено математичну модель процесу і алгоритми, що дозволяють прогнозувати оптимальні стаціонарні режими і розраховувати керуючі впливи,

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

які їх забезпечують [13]. Результати підводять до завдання розробки системи автоматичного керування процесом ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів.

Відомий спосіб [14] автоматичного регулювання ректифікаційної колони з двома потоками живлення шляхом зміни співвідношення витрат потоків сировини в колону в залежності від заданих граничних максимальної і мінімальної питомих витрат зрошування, а також шляхом регулювання витрати теплоносія в куб в залежності від величини питомої витрати парового потоку в нижній секції колони.

Проте використання для керування процесом ректифікації питомих витрат пари і зрошування, які приймаються постійними за висотою колони, не дозволяє вести процес в оптимальному режимі. Процеси випаровування і конденсації на кожному контактному пристрої апарату мають різну інтенсивність і відношення витрат пари і зрошування до витрати живлення суттєво змінюються за висотою колони навіть в тому випадку, коли температури потоків сировини стабілізовано. Також неоднозначним є вплив на розділову здатність контактних пристроїв верхньої частини колони і якість кінцевих продуктів зміни співвідношення витрат потоків сировини, які, крім того, мають різну температуру. Також недоліком відомого способу є відсутність рекомендацій щодо вибору величин питомих витрат парового потоку і зрошування, які необхідно задавати. Для розрахунку їх оптимальних значень необхідно використання ґрунтовного математичного забезпечення і відповідного ускладнення контролю за параметрами процесу.

Запропоновано спосіб [12] автоматичного керування процесом ректифікації шляхом зміни співвідношення витрат потоків сировини, що подають у верхню і нижню частини колони, в залежності від витрати і складу сировини. Витрату парового потоку в колоні регулюють шляхом зміни витрати гріючої пари в куб колони, при цьому регулювання витрати пари в куб колони і співвідношення витрат потоків сировини здійснюють за допомогою обчислювального керуючого пристрою за складом, витратою сировини в колону, температурою пари в куб колони і температурою кубового продукту. Рівень кубового продукту стабілізують шляхом зміни витрати кубового продукту, тиск у колоні стабілізують шляхом зміни подачі холодоагенту у холодильник-конденсатор і витрату дистиляту стабілізують шляхом зміни витрати дистиляту.

Недоліком вказаного способу є керування матеріальним навантаженням ректифікаційної колони тільки за паровою фазою шляхом зміни витрати теплоносія в випарник куба. В цьому випадку витрата рідинної фази (зрошування) встановлюється не на оптимальному рівні, а з огляду на необхідну продуктивність процесу за дистилятом. Крім того, спосіб не враховує енергетичне навантаження процесу, так як запропонована модель не містить рівняння теплового балансу. Ускладнення моделі, що використовується для розрахунків оптимальних стаціонарних режимів роботи колони, визначає необхідність контролю більшого числа показників процесу, що необхідно врахувати при розробці удосконаленої системи керування. Також не передбачено процедуру параметричної ідентифікації моделі, в той час як невимірювані показники процесу можуть змінюватись в значних межах і призводити до втрати необхідної точності моделі, а, значить, до збільшення енерговитрат і зменшення продуктивності процесу.

Метою роботи є підвищення продуктивності і енергоефективності процесу ректифікації шляхом розробки системи автоматичного керування, яка передбачає дискретні і неперервні рухливі керуючі впливи на процес і позбавлена вказаних недоліків відомих систем керування, а також дослідження перехідних процесів в розробленій системі при основних збуреннях на процес.

Завдання роботи:

1. Розробка системи автоматичного керування процесом ректифікації, що передбачає: розрахунок за прогнозуючою нелінійною моделлю процесу оптимальних традиційних і рухливих керуючих впливів і їх реалізацію на матеріальні потоки апарату, періодичну ідентифікацію моделі за вимірювальною інформацією щодо поточних показників процесу, стабілізацію окремих показників для підтримки матеріальних та енергетичних балансів верху і низу колони.

2. Розрахунок перехідних процесів в розробленій системі автоматичного рухливого керування процесом ректифікації, оцінка працездатності системи шляхом дослідження її стійкості і визначення показників якості керування.

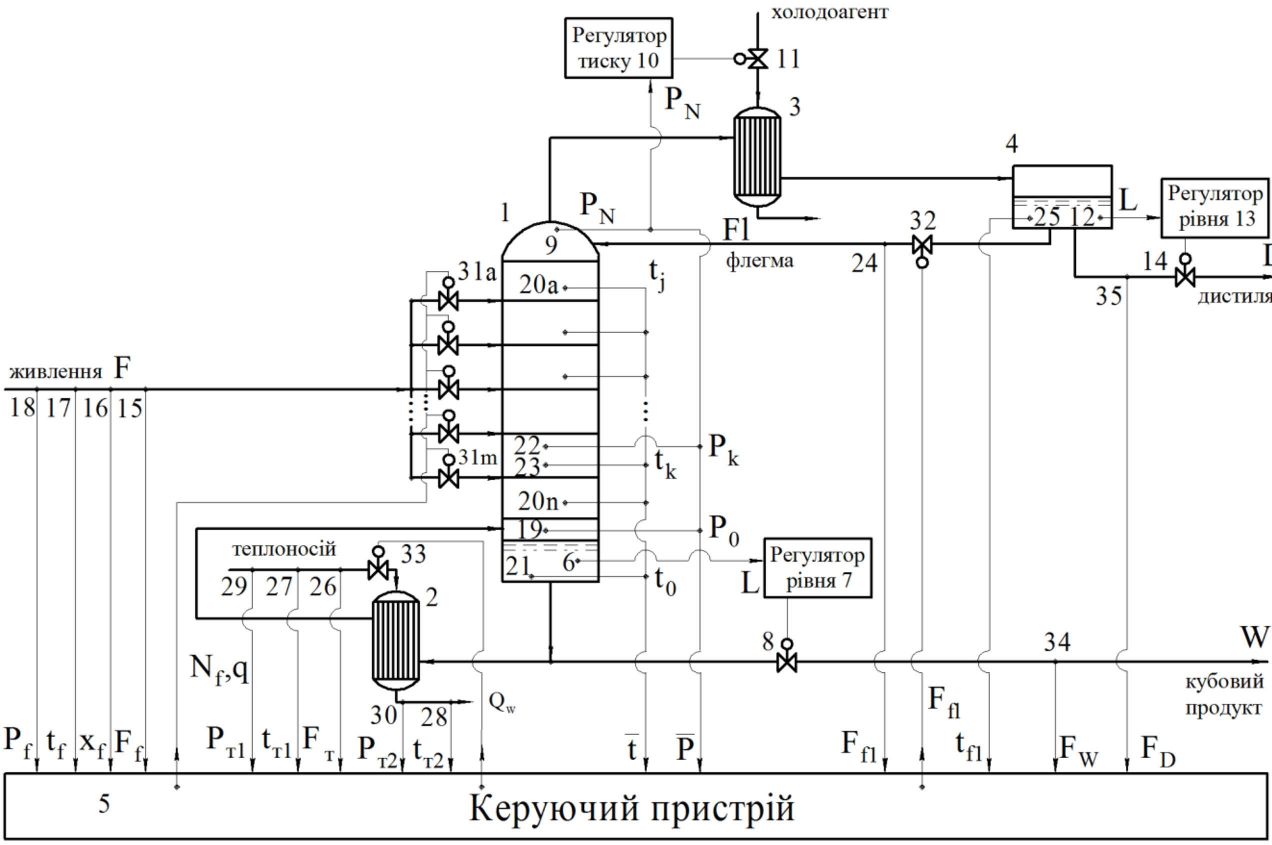
Матеріали і методи

На рис. 1 представлено розроблену систему автоматичного керування процесом ректифікації, що передбачає використання рухливих керуючих впливів.

Процес ректифікації проводиться в колоні 1, оснащеної випарником 2, конденсатором 3, ємністю для збору дистиляту 4, керуючим пристроєм 5, датчиком рівня кубового продукту 6, регулятором рівня кубового продукту 7, виконавчим пристроєм 8 на лінії відводу кубового продукту, датчиком тиску 9 наверху колони, регулятором тиску 10 наверху колони, виконавчим пристроєм 11 на лінії подачі холодоагенту в конденсатор, датчиком рівня 12 в ємності для збору дистиляту, регулятором витрати 13 дистиляту, виконавчим пристроєм 14 на лінії відводу дистиляту, датчиками витрати 15, складу 16 і температури 17 живлення, датчиком тиску 18 в лінії подачі живлення, датчиком тиску 19 внизу колони, датчиками температури 20а – 20n на контактних пристроях колони, датчиком температури 21 кубового залишку, датчиками температури 22 і тиску 23 на контрольній тарілці, датчиком витрати 24 і температури 25 зрошування, датчиком витрати 26 теплоносія в випарник, датчиками температури 27 і 28

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

теплоносія до і після випарника, датчиками тиску 29 і 30 в лініях подачі і відводу теплоносія від випарника, виконавчими пристроями 31a – 31m на лініях подачі живлення в колону, виконавчим пристроєм 32 на лінії подачі зрошування в колону, виконавчим пристроєм 33 на лінії подачі теплоносія в випарник, датчиками витрат 34 і 35 кубового продукту і дистиляту.



D – мольна витрата дистиляту, кмоль/год; ***F*** – мольна витрата, кмоль/год; мольна витрата живлення, кмоль/год; ***Fl*** – мольна витрата зрошування, кмоль/год; h_y – відстань між тарілками, м; ***j*** – номер контактного пристрою; ***L*** – мольна витрата рідинної фази, кмоль/год; N_f – номер тарілки живлення, величина дискретного рухливого керуючого впливу; ***P*** – тиск, МПа; ***Q*** – витрата тепла, кДж/год; ***q*** – коефіцієнт перерозподілу живлення, величина неперервного рухливого керуючого впливу, кмоль/кмоль; ***t*** – температура, °C; ***U*** – рівень, м; ***V*** – мольна витрата парової фази, кмоль/год; об'єм, $м^3$; ***W*** – мольна витрата кубового продукту, кмоль/год; ***x*** – мольна концентрація компонента в рідинній фазі, кмоль/кмоль; ***y*** – мольна концентрація компонента в паровій фазі, кмоль/кмоль; ***β*** – коефіцієнт масовіддачі, що розрахований на одиницю ефективної площі тарілки, кмоль/($м^2$·год); ***η*** – ефективність масопереносу на контактному пристрої за Мерфрі; ***τ*** – час, с.
Нижні індекси: ***d*** – параметр дистиляту; ***f*** – параметр живлення; ***fl*** – параметр зрошування; ***i*** – параметр компонента суміші, що розглядається; ***j*** – параметр цільового компонента суміші; ***pr*** – профіль; ***w***, ***0*** – параметр кубового продукту; параметр випарника куба колони; ***т*** – параметр теплоносія.

Рис. 1. Система автоматичного рухливого керування процесом ректифікації

В режимі керування неперервно контролюється надходження у колону основних збурень, що полягають у змінах витрати, складу, температури живлення, тиску в лінії подачі живлення [15]. Також вимірюється тиск в колоні і температура зрошування. Відповідна вимірювальна інформація від датчиків 15 – 18, 9, 19 і 25 надходить до керуючого пристрою 5, який розраховує і застосовує керуючі впливи, що забезпечують оптимальний режим роботи колони.

Дискретні рухливі впливи полягають в змінах точки введення живлення в колону, неперервні – співвідношення витрат двох потоків сировини. Переключення номера тарілки живлення можливо розглядати як окремий, граничний випадок перерозподілу сировини між тарілками. З цього виходить необхідність розробки тільки однієї системи керування, в якій застосовуються або дискретні, або неперервні рухливі керуючі впливи в залежності від кількості потенційних місць введення сировини в колону $\bar{N}_f$.

Одночасне керування двома показниками низу колони, що визначають продуктивність і енергоємність процесу – витратами кубового продукту і теплоносія в випарнику – складає суттєві труднощі, так як в цьому випадку матеріальний баланс дотримуватиметься тільки при досягненні усталеного стану, а в перехідному режимі кубовий залишок, що міститься внизу колони, накопичуватиметься або виснажуватиметься. Якщо ж цільовим компонентом є дистилят, то його оптимальний відбір також можливий тільки після досягнення стаціонарного режиму роботи колони. У цьому випадку пропонується у відповідь на збурення,

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

що надійшло в колону, змінювати оптимальним чином матеріальне і енергетичне навантаження колони шляхом керування витратами теплоносія в випарнику $F_т$ і флегми Fl, що подається на верх апарату. Такі зміни витрат рідинної і парової фаз за висотою колони мають попереджувальний характер і суттєво покращують показники якості керування.

Відбори кінцевих продуктів верху і низу колони здійснюються з дотриманням матеріального балансу кінців апарату із забезпеченням постійного рівня в збірнику дистиляту і в кубовій ємності. Контур автоматичного регулювання 6 – 8 рівнем кубового залишку забезпечує виконання матеріального балансу за рідинною фазою низу колони шляхом зміни витрати кубового продукту. Контури автоматичного регулювання тиском 9 – 11 наверху колони і рівнем 12 – 14 в ємності для збору дистиляту забезпечують матеріальний баланс за паровою і рідинною фазами верху колони шляхом зміни витрат холодоагенту в конденсатор і дистиляту відповідно. Дані контури стабілізації призначені для безаварійного ведення процесу в динамічних режимах роботи при переході до оптимального стаціонарного режиму. Завдання регуляторам 7, 10, 13 визначають відповідно до технологічного регламенту.

Розрахунок оптимальних величин керуючих впливів, а також їх реалізація на процес здійснюється за допомогою керуючого пристрою 5 і нелінійної прогнозуючої математичної моделі процесу ректифікації.

Модель являє собою сукупність систем нелінійних рівнянь, що приводить у відповідність векторам основних збурень і керуючих впливів (в тому числі і рухливих) вектор вихідних координат. Математична опис колони включає моделі контактного пристрою, випарника куба і конденсатора, що складаються з рівнянь загального матеріального балансу, матеріальних балансів за окремими компонентами, теплового балансу, алгоритмів розрахунку фазової рівноваги з урахуванням ефективності масопередачі на тарілках, а також балансових рівнянь всієї колони [16]. Розрахунок ректифікаційної колони і визначення її статичних характеристик проводиться потарілчасто або покомпонентно

$$\bar{L},\bar{V},\bar{x}_i,\bar{y}_i,Q_d,\bar{t} = f(W,Q_w,\bar{P},F,\bar{x}_f,q,\bar{N}_f,\bar{t}_f,\bar{P}_f,t_{fl},t_d,\bar{\eta}_i). \quad (1)$$

Розрахунок і реалізація керуючих впливів здійснюються керуючим пристроєм за моделлю процесу і обраним оптимізаційним критерієм з врахуванням необхідних обмежень на якість $x_{w,nz,min}$ (або $x_{d,nz,min}$), продуктивність W_{min} (або D_{min}), собівартість $Q_{w,max}$ кінцевих продуктів і вимірювальної інформації, що надходить з об’єкта керування.

В [13] розроблено методи і алгоритми статичної оптимізації процесу ректифікації із застосуванням рухливих керуючих впливів за нормалізованим критерієм. Розрахунок номеру оптимальної тарілки живлення $N_{f,opt}$ або співвідношення витрат потоків сировини q_{opt}, а також оптимальних витрат тепла $Q_{w,opt}$ в випарнику і флегми Fl_{opt} здійснюється з одночасним врахуванням продуктивності процесу і енерговитрат на його ведення. При цьому також визначаються оптимальні концентраційні, тепловий профілі колони, витрати матеріальних потоків на кожному контактному пристрої колони і теплове навантаження дефлегматора

$$N_{f,opt},q_{opt},Fl_{opt},Q_{w,opt},Q_d,\bar{L},\bar{V},\bar{x}_i,\bar{y}_i,\bar{t} = \\ = f(\bar{N}_f,F,\bar{x}_f,\bar{t}_f,\bar{P}_f,t_{fl},\bar{P},\bar{\eta}_i,W_{\min},Q_{w,\max},x_{w,nz,\min}). \quad (2)$$

В якості незалежних змінних для розрахунку обрано основні контрольовані збурення на процес і параметри, величини яких розраховуються в процесі ідентифікації моделі: витрата, склад, температура потоків живлення, тиск в лінії подачі живлення в колону, температура зрошування, профілі тиску в колоні і ефективностей контактних пристроїв апарату.

Температуру живлення можливо використовувати в якості другого ступеня свободи рухливого керуючого впливу, його інтенсивності, однак це підвищує розмірність оптимізаційної задачі.

Контроль за процесом здійснюється шляхом вимірювання температури (23) і тиску (22) на контрольній тарілці. Прогнозовані за моделлю температурні показники повинні збігатись з встановленою точністю з інформацією, що надходить від датчику 23. Якщо ця вимога не виконується, то виповнюється процедура параметричної ідентифікації прогнозуючої моделі процесу [17].

Ідентифікація полягає у визначенні невимірюваних параметрів моделі – ефективностей за Мерфрі контактних пристроїв. Для чого додатково вимірюються температурний профіль апарату (20a – 20n), витрати кінцевих продуктів (34 і 35), перепад тиску у колоні (9, 19)

$$\bar{\eta}_i,\bar{L},\bar{V},\bar{x}_i,\bar{y}_i,\bar{t} = f(W,Q_w,\bar{N}_f,q,F,\bar{x}_f,\bar{t}_f,\bar{P}_f,t_{fl},t_d,\bar{P},\bar{t}_{pr}). \quad (3)$$

Зміна точки введення сировини в колону або співвідношення витрат потоків сировини, що подаються в верхню і нижню частини колони, здійснюється керуючим пристроєм шляхом впливу на виконавчі пристрої 31a – 31m. При переключенні номеру тарілки живлення одночасно відкрито тільки один вентиль, при перерозподілі – два (при зміні керуючого сигналу один з них відкривається, а інший – закривається).

Оптимальна витрата флегми розраховується і забезпечується керуючим пристроєм з використанням інформації про поточну витрату зрошування, що надходить від датчика 24, шляхом впливу на виконуючий пристрій 32.

Оптимальна витрата тепла забезпечується шляхом зміни витрати теплоносія в випарник. Для цього вимірюється поточна витрата (26), температури (27, 28) теплоносія до і після випарника, тиск (29, 30) в лініях подачі і відводу теплоносія, температура кубового продукту (21). З використанням цих показників керуючий пристрій розраховує поточну кількість тепла, що витрачається в випарнику, і

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

відповідним чином змінює витрату теплоносія шляхом впливу на виконуючий пристрій 33.

Результати досліджень та їх обговорення

З використанням адаптованої для дослідження рухливих керуючих впливів динамічної моделі [16] процесу ректифікації досліджено перехідні режими роботи колони для поділу суміші метанол-вода при застосуванні розробленої системи керування і основних збуреннях на процес зі сторони витрати, складу і температури живлення (рис. 2 – 10).

Колона, що досліджується, містить 18 контактних пристроїв, виносні кип'ятильник і дефлегматор. Концентрація метанолу в живленні становить 0,273 мол. частки. Показники, що визначають регламентований режим роботи колони: N_f = 9, Q_w = 6,4 ГДж/год, D = 62,8 кмоль/год, F = 229,3 кмоль/год, t_f = tкип, P_f = P_j=0 = P_j=18 =1 атм, t_{Fl} = $t_{\text{кип}}$, t_d = tкип, β_x = 3060,5 кмоль/(м^2·год), β_y = 142,82 кмоль/(м^2·год). Цільовим компонентом є метанол, а продуктом – дистилят.

Розрахунки проводилися з кроком Δτ, що складав 0,05 с. Використано наступні величини коефіцієнтів налаштування моделі: рівень в кубовій ємності і збірнику флегми $U_w = U_d$ = 0,3 м; рівень на контактних пристроях U_j = 0,04 м. Відстань між тарілками h_y = 0,2 м. При моделюванні перехідних процесів враховувався час розрахунку оптимальних керуючих впливів.

В якості рухливого керуючого впливу обрано зміну номера тарілки живлення. При моделюванні початковий режим (N_f = 8, Qw = 5,7504 ГДж/год, Fl = 94,72 кмоль/год) розраховано за алгоритмами статичної оптимізації процесу і регламентованими показниками колони. Концентрація метанолу в дистиляті $x_{d,nz}$ складає 0,97 мол. частки.

На рис. 2 – 4 представлено результати розрахунків перехідних процесів в системі керування при десятивідсотковому додатному і від'ємному збуренні за витратою живлення.

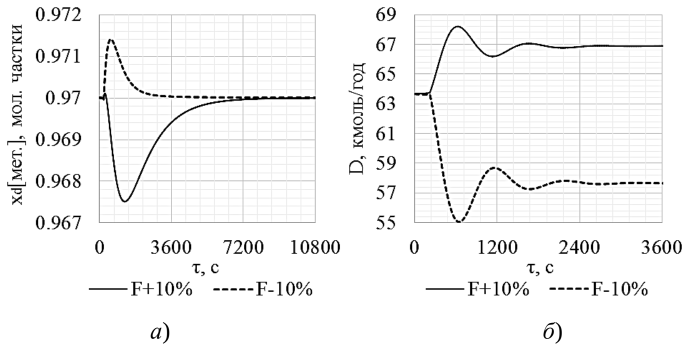


Рис. 2. Перехідні процеси за каналами "витрата живлення – концентрація метанолу в дистиляті" (а) і "витрата живлення – витрата дистиляту" (б) при додатному і від'ємному десятивідсотковому збуренні за витратою живлення

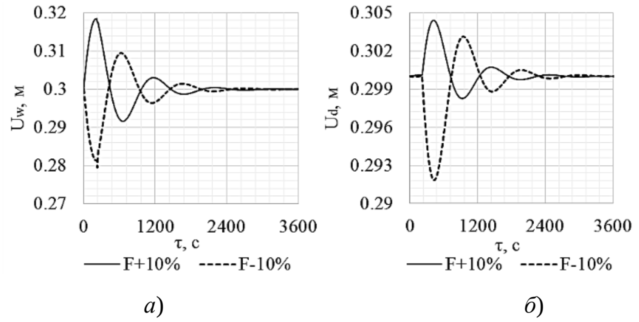


Рис. 3. Перехідні процеси за каналами "витрата живлення – рівень в кубовій ємності" (а) і "витрата живлення – рівень в збірнику флегми" (б) при додатному і від'ємному десятивідсотковому збуренні за витратою живлення

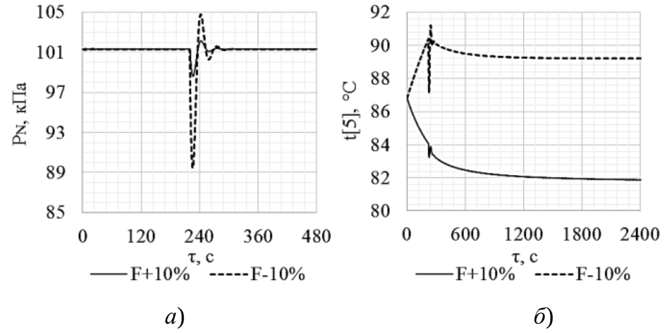
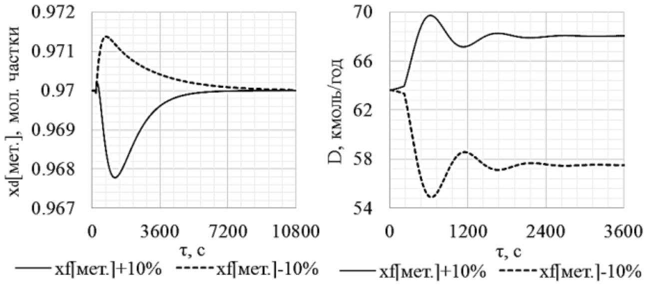


Рис. 4. Перехідні процеси за каналами "витрата живлення – тиск наверху колони" (а) і "витрата живлення – температура на 5-й тарілці" (б) при додатному і від'ємному десятивідсотковому збуренні за витратою живлення

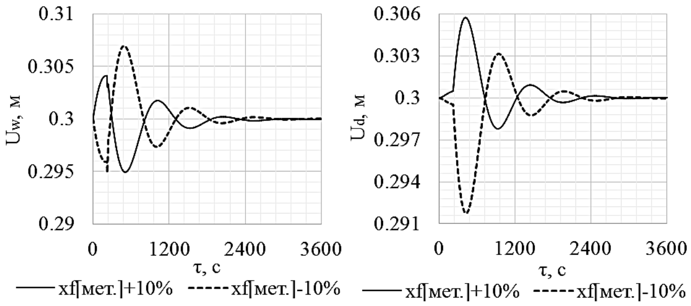
ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

На рис. 5 – 7 представлено результати розрахунків перехідних процесів в системі керування при десятивідсотковому додатному і від'ємному збуренні за складом живлення.



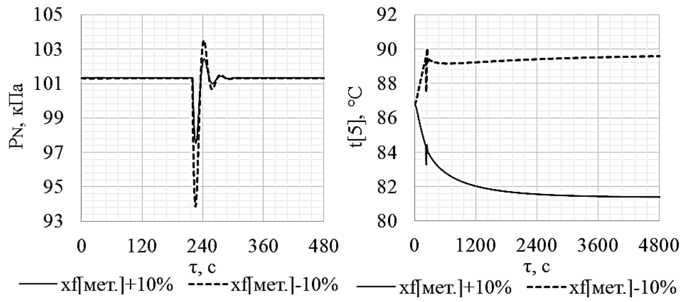
а) *б*)

Рис. 5. Перехідні процеси за каналами "склад живлення – концентрація метанолу в дистиляті" (а) і "склад живлення – витрата дистиляту" (б) при додатному і від'ємному десятивідсотковому збуренні за складом живлення



а) *б*)

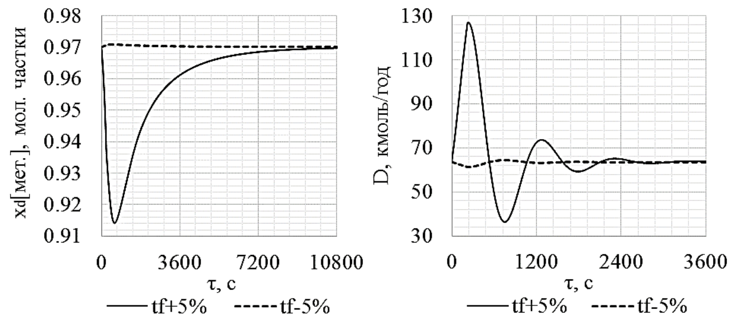
Рис. 6. Перехідні процеси за каналами "склад живлення – рівень в кубовій ємності" (а) і "склад живлення – рівень в збірнику флегми" (б) при додатному і від'ємному десятивідсотковому збуренні за складом живлення



а) *б*)

Рис. 7. Перехідні процеси за каналами "склад живлення – тиск наверху колони" (а) і "склад живлення – температура на 5-й тарілці" (б) при додатному і від'ємному десятивідсотковому збуренні за складом живлення

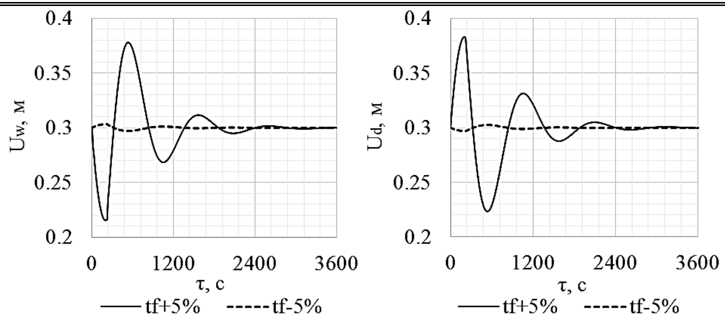
На рис. 8 – 10 представлено результати розрахунків перехідних процесів в системі керування при п'ятивідсотковому додатному і від'ємному збуренні за температурою живлення.



а) *б*)

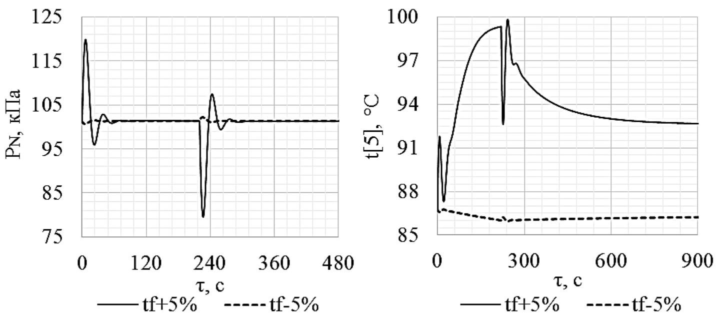
Рис. 8. Перехідні процеси за каналами "температура живлення – концентрація метанолу в дистиляті" (а) і "температура живлення – витрата дистиляту" (б) при додатному і від'ємному п'ятивідсотковому збуренні за температурою живлення

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)



а) *б*)

Рис. 9. Перехідні процеси за каналами "температура живлення – рівень в кубовій ємності" (а) і "температура живлення – рівень в збірнику флегми" (б) при додатному і від’ємному п’ятивідсотковому збуренні за температурою живлення



а) *б*)

Рис. 10. Перехідні процеси за каналами "температура живлення – тиск наверху колони" (а) і "температура живлення – температура на 5-й тарілці" (б) при додатному і від’ємному п’ятивідсотковому збуренні за температурою живлення

Результати розрахунків дозволяють дослідити особливості перехідних процесів в розробленій системі автоматичного рухливого керування процесом ректифікації і визначити показники якості керування.

Зміни основного показника процесу – концентрації метанолу в дистиляті – в перехідному режимі мають аперіодичний характер незалежно від того, за яким каналом надійшло збурення (рис. 2, 5, 8).

Підвищення витрати живлення суттєво збільшує навантаження колони за рідинною фазою і рівні в ємностях (рис. 3). Регулятори рівнів збільшують витрати кінцевих продуктів і продуктивність установки (рис. 2). Вихід дистиляту підвищується і при збільшенні кількості цільового компоненту в живленні (рис. 5), проте в цьому випадку витрата кубового продукту знижується.

Автоматичне керування із застосуванням рухливих керуючих впливів при десятивідсотковому збуренні за витратою живлення характеризується наступними показниками якості: динамічна похибка за каналом "витрата живлення – концентрація метанолу в дистиляті" не перевищує 0,26% (рис. 2). Час регулювання становить 1 годину (рис. 2) і співставний з часом встановлення концентрацій і температур при збуреннях на процес [16].

В якості контрольного обрано 5-ий контактний пристрій колони. Додатні збурення за витратою і складом живлення призводять до зниження температури на даній тарілці, що пов’язано з підвищенням кількості легкого компонента – метанолу (рис. 4, 7). Зворотна ситуація в разі від’ємного збурення, коли концентрація даного компонента знижується.

Підвищення температури живлення, яке подається в колону у вигляді киплячої рідини, визначає випаровування його частини і збільшення навантаження колони за паровою фазою одночасно зі зниженням навантаження за рідинною. При п’ятивідсотковому підвищенні температури живлення частка рідинної фази становить 0,741. Такий суттєвий вплив на тепловий баланс ректифікаційної колони призводить до зниження рівня в кубовій ємності і підвищення в збірнику флегми (рис. 9), істотно збільшуючи вихід дистиляту при значному падінні концентрації метанолу в ньому (рис. 8). Це вимагає значні за величинами керуючі впливи, що полягають, в першу чергу, в змінах точки введення живлення в колону і витрати холодоагенту в конденсатор.

Використання адекватної математичної моделі для прогнозування оптимальних статичних режимів процесу, застосування рухливих керуючих впливів, що полягають у змінах точки введення сировини в колону або співвідношення витрат потоків сировини, що подаються в верхню і нижню частини колони, одночасно із цим розрахунок і реалізація традиційних керуючих впливів, що полягають в змінах витрат тепла в випарнику і зрошування в колонну, розрахунок оптимальних керуючих впливів із застосуванням методів оптимізації, здійснення контролю за процесом керування дозволяють підвищити техніко-економічні показники процесу і поліпшити якість керування. Завдяки контролю основних збурень на процес керуючі впливи

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

реалізуються до того, як ці збурення викликають значні зміни режиму роботи і показників колони; оптимальне навантаження колони за паровою і рідинною фазами забезпечується одночасно із надходженням збурення.

Висновки та перспективи подальшого розвитку

1. Розроблено систему автоматичного керування процесом ректифікації, яка застосовує рухливі керуючі впливи, дозволяє підвищити продуктивність і енергоефективність процесу і передбачає: ідентифікацію параметрів прогнозуючої математичної моделі з використанням вимірювальної інформації щодо поточних показників процесу і температурного профілю установки; стабілізацію тиску наверху колони, рівнів в ємностях для збору дистиляту і кубового продукту; розрахунки керуючим пристроєм оптимальних за нормалізованим критерієм значень рухливих і традиційних керуючих впливів; їх застосування шляхом впливів на виконавчі пристрої на лініях подачі потоків живлення, зрошування в колону і теплоносія в випарник.

2. Результати дослідження перехідних процесів в розробленій системі автоматичного керування, в якій застосовуються рухливі керуючі впливи, дозволяють відзначити допустимі величини показників якості керування – часу регулювання, динамічних похибок, показника коливальності. Проведене моделювання динамічних режимів і його результати доводять, що застосування рухливих керуючих впливів разом із традиційними дозволяє змінювати просторову координату надходження в колону живлення, встановлювати оптимальні матеріальне та енергетичне навантаження установки шляхом зміни витрат парового і рідинного потоків усередині апарата. Завдяки цьому забезпечуються стаціонарні режими процесу, недосяжні при застосуванні лише традиційних керуючих впливів, підвищується продуктивність і енергозбереження ректифікаційних апаратів.

Розроблена система може використовуватись в хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній, харчовій промисловості для керування та оптимізації процесів бінарної, багатокомпонентної ректифікації. Подальші дослідження полягають в розробці системи оптимального рухливого керування процесом ректифікації, системи автоматичного керування процесом складної ректифікації.

Список літератури

1. Speight J. G. The Refinery of the Future (Second Edition). 4 – Distillation. Gulf Professional Publishing. 2020. P. 125–159. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816994-0.00004-X
2. Ray S., Das G. Process Equipment and Plant Design. Chapter 11 – Distillation. *Elsevier*. 2020. P. 281–350. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814885-3.00011-7
3. Luyben W. L. Control of a two-pressure distillation column. *Journal of Process Control*. 2020. Vol. 92. P. 288–295. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2020.06.015
4. Qian X., Jia S., Huang K., Chen H., Yuan Y., Zhang L. Model predictive control of azeotropic dividing wall distillation column for separating furfural-water mixture. *ISA Transactions*. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.10.068
5. Shin Y., Smith R., Hwang S. Development of model predictive control system using an artificial neural network: A case study with a distillation column. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 277. 124124. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124124
6. Tian Y., Pappas I., Burnak B., Katz J., Pistikopoulos E. N. Simultaneous Design & Control of a Reactive Distillation System – A Parametric Optimization & Control Approach. *Chemical Engineering Science*. 2020. 116232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116232
7. Pataro I. M. L., da Costa M. V. A., Joseph B. Closed-Loop Dynamic Real-Time Optimization (CL-DRTO) of a Bioethanol Distillation Process Using an Advanced Multilayer Control Architecture. *Computers & Chemical Engineering*. 2020. Vol. 143. 107075. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.107075
8. Behrooz H. A. Robust set-point optimization of inferential control system of crude oil distillation units. *ISA Transactions*. 2019. Vol. 95. P. 93–109. DOI: https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.05.022
9. Mello G. N., Battisti R., Urruth N. S., Machado R. A. F., Marangoni C. New distributed-action control strategy with simultaneous heating and cooling in trays of a pilot-scale diabatic distillation column. *Chemical Engineering Research and Design*. 2020. Vol. 159. P. 424–438. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.05.001
10. Kubyshkin V. A. Mobile control of vibrations in systems with distributed parameters. *Automation and Remote Control*. 2011. № 72 (10). P. 2112-2122. DOI: https://doi.org/10.1134/S0005117911100109
11. Cheng Y.-C., Yu C.-C. Effects of feed tray locations to the design of reactive distillation and its implication to control. *Chemical Engineering Science*. 2005. Vol. 60 (17). P. 4661–4677. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ces.2005.03.033
12. Левчук И. Л., Шейкус А. Р., Тришкин В. Я. Способ управления процессом ректификации с помощью распределенных управляющих воздействий. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2015. № 14 (1123). С. 100–105.
13. Шейкус А. Р. Оптимізація процесу ректифікації використанням неперервних рухливих керуючих впливів шляхом перерозподілу живлення. *Advanced Information Systems*. 2019. № 3 (3). С. 30–36. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.04
14. А. с. 1740026 СССР, МПК B01D 3/42. Способ автоматического регулирования ректификационной колонны с двумя потоками сырья [Текст] / Зайко А. П. (СССР). – 4761778/26; заявл. 22.11.89; опубл. 15.06.92, Бюл. № 22. – 6 с.
15. Li Y., Chen J. Design and control of an energy-saving phosgenation reaction distillation for toluene diisocyanate. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2020. Vol. 154. 107933. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107933

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

16. Шейкус А. Р. Математичне моделювання динамічних режимів процесу ректифікації при застосуванні рухливих керуючих впливів. *Automation of Technological and Business Processes*. 2020. № 11 (4). С. 55–67. DOI: https://doi.org/10.15673/atbp.v11i4.1600
17. Шейкус А. Р. Параметрична ідентифікація математичної моделі процесу ректифікації. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. №3. С. 32–40.

References

1. Speight, J. G. (2020), "The Refinery of the Future (Second Edition). 4 – Distillation", *Gulf Professional Publishing*, P. 125–159. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816994-0.00004-X.
2. Ray, S., Das, G. (2020), "Process Equipment and Plant Design. Chapter 11 – Distillation", *Elsevier*, P. 281–350. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814885-3.00011-7.
3. Luyben, W. L. (2020), "Control of a two-pressure distillation column", *Journal of Process Control*, No. 92, P. 288–295. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2020.06.015.
4. Qian, X., Jia, S., Huang, K., Chen, H., Yuan, Y., Zhang, L. (2020), "Model predictive control of azeotropic dividing wall distillation column for separating furfural-water mixture", *ISA Transactions*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.10.068.
5. Shin, Y., Smith, R., Hwang, S. (2020), "Development of model predictive control system using an artificial neural network: A case study with a distillation column", *Journal of Cleaner Production*, No. 277, 124124. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124124.
6. Tian, Y., Pappas, I., Burnak, B., Katz, J., Pistikopoulos, E. N. (2020), "Simultaneous Design & Control of a Reactive Distillation System – A Parametric Optimization & Control Approach", *Chemical Engineering Science*, 116232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116232.
7. Pataro, I. M. L., da Costa, M. V. A., Joseph, B. (2020), "Closed-Loop Dynamic Real-Time Optimization (CL-DRTO) of a Bioethanol Distillation Process Using an Advanced Multilayer Control Architecture", *Computers & Chemical Engineering*, No. 143, 107075. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.107075.
8. Behrooz, H. A. (2019), "Robust set-point optimization of inferential control system of crude oil distillation units", *ISA Transactions*, No. 95, P. 93–109. DOI: https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.05.022.
9. Mello, G. N., Battisti, R., Urruth, N. S., Machado, R. A. F., Marangoni, C. (2020), "New distributed-action control strategy with simultaneous heating and cooling in trays of a pilot-scale diabatic distillation column", *Chemical Engineering Research and Design*, No. 159, P. 424–438. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.05.001.
10. Kubyshkin, V. A. (2011), "Mobile control of vibrations in systems with distributed parameters", Automation and Remote Control, No. 72 (10), P. 2112–2122. DOI: https://doi.org/10.1134/S0005117911100109
11. Cheng, Y.-C., Yu, C.-C. (2005), "Effects of feed tray locations to the design of reactive distillation and its implication to control", *Chemical Engineering Science*, No. 60 (17), P. 4661–4677. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ces.2005.03.033.
12. Levchuk, I. L., Sheikus, A. R., Trishkin, V. Ja. (2015), "The method of control of the distillation process using distributed control actions" ["Sposob upravleniya protsessom rektifikatsii s pomoshch'yu raspredelennykh upravlyayushchikh vozdeystviy"], *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*, No. 14 (1123), P. 100-105.
13. Sheikus, A. R. (2019), "Distillation process optimization using continuous mobile control actions by redistributing the feed flow" ["Optymizatsiia protsesu rektyfikatsii vykorystanniam neperervnykh rukhlyvykh keruiuchykh vplyviv shliakhom pererozpodilu zhyvlennia"], *Advanced Information Systems*, No. 3 (3), P. 30–36. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.04
14. Zajko, A. P. (1989), "The method of automatic control of a distillation column with two streams of feed" ["Sposob avtomaticheskogo regulirovanija rektifikacionnoj kolonny s dvumja potokami syr'ja"], *USSR copyright certificate 1740026*, No. 4761778/26, No. 22, 6 p.
15. Li, Y., Chen, J. (2020), "Design and control of an energy-saving phosgenation reaction distillation for toluene diisocyanate", *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, No. 154. 107933. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107933.
16. Sheikus, A. R. (2020), "Dynamic simulation of mobile control actions on the distillation process" ["Matematychne modeliuvannia dynamichnykh rezhymiv protsesu rektyfikatsii pry zastosuvanni rukhlyvykh keruiuchykh vplyviv"], *Automation of Technological and Business Processes*, No. 11 (4), P. 55–67. DOI: https://doi.org/10.15673/atbp.v11i4.1600
17. Sheikus, A. R. (2017), "Parametric identification of mathematical model of the process of rectification" ["Parametrychna identyfikatsiia matematychnoi modeli protsesu rektyfikatsii"], *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, No. 3, P. 32–40.

Надійшла (Received) 09.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шейкус Антон Романович – кандидат технічних наук, ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", доцент кафедри комп’ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Дніпро, Україна; email: a.sheykus@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5575-098X.

Шейкус Антон Романович – кандидат технических наук, ГВУЗ "Украинский государственный химико-технологический университет", доцент кафедры компьютерно-интегрированных технологий и автоматизации, Днепр, Украина.

Sheikus Anton – PhD (Engineering Sciences), Ukrainian State University of Chemical Technology, Associate Professor of the Department of Computer-Integrated Technology and Automation, Dnipro, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ

Предмет. Система автоматического подвижного управления процессом ректификации. **Цель.** Повышение производительности и энергоэффективности процесса ректификации путем разработки системы автоматического управления, которая предусматривает подвижные управляющие воздействия на процесс, а также исследования переходных процессов в разработанной системе при основных возмущениях. **Задачи.** Разработка системы автоматического подвижного управления процессом ректификации, расчет переходных процессов в разработанной системе, определение и оценка показателей качества управления. **Методы.** Методы имитационного цифрового моделирования работы автоматической системы управления. **Результаты.** Разработана система автоматического управления процессом ректификации, предусматривающая дискретные и непрерывные подвижные управляющие воздействия. Дискретные воздействия заключаются в изменениях точки ввода питания в колонну; непрерывные – в изменении соотношения расходов потоков питания, которые подаются в верхнюю и нижнюю части установки. Также используются традиционные управляющие воздействия путем изменения расходов теплоносителя в испаритель куба и орошения. Оптимальные традиционные и подвижные управляющие воздействия рассчитываются вычислительным управляющим устройством за нормализованным критерием с использованием нелинейной прогнозирующей модели и реализуются путем воздействий на исполнительные устройства на линиях подачи потоков питания, орошения в колонну и теплоносителя в испаритель. Система предусматривает использование адекватной математической модели, для чего выполняется ее периодическая идентификация и осуществляется контроль за ходом процесса путем дополнительного измерения температурного профиля колонны, температуры и давления на контрольной тарелке. С целью поддержания материального баланса по жидкой и паровой фазах предусмотрена стабилизация давления вверху колоны, уровней в емкостях для сбора дистиллята и кубового продукта путем изменения расходов хладагента в конденсатор, дистиллята и кубового продукта. На примере ректификационной колонны для разделения смеси метанол-вода методами имитационного цифрового моделирования исследована работоспособность предложенной системы автоматического управления с использованием подвижных управляющих воздействий. Возмущения состояли в изменениях расхода, состава и температуры питания. **Выводы.** Доказано, что использование разработанной системы позволяет повысить технико-экономические показатели процесса ректификации и улучшить качество управления. Результаты могут использоваться в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности для управления и оптимизации процессов бинарной, многокомпонентной ректификации.

Ключевые слова: ректификация; подвижное управление; прогнозирующая модель; переходные процессы; тарелка питания.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF AUTOMATIC MOBILE CONTROL OF THE DISTILLATION PROCESS

Subject. System of automatic mobile control of distillation process. **Objective.** Improving the productivity and energy efficiency of the distillation process by developing an automatic control system that provides mobile control effects on the process, as well as the study of transients in the developed system during major disturbances. **Tasks.** Development of a system of automatic mobile control of the distillation process, calculation of transients in the developed system, definition and evaluation of quality control indicators. **Methods.** Methods of simulation digital modeling of automatic control system operation. **Results.** A system of automatic control of the distillation process has been developed, which provides for discrete and continuous mobile control actions. Discrete effects are changes in the point of introduction of feed into the column; continuous – in changing the ratio of the flow rates of feed flows supplied to the upper and lower parts of the installation. Traditional control effects are also used by changing the heat carrier flow rate in the cube evaporator and irrigation. Optimal traditional and mobile control effects are calculated by the computing control device according to the normalized criterion using a nonlinear predictive model and are realized by influencing the actuators on the supply lines of feed flows, irrigation in the column and the heat carrier in the evaporator. The system involves the use of an adequate mathematical model, for which its periodic identification is performed and the process is monitored by additional measurement of the temperature profile of the column, temperature and pressure on the control plate. In order to maintain the material balance in the liquid and steam phases, it is planned to stabilize the pressure at the top of the column, the levels in the distillate and the cubic product receivers by changing the flow rates, of refrigerant to the condenser, distillate and cubic product. Using the example of a distillation column for separating a methanol-water mixture, the operability of the proposed automatic mobile control system is studied by digital simulation methods. The disturbances consisted of changes in the flow rate, composition, and temperature of the feed. **Conclusions.** It is proved that the use of the developed system allows to increase the technical and economic indicators of the distillation process and to improve the quality of management. The results can be used in the chemical, petrochemical, oil refining, food industries to control and optimize the processes of binary, multicomponent distillation.

Keywords: distillation; mobile control; predictive model; transient responses; feed tray.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Шейкус А. Р. Розробка системи автоматичного рухливого керування процесом ректифікації. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 94–103. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.094

Sheikus, A. (2020), "Development of a system of automatic mobile control of the distillation process", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 94–103. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.094

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

JEL code: G31, G39, C23 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.104

DR. ADEPOJU ADEOBA ASAOLU

DETERMINANTS OF CAPITAL STRUCTURE IN NIGERIAN OIL AND GAS SECTOR

Subject matter: The Oil and Gas sector no doubt is Nigeria's topmost foreign exchange earner and determines the country's gross domestic products (GDP) as well as the yardstick for Nigeria's national annual budget metrics. The prime of place of this sector's performance makes its funding (capital structure) very vital to the respective companies and overall performance of the economy. **Goal**: This study therefore examines the determinants of capital structure decisions in the Oil and Gas sector. **Tasks**: Ultimately, the outcome of this study would benefit the Oil and Gas companies in making their capital structure decisions on preferred source of capital (loans or equity or a combination), the sector as a whole in terms of capacity and the regulatory authority in their assets performance monitoring. **Method**: The investigation has been performed using panel data procedure for a sample of seven Oil and Gas companies listed on the Nigerian Stock Exchange during 2008–2019. The study uses leverage as the dependent variable and five explanatory variables namely, liquidity, size, tangibility, non-debt tax shield and profitability. The study employed infoview (9.0) statistical software which assisted greatly in the understanding of the behaviour of variables used and the final results. **Results**: The results show that Liquidity has a negative relationship with leverage unlike other variables that have positive and relationship with the dependent variable. The relationship established between liquidity and leverage confirms that most of the companies under review look inwards in their financing activities (and may consider external financing for critical expansion and tax savings), our findings further reveal that the relationships between the variables is in tandem with the pecking order theory. **Conclusions**: The research concludes that there exists a relationship between leverage (capital structure) and the various determinants above. The research recommends that policy makers should consider the restructuring of the equities market to pave ways for more participatory financing especially now that the investors' confidence is gradually building up, develop the bonds market and also seek flexible conditions for accessing loans especially to the larger firms in the oil and gas industry.

Keywords: capital structure decision; liquidity; size; tangibility; Non-Debt Tax Shield (NDTS) and profitability.

Introduction

Capital Structure succinctly put refers to the framework through which a corporation finances its assets, using the combination of debt, equity, and hybrid securities. Capital structure is very important to a firm because it guarantees its fluidity either in financing its existing operations or in expanding its frontiers. A firm may not be able to achieve its objectives without the right financing mix. However, one important consideration in the selection of the best-fit capital structure for any firm is its level of efficiency, that is not just pooling funds together to finance a company's assets or capital, but it has to be at optimal level. This is the capital structure that minimizes a firm's cost of capital, maximizes market value, and increases shareholder's wealth (Pouraghajan & Malekian 2012).

Broadly speaking, capital structure is viewed differently from one firm to another. It is the assignment of debt and equity into a firm's financing profile. While debts are funds generated by borrowing, equities represent funds generated from sale of stocks. It could also be described as various combinations of debt and equity or hybrid securities for maximum value derivation at minimal overall cost.

To decide the capital structure therefore certain variables are to be taken into consideration. In the light of this, many theories (for example pecking order, trade-off, and free cash flow theories, among others) are in place to help financial managers achieve the ultimate goals of the firm.

The risks associated with equity appear higher to investors than the risks lenders take for creating debts. Overall, in term of measures of risks and costs, equity is higher than debt.

While some firms promote either of debt or equity, others opt for optimal mix of debt and equity. Firm specific factors (internal factors/ factors native to each firm) and macroeconomic factors could influence the combination of debt, equity and hybrid securities of firms. The justifications for choosing any of the options depend on perceived inherent benefits. A good consideration for debt is tax shelter enjoyed because interests on loans are tax deductible, others may choose equity due to 'double-barrel' benefits of capital appreciation and bonuses, among other benefits. One thing common to capital structure strategies is that firms crave for efficiency, hence the essence of optimal capital structure, that is, capital structure decision that delivers maximum value or returns at minimal cost.

A major objective of a firm is the maximization of the wealth of its owners through positive returns on their invested funds. In their quest to achieving this feat, firms perform their financing and investment decisions in the most effective and efficient ways. This in effect suggests that the ability of a firm to attain an optimal mix of debt and equity could positively affect the performance of the firm and supports the maximization of shareholders' wealth.

One challenge that firms face is the need to make correct financing decisions in respect of the right mix of debt and equity.

While optimal capital structure is important in harnessing the frontiers of a firm, the same goes for existing firms wishing to expand their frontiers in order to remain competitive. Applying the right decision is critical not just for the maximization of returns to the various organizational stakeholders, but also because of the impact such a decision will have on the organization's capability in dealing with its competitive environment

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

(Ogebe, Ogebe & Alewi, 2013).

The financial manager would therefore have to determine the best combination of equity and debt that would enhance the wealth of the shareholders and minimize the cost of capital. Ramadan and Ramadan (2015) revealed that most profitable firms rely less on borrowing to finance their cash needs and this invariably supports the pecking order theory which confirms an inverse relationship between borrowing and profitability of the firms. Lemma and Negash (2014) on their part found out that a more profitable firm tends to adjust its capital structure more regularly than the less profitable ones. The right combination chosen by the financial manager is crucial to guaranteeing the going concern status of a firm, because employing a wrong mix could seriously hinder the performance and survival of the business (Onaolapo & Kajola, 2010).

Whenever a firm has to contend with financial deficit that impacts on its financial condition, the manager is expected to make a managerial decision that would help to maintain the viability of the firm. Sources of capital include retained earnings, debt, and equity; retained earnings are the cheapest funding source as it does not have explicit costs in the same way as funds obtained externally. When the firm uses debt to finance investment, it increases costs and the firm is exposed to a financial risk. Therefore, right decisions should be taken on the firm's debt structure, maturity, decision on mixed debt to certain parties or to the investor, and other types of debt contracts (Morellec, 2001).

If a firm uses equity as part of its capital structure, either ordinary share or preferred share, then the shareholders of those stocks are the owner of the firm. Unlike stocks, debt has a due date. Repayment of stocks is not necessarily required since stocks are liquidated if the firm goes bankrupt or in extreme cases if firms wind down by the compulsion of law. Issuing new stocks may reduce the authority of the old owners in the firm, this is however expected to be properly managed such that existing owner do not feel threatened. The cost of the issuance of stocks is the dividend which will be distributed to shareholders. Furthermore, interests paid on debt can be treated as tax-deductible expenses, but dividend payment on common stock and preferred stocks are not tax-deductible.

The concept of capital structure takes its root from the curtain-raising work of Modigliani and Miller (1958) on capital structure irrelevancy hypothesis which is based on an unrealistic Arrow-Debreu environment (complete market, absence of transaction and bankruptcy costs and no taxes) which have opened the door to plethora of researches that present the real world scenarios; this paper is therefore intended to contribute to this topic which is fundamental to finance. On the whole, there is yet to be a universally acceptable model on this crucial subject. Most of the researches conducted on capital structure concluded that there is an optimal capital structure that is affected by a variety of internal and external factors.

This study therefore is an attempt to contribute to the subject of capital structure by researching into the determinants of capital structure and by extension its importance in arriving at optimal capital structure especially in the Oil & Gas sector.

Issues of capital structure have been widely revised in Nigeria. However, literature on capital structure on Oil & Gas reported mixed / inconclusive findings. The conflict in findings is believed to be as a result of different methodologies used, the period of research and paucity or incomplete data, among other reasons. The methodology used in this study and the approach is therefore designed to reduce the gap identified as stated above in earlier studies.

Theoretical bases

This section addresses issues relating to capital structure theories and their impacts on returns/ performance. The prime of place of capital structure is such that firms need to constantly dissect their portfolios of debt, equity, and hybrid securities to finance assets, operations, and future growth. In reality however, *capital structure* may be highly complex with numerous sources. Two schools of thought are captured in the extant literature namely; relevance or traditional theory and the irrelevancy theory. There are several definitions allotted to the concept of capital structure, for example, Jensen and Meckling (1979) define capital structure as the sources of financing, particularly the proportions of debt (leverage/gearing) and equity that a business uses to fund its assets, operations and future growth. In a similar vein, Ross (1997) defines capital structure as the combination of debt and equity in long term financing of a company's operation. Capital structure according to Pandey (2004) is the proportionate relationship between long-term debt and equity. Equity is also defined to include share-capital, share premium, reserves and surplus (retained earnings). Equity is a good source of capital to business, specifically, funds from the stock market has been a source of capital for the corporate sector. Horne (2002) defines capital structure as the proportion of debt instruments, preferred and common stock on a company's balance sheet. Broadly speaking capital structure can be classified into two categories namely; Pure Equity Capital Structure which is when a firm's assets are financed by equity only (no borrowing), the capital structure is termed as pure equity capital structure and the firm is called an unlevered firm. Secondly, Mixed Capital Structure, here firm employs both equity and debt capital to finance its assets, the capital structure is termed as mixed/hybrid capital structure and the firm is called a levered firm.

The specific mix of debt and equity which maximizes the value of a firm is called the optimal capital structure. The current trend is that most companies have mixed capital structure because of two main advantages of debt financing: (i) lower cost and (ii) interest payments being tax-exempted. However, excessive leverage may prove to be counterproductive because of high probability of bankruptcy.

In the foundational theory (genesis) of capital structure, David Durand (1959) in one of his earliest works identified two extreme approaches (views) namely net income (NI) approach and net Operating Income

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

(NOI) Approach. These theories were based on the following assumptions: perfect capital markets (no information, transaction and bankruptcy costs), no corporate taxes (relaxed later on), no growth in operating income (constant EBIT), 100% dividend pay-out ratio, firm's capital structure changeable by selling debt to repurchase stock on by selling stock to retire debt, homogeneous expectations of investors and cost of debt (Kd) remaining constant irrespective of the debt level in the capital structure.

As earlier said, the theory of capital structure which has its origin in the irrelevance theory of capital structure by Modigliani and Miller (1958) with its attendant unrealistic assumptions has caused researchers to test the MM claims and juxtapose same with real world situation bearing in mind the relationship between capital structure and firm specifics in different countries and different sectors due to the prime of place of capital structure to the firms. This has invariable culminated in various other theories such as the pecking order theory, the static trade of theory, the agency costs theory and bankruptcy theory, dynamic trade-off theory, substitution theory, neutral mutation, cash-flow, signaling and market timing of capital structure.

Quite a number of existing literatures on capital structure hinge on the determinants of capital structure. Booth, Aivazian, Demirguc-Kunt and Maksimovic (2001) in their investigation of the determinants of capital structure across ten developing countries, opine that the firm's capital structure decisions in developing economies are affected by the same factors that affect that of developed economies. Pandey & Singh (2015) in his study analyzed the firm-specific and country-specific determinants of capital structure for firms in four developing countries and asserts that firm specifics affect the individual capital structures of the different firms as well as the country specifics.

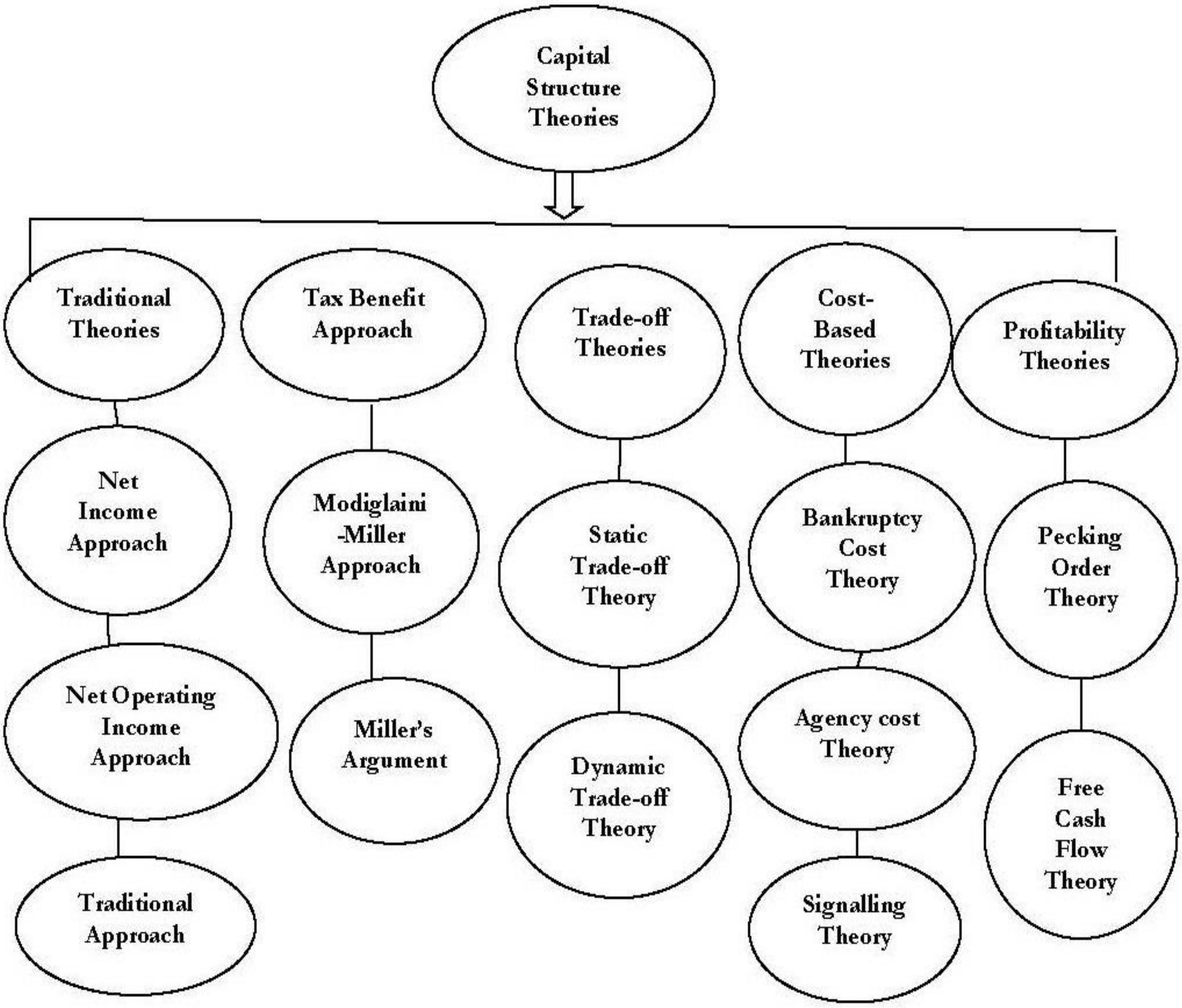


Fig. 1. Schematic Presentation of Capital Structure Theories
Authors' Modification (Tewara, 2016)

There are quite a number of factors that determine capital structure which could be narrowed down to market forces, industry type, and size of the firm, government and internal policies of the firm. Floatation and other direct costs, ownership structure, profitability, corporate tax and bankruptcy costs (Tewara, 2016).

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

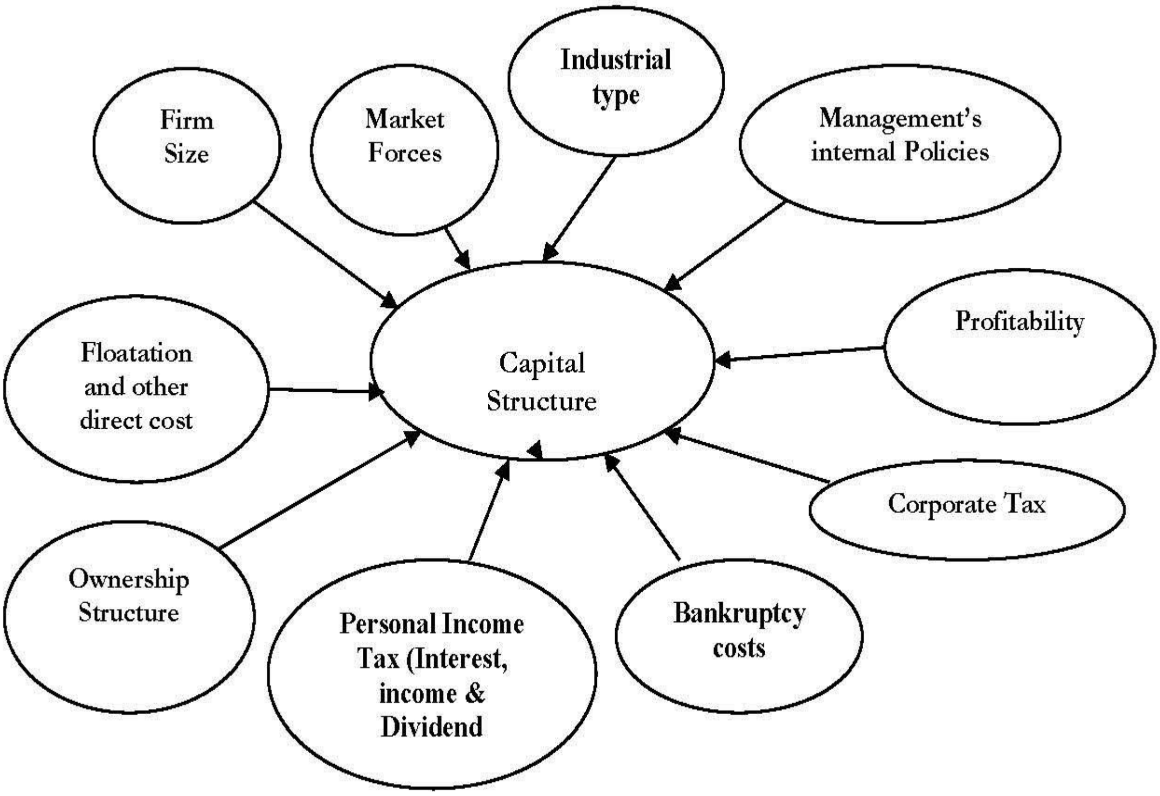


Fig. 2. Factors determining Capital Structure / Conceptual Framework
Source: Author's adaptation (Tewara (2016).

The data used in this empirical analysis were sourced from the Nigerian Stock Exchange (a very trusted source of data in Nigeria), while firm specific reports were extracted from the annual report/ audited financials of the firm used in the study. It is comprised of seven (7) leading Oil & Gas firms in Nigeria and the data was collated over the period of eleven (11) years, that is, 2008-2019. The period covered pre and post-global financial meltdown which invariably gives a true reflection of the mean performances of the firm under review.

Methodology /Model Specification

As earlier stated, the objective of this study is to identify the effects of liquidity, size, tangibility non-debt tax shield and profitability on capital structure decisions of the listed companies in Nigerian oil and gas industry. The dependent variable used is the leverage of the selected firms, while the explanatory variables were liquidity (measured by current ratio), size, tangibility, non-debt tax shield and profitability. Panel data analysis is used to generalize the results (Eriotis, Vasiliou, Ventoura-Neokosmidi, 2007). This will enable us consider the effects of such data to estimate the results. Pooled least square is used to estimate the association between the studied variables. Thus, the following model emerged in the following functional form:

$$LV = F(LQ,\ SZ,\ TN,\ NDTS, PR). \quad (1)$$

The econometric form of equation 1 is represented as:

$$LV = \alpha_0 + \alpha_1 LQ_{it} + \alpha_2 SZ_{it} + \alpha_3 TN_{it} + \\ + \alpha_4 NDTS_{it} + \alpha_5 PRit_{+} \mu_{it}. \quad (2)$$

A priori expectations: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 > 0$ (non-negativity assumption).

Table 1. *Explanation & bases of variables*

Variable	Factor used	Signalling property
1	2	3
Leverage Ratio ***(LV)***	Leverage ratio is the firm's ratio of total debt (short term and long term) to total assets	Leverage ratio assists with the evaluation of a firm's debt situation/ level. Its importance stems from the fact that firms depend on the mixture of debt and equity to finance their existing or proposed operations. Therefore, a good knowledge of the amount of debt or debt instruments held by the firm is useful in evaluating whether it has the capacity to meet up with its debt obligations when they fall due and to hint ahead of when to raise the red flag

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

The end **Table 1**

1	2	3
Liquidity (***LQ_{it}***)	Current ratio, that is, liquidity of firm i in year t	Liquidity is a measure of a firm's financial strength. The going concern status of any organization is guaranteed by it. It is an important explanatory variable for leverage. A firm with sufficient liquidity is likely to make the best capital structure decision
Size (***SZ_{it}***)	Size of firm i in year t; total assets of the firm per year.	It is also a good explanatory variable for leverage ratio. Large firms are able to hold more debt rather than small firms, because large firms have higher debt capacity. According to Rajan and Zingales (1995), larger firms are likely to be more diversified and fail less often. Thus, size may be an inverse proxy for the probability of bankruptcy
Tangibility (***TN_{it}***)	Tangibility of firm i in year t (measured as the ratio of total net fixed assets to total assets Fixed asset Total Assets	The agency cost theory models suggest that the conflict between lenders and shareholders create an incentive for shareholders to invest in a sub-optimal way. A measure of tangibility employed in Huang and Song (2002) is fixed assets divided by total assets
Non-debt tax shield (***$NTDS_{it}$***)	Non-debt tax shield of a firm i in year t (measured as ratio of annual depreciation to total assets) Annual depreciation Total Assets	Non-debt tax shields are other items apart from interest expenses, which contribute to a decrease in tax payments, such as the tax deduction for depreciation. According to Modigliani and Miller (1958), interest tax shields create strong incentives for firms to increase leverage. Therefore, where there are non-debt tax shields, they would serve as substitutes for the tax benefit of debt financing (DeAngelo and Masulis, 1980).
Profitability (***PR_{it}***)	Profitability of firm i in year t (measured by the ratio of Total Earnings Before Interest and Tax to total assets, that is, Earnings Before interest and Tax (EBIT) Total Assets)	There are conflicting effects of profitability on leverage for example, Myers and Majluf (1984), using the pecking order, predicts a negative relationship between profitability and leverage. The reason is that the pecking order theory suggests firms will use retained earnings first as investment funds and then move to bonds and new equity only if necessary. Therefore, it is believed that profitable firms tend to have less debt. Jensen (1986) predicts a positive relationship if the market for corporate control is effective. However, if the market is ineffective. Jensen (1986) predicts a negative relationship between profitability and leverage. A measure of profitability equals earnings before interest and tax divided by total assets

Source: Author's compilation (2019)

Results

In order to realize the objective of the study, two general methods are used in the empirical analysis of data. The preliminary analysis (which comprises of the descriptive and correlation analysis) of the data is first conducted to provide background analysis on the data and to generate the initial characterization of the data used in the study. Thereafter, the panel multiple regressions were conducted using the ordinary least square (OLS) method. The data were analyzed using E-view 8.0 econometric software. The results are presented below:

Table 2. *Descriptive Statistics of All Variables*

Variables	LV	LQ	TN	PR	SZ	NDTS
1	2	3	4	5	6	7
Mean	0.577	0.943	0.354	0.122	16.833	0.148
Median	0.669	0.900	0.300	0.091	17.640	0.036
Maximum	1.010	1.980	0.911	0.673	20.890	0.759
Minimum	0.030	0.041	0.001	-0.277	11.760	0.001

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

The end **Table 2.**

1	2	3	4	5	6	7
Std. Dev.	0.277	0.354	0.175	0.153	2.239	0.221
Skewness	-0.538	0.377	1.070	1.177	-0.632	1.786
Kurtosis	2.054	4.987	4.585	5.730	2.587	4.715
Jarque-Bera	5.382	11.854	18.636	34.119	4.637	41.202
Probability	0.067	0.003	0.000	0.000	0.098	0.000
Sum	36.354	59.414	22.290	7.685	1060.520	9.316
Sum Sq. Dev.	4.753	7.782	1.905	1.458	310.852	3.032
Observations	63	63	63	63	63	63

Source: Computation by the Author, 2018.

Correlation Analysis.

The initial patterns of relationship among the variables can be observed based on the correlation among the variables.

Table 3. *Pearson Correlation Statistics*

	LV	LQ	TN	PR	SZ	NDTS
LV	1.000000					
LQ	0.030534	1.000000				
TN	0.139117	-0.026132	1.000000			
PR	0.202960	0.260333	0.477206	1.000000		
SZ	0.260248	-0.275628	0.088462	-0.209232	1.000000	
NDTS	0.117204	-0.146347	-0.027904	-0.209716	0.052574	1.000000

Source: Computation by the Authors, 2018.

Table 4. *Pooled Regression Result*

Dependent Variable: LEV

Variables	Coefficient	Std-Error	T-ratio	Prob.
C	0.5192	0.4439	1.1695	0.2472
LQ	-0.0650	0.1112	-0.5835	0.5619
TN	0.1846	0.2506	0.7365	0.4645
PR	0.2958	0.2530	1.1690	0.2474
SZ	0.0005	0.0235	0.0218	0.9827
NDTS	0.2369	0.2104	1.1262	0.2649
AR(-1)	0.4035	0.1186	3.4038	0.0012
R-squared	0.2111			
Ř	0.1265			
F-statistic	2.4971			

Source: Computation by the Authors, 2018.

Discussion of results

There are limitations in terms of methodological weaknesses in timing or period, mode of analysis and the method of estimation. Attempts are made in this study to use stronger methodology that captures the relationships between the dependent and independent variables used, for example, model pooled regression analysis applied in this study is good and has the capacity to resolve the issues of omitted variables. Also, the study relies on secondary data from the Nigerian Stock Exchange, therefore likely errors from this background are possible. However, the integrity of the Nigerian stock exchange where data were obtained minimizes such.

A corollary of above point is data constraints or incomplete data availability in capital structure studies in

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

emerging capital markets like Nigeria, but it has been greatly managed in this study as data were collated for the period they were complete. This also goes for the problems of omission of variables. Lastly, to resolve the limitation of simultaneity, the models employed presents greater depth.

The table 2 above presents the results for the descriptive statistics for all the variables. The dependent variable LV has a mean value of 0.57 with a maximum and minimum value of 1.00 and 0.02 respectively. The standard deviation 0.27 is low and suggests that LV over the years exhibits low deviation from the mean. Our findings from above results show that the discrepancies from the mean for independent variables are very large. It suggests that the variables over the years exhibit high deviation from the means. None of the kurtosis is equal to 3, an indication that the distribution is not normal. All the variables except (LV and SZ) Jarque-Bera are statistically significant at 5%. This also shows both normality and non-normality of the variables distribution.

From table 3, the co-efficient of correlation of all the variables are examined. However, of particular interest to the study is the correlation between the dependent variable (LV) and the explanatory variables. As observed, positive relationships/association exist between LV & LQ (r=0.0305), LV & TN (r=0.1391), LV & PR (r=0.2029), LV & SZ (r=0.2602) and LV & NDTS (r=0.1172, the coefficient of all the independent variables are low indicating that an increase in each of the variables may also be associated with an increase in LV.

On the association among the independent variables, we can observe that a positive correlation exist between the following variables: LQ and PR; TN and PR; TN and SZ; SZ and NDTS. However, a negative correlation was found between: LQ and TN; LQ and SZ; LQ and NDTS; TN and NDTS; PR and SZ; PR and NDTS. All the coefficients are quite low. It is important to note that correlation analysis does not necessarily imply the existence of functional relationship but a mere association. This suggests that there might be multicollinearity in the model.

Lastly, the results from pooled regression analyses as presented in table 4 above show adjusted R-square of approximately 13%, indicating that about 13% change in dependent variable (LV) is explained by changes in the explanatory variables (LQ, TN, PR, SZ and NDTS). The f-statistic value of 2.50 is significant at the 5% level, which implies that the independent variables put together were able to explain the dependent variable (LV). The Durbin Watson statistic of 2.2092 (≈2) shows that there is no serial correlation in the estimated model, thus making it amenable for policy perspectives. On the basis of the individual statistical significance of the model, as shown by the probability value, the result reveals that TN, PR, SZ, NDTS and LQ are not significant determinants of leverage. In terms of the a priori sign, tangibility (TN), profitability (PR), size (SZ) and non-debt tax shield (NDTS) were correctly signed (positive), therefore the positive sign exhibited by the coefficients indicate that increase in the variables will enhance the choice of oil and gas companies' capital structure. However, liquidity (LQ) was wrongly signed (negative) contrary to our a priori expectation, this means that there exists a negative relationship between liquidity and leverage in developing countries due to high level of corruption, political risk, severe information asymmetry, agency cost and the fact that the market is less developed. Furthermore, we discovered that tangibility was positively and insignificantly related to leverage. The implication is that tangibility is not a strong factor that influences leverage of listed oil and gas companies in Nigeria. Profitability was found to be positively related to leverage, although not significantly, the implication of this is that stable profitability is a strong weapon against insolvency and bankruptcy. Also, it was found that the size of the chosen firms was positively related to leverage. Growth trajectories in terms of size, profitability follow the same direction and invariably with high level of profit stability in a firm, the likelihood of bankruptcy is slim. Non-debt tax shields was discovered to be positively and insignificantly related to leverage. However, we do not support excessive leverage because of its implications in the likely event of bankruptcy.

Arising from our findings, the significance of the studies cannot be overemphasized; it offers guidance platform to oil and gas sector in the selection of their debt-equity mix, that is, capital architecture. Also, it could be a ready working tool in the hands of the regulatory bodies regulating the Oil and Gas sector in Nigeria. We are also of the opinion that the applications of our findings have the capacity to reduce the information asymmetry between various stakeholders in the sector.

On future direction of research, we suggest expansion of the scope in terms of increasing the sample size, period covered and the number of performance indicators. This could as a matter of fact include unquoted oil and gas firms. Also, we strongly recommend the application of dynamic programming to explore optimal capital structure (because capital structure cannot be static in terms of its determinants and direction of optimality). This is because it has the capacity to break down complex problems as found in capital structure into sub-problems. It also could prove a vital tool in determining optimal capital structure at every stage of firms' growth.

Conclusion and recommendation

The result of our study reveals that all our explanatory variables are not significant determinants of leverage. However, the positive relationships of TN, PR, SZ, NDTS and LQ to leverage emphasize the importance of the variables. This also conforms with the pecking (hierarchy) order theory that good returns on investment (ROI) or equity (ROE) makes firms consider looking inwards more for their financing because of easier access to funds, equity is also used to spread risks among shareholders and firms might require some debt financing for expansion or diversification purposes, especially for their perceived higher capacity to contain debt and minimal threat to their going concern status due to well

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2524-2296 (online)*

diversified huge assets. It appears to be the reason why mergers and acquisitions in the oil and gas industry in Nigeria have so far been successful to great extents. The values of the selected companies are quite huge at the stock exchange, hence the positive relationship with leverage, this supports the trade-off theory that argue that larger firms have higher borrowing (debt absorbing) capacity. Nigeria is a developing country with attendant information asymmetry and existence of moral hazard couples with adverse selection.

Policy makers should increase the level of information distribution, develop the capital market more to reduce imperfection and set a reasonable liquidity threshold appropriate for firms and guide them on best approaches to liquidity management. They may also consider the restructuring of the equities market to pave ways for more participatory financing especially now that the investors' confidence is gradually building up. Secondly, better development of bond market will be a good one for oil and gas companies because it fits well into their production cycle. Also, we suggest more flexible conditions for accessing loans to the larger firms because of their high absorptive capacities in debt repayment; this is to counter the present high interest paid and not so friendly tenor of facilities given. However, we do not support excessive leverage because it could be sine qua non to bankruptcy. Therefore, there should be a proper balancing of financing options or optimal capital structure for oil and gas industry with guaranteed maximized returns at minimized cost.

References

1. Booth, L., Aivazian, V., Demirguc-Kunt, A., Maksimovic, V (2001), "Capital Structures In Developing Countries", *Journal of Finance*, No. 56 (1), P. 87–130.
2. Durand, D. (1959), Costs of Debt and Equity Funds for Business: Trends and Problems of Measurement reprinted in The Management of Corporate Capital, Ezra Solomon (ed), The Free Press.
3. Eriotis, N, Vasiliou, D, Ventoura-Neokosmidi, Z. (2007), "How firm characteristics affect capital structure: an empirical study", *Managerial Finance*, No. 33 (5), P. 321–331. DOI: 10.1108/0307/4350710739605
4. Horne, J. C. V (2002), *Financial Management and Policy*, 12th Edition, Stanford University, Pearson.
5. Jensen, M., Meckling, W. (1976), "The Theory of The Firm: Managerial Behaviour, Agency Costs, And Ownership Structure", *Journal of Financial Economics*, No. 3 (4), P. 305–360.
6. Lemma, T., Negash, M. (2014), "Determinants of the adjustment speed of capital structure: Evidence from developing economies", *Journal of Applied Accounting Research*, No. 15 (1), P. 64–99.
7. Modigliani, F., Miller, H. M. (1958), "The cost of capital, corporation finance and theory of investment", *The American Economic Review*, No. 48 (3), P. 261–297.
8. Morellec, E. (2001), "Asset liquidity, capital structure and secured debt", *Journal of Financial Economics*, No. 61, P. 173–206.
9. Ogebe, O. P., Ogebe, J. O., Alewi, K. (2013), "The impact of capital structure on firm performance in Nigeria", available at : http://mpra.ub.uni-muechen.de./45986
10. Onaolapo, A. A., Kajola, S. O. (2010), "Capital structure and firm performance: evidence from Nigeria", *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, No. 25, P. 70-82.
11. Pandey, I. M. (2004), "Capital Structure, profitability and market structure: Evidence from Malaysia". *The Asian Pacific Journal of Economics & Business*, No. 8, P. 78–94.
12. Pandey, A., Singh, M. (2015), "Capital Structure determinants: a literature review", *African J. Accounting, Auditing and Finance*, No. 4 (2), P. 163–176.
13. Pouraghajan, A., Malakian, E. (2012), "The relationship between capital structure and firm performance evaluation measures: Evidence from the Tehran stock exchange", *International Journal of Business and Commerce*, No. 1 (9), P. 166–181.
14. Ramadan, Z. S., Ramadan, I. Z. (2015), "Capital structure and firm's performance of Jordanian manufacturing sector", *International Journal of Economics and Finance*, No. 7 (6), P. 45–67.
15. Ross, S. (1977), "The Determination of Financial Structure: The Incentive-Signaling Approach", *Bell Journal of Economics*, No. 8 (spring), P. 23−40.
16. Tewara, M. (2016), "A study on the determinants of capital structure and profitability", *Journal of Financial Economics*, No. 26 (1), P. 3–27.

Received 03.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Dr. Adepoju Adeoba Asaolu – University of Benin, C/o Department of Banking and Finance, Faculty of Management Sciences, Benin-City, Edo-State, Nigeria; email: asaoluadepojupraise@gmail.com.

Адеподжу Адеоба Асаолу – Університет Беніну, фахівець з банківської справи та фінансів, факультет управлінських наук, Бенін-Сіті, штат Едо, Нігерія.

Адеподжу Адеоба Асаолу - Университет Бенина, специалист по банковскому делу и финансам, факультет управленческих наук, Бенин-Сити, штат Эдо, Нигерия.

ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ СТРУКТУРУ КАПІТАЛУ В НАФТОГАЗОВОМУ СЕКТОРІ НІГЕРІЇ

Предмет: Нафтогазовий сектор, безсумнівно, є найбільшим джерелом надходжень іноземної валюти в Нігерії і визначає валовий внутрішній продукт (ВВП) країни, а також є критерієм для показників національного річного бюджету Нігерії.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Найважливіше місце в діяльності цього сектора займає його фінансування (структура капіталу), що є дуже важливим для показників відповідних компаній і загальних показників економіки. **Завдання**: В кінцевому підсумку результати цього дослідження принесуть користь нафтогазовим компаніям при прийнятті рішень про структуру капіталу щодо переважного джерела капіталу (позики, власний капітал або їх комбінація), сектора в цілому з точки зору потужності і регулюючого органу під час моніторингу ефективності своїх активів. **Метод**: Дослідження проводилося з використанням процедури панельних даних для вибірки з семи нафтогазових компаній, що котируються на нігерійській фондовій біржі протягом 2008-2019 рр. у дослідженні використовується кредитне плече в якості залежної змінної і п'ять пояснюючих змінних, а саме ліквідність, розмір, відчутність, бездовговий податковий захист і прибутковість. У дослідженні використовувалося статистичне програмне забезпечення infoview (9.0), яке дуже допомогло в розумінні поведінки використовуваних змінних і остаточних результатів. **Результати**: Результати показують, що ліквідність має негативний зв'язок з кредитним плечем, на відміну від інших змінних, які мають позитивний зв'язок із залежною змінною. Зв'язок, встановлений між ліквідністю та левериджем, підтверджує, що більшість розглянутих компаній у своїй фінансовій діяльності дивляться всередину себе (і можуть розглядати зовнішнє фінансування для критичного розширення та економії податків), наші результати також показують, що взаємозв'язок між змінними знаходиться в тандемі з теорією ієрархії. **Висновки:** Дослідження призводить до висновку, що існує взаємозв'язок між левериджем (структурою капіталу) і різними детермінантами, зазначеними вище. У дослідженні рекомендується, щоб директивні органи розглянули реструктуризацію ринку акцій, щоб прокласти шляхи для більшого пайового фінансування, особливо зараз, коли довіра інвесторів поступово зростає, розвивати ринок облігацій, а також шукати гнучкі умови для доступу до кредитів, особливо для більших компаній. у нафтогазовій галузі.

Ключові слова: рішення про структуру капіталу; ліквідність; розмір; реальність; податковий щит без боргу (NDTS) і прибутковість.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТРУКТУРУ КАПИТАЛА В НЕФТЕГАЗОВОМ СЕКТОРЕ НИГЕРИИ

Предмет: Нефтегазовый сектор, несомненно, является крупнейшим источником поступлений иностранной валюты в Нигерии и определяет валовой внутренний продукт (ВВП) страны, а также является критерием для показателей национального годового бюджета Нигерии. Важнейшее место в деятельности этого сектора занимает его финансирование (структура капитала), являющееся очень важным для показателей соответствующих компаний и общих показателей экономики. **Задачи**: В конечном итоге результаты этого исследования принесут пользу нефтегазовым компаниям при принятии решений о структуре капитала в отношении предпочтительного источника капитала (ссуды, собственный капитал или их комбинация), сектора в целом с точки зрения мощности и регулирующего органа при мониторинге эффективности своих активов. **Метод**: Исследование проводилось с использованием процедуры панельных данных для выборки из семи нефтегазовых компаний, котирующихся на Нигерийской фондовой бирже в течение 2008-2019 гг. В исследовании используется кредитное плечо в качестве зависимой переменной и пять объясняющих переменных, а именно ликвидность, размер, осязаемость, недолговая налоговая защита и прибыльность. В исследовании использовалось статистическое программное обеспечение infoview (9.0), которое очень помогло в понимании поведения используемых переменных и окончательных результатов. **Результаты**: Результаты показывают, что ликвидность имеет отрицательную связь с кредитным плечом, в отличие от других переменных, которые имеют положительную связь с зависимой переменной. Связь, установленная между ликвидностью и левериджем, подтверждает, что большинство рассматриваемых компаний в своей финансовой деятельности смотрят внутрь себя (и могут рассматривать внешнее финансирование для критического расширения и экономии налогов), наши результаты также показывают, что взаимосвязь между переменными находится в тандеме с теорией иерархии. **Выводы**: Исследование приводит к выводу, что существует взаимосвязь между левериджем (структурой капитала) и различными детерминантами, указанными выше. В исследовании рекомендуется директивным органам рассмотреть реструктуризацию рынка акций, чтобы проложить пути для большего долевого финансирования, особенно сейчас, когда доверие инвесторов постепенно растет, развивать рынок облигаций, а также искать гибкие условия для доступа к кредитам, особенно для более крупных компаний в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: решение о структуре капитала; ликвидность; размер; реальность; налоговый щит без долга (NDTS) и прибыльность.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Адеподжу А. А. Фактори, що визначають структуру капіталу в нафтогазовому секторі Нігерії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 104–112. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.104

Adepoju Adeoba Asaolu (2020), "Determinants of capital structure in Nigerian oil and gas sector", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries,* No. 4 (14), P. 104–112. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.104

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

UDC 164.035 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.113

T. KOVTUN

A MODEL OF CLOSED CIRCUITS FORMING IN A LOGISTICS SYSTEM WITH FEEDBACK

The **subjec**t of the research in the article is the reverse flows of material resources within the circular processes of closed supply chains of the logistics system with feedback. The **aim** of this article is to develop a model of the formation of reverse material flows using the processes of circular economy, which will achieve maximum efficiency of the logistics system. To achieve this aim it is necessary to solve the following tasks: to determine the essence and study the evolution of the circular economy through changes in the frameworks that form it; develop a graphical model of a logistics system with feedback, which is based on the implementation of circular processes; develop a mathematical model of the logistics system with feedback and conduct experimental calculations confirming its adequacy. **Methods** of systems analysis, operations research, namely linear programming (distribution problem is solved by the simplex method) are used to solve the tasks set in the study. The following **results** were obtained: the essence of the circular model of the economy, the evolution of its economic frameworks and the processes that are part of them were studied; the graphical model of the logistics system with feedback was presented by means of circular processes; a mathematical model of the logistics system with feedback was created. **Conclusions**. The concept of a circular economy is based on the principles and objectives of the concept of sustainable development and emphasizes the need to close logistics systems, i.e. to create logistics systems with feedback. The tools for the implementation of its concept are closed supply chains, which include direct and reverse material flows. Closed circuits are created through the use of circular processes, which create logistics loops that provide feedback between the participants in the chain and allow you to organize the reverse flow of products, their components, raw materials and materials. The application of operations research methods allows to create a mathematical model of the task of optimizing return material flows and to distribute material resources by loops, so that the total cash flows of the logistics system reach the maximum value and ecodestructive impact on the environment by creating return flows of secondary material resources was minimal.

Keywords: circular process; closed logistics chain; logistics loop; reverse material flow.

Introduction

At the beginning of the XXI century, the problem of unsustainable development of modern civilization has acquired a new qualitative state and reached its limit. An economy built on the principles of technocracy and non-equivalent socio-natural exchange is incapable of ensuring long-term sustainable development for humanity. Today, the biosphere is unable to fight human activity, it has begun irreversible changes. Mankind produces 2,000 times more organic waste than all of nature [1]. It has already become clear that the contradictions between the ever-growing needs of society and the limited capabilities of nature threaten the continued existence of man as a species.

A harmonious alignment of the components of sustainable development that ensures economic growth, social stability and environmental balance in the long term can be achieved thanks to the introduction of the principles of circular economy, which has recently received increased attention from specialists around the world. The transition to a circular economy is becoming global, and the benefits of implementing this concept are becoming increasingly apparent. According to experts, in 2025, the circular economy can annually provide an increase in the income of the global economy of more than 1 trillion US dollars. In addition, the transition to a circular economy will create huge opportunities for modernizing production and introducing industrial innovations, ensuring annual GDP growth of 7% [2].

The existing linear model of the economy is not perfect, as it constantly requires the involvement of additional primary resources, which, passing through the man-made system, produce a large amount of waste. The circular economy takes into account the biological and technical cycles of resource circulation and the potential benefits that can be obtained at different levels of these cycles, it involves the transition from a linear model of the economy to a closed cycle economy [3]. Ideally, the formation of a closed model of the circular economy should lead to compliance with the principle of zero waste, which is possible through the introduction of mechanisms of reverse (reverse) logistics and the creation of environmentally-oriented closed logistics chains.

Analysis of recent research and publications

The study of the essence of the circular economy, its processes and business models is currently given some attention by scientists, but it cannot be considered sufficient, because this concept is not just a new direction of scientific thought within economics, but is an interdisciplinary approach, the main task of which is to create a theoretical basis for changing the worldview of mankind to a more humane in relation to the environment.

For the first time, the circular economy was recognized as a promising direction of economic development in the Report of the Club of Rome "The Limits to growth" [4], published in 1975 and contains the results of analysis of possible civilization potential population growth, scale of use of natural resources, environmental problems.

In 2015, the European Commission addressed the European Parliament and the Council of Europe, socio-economic and regional committees with a report "Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy" [5], in which the concept of circular economy was substantiated. The modern concept of logistics, which is actively developing and has recently been influenced by greening, taking into account the principles of the circular

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

economy, is the management of supply chains (logistics chains) - Supply Chain Management.

Such scientists as Yu. V. Varenko, M. Yu. Hryhorak, L. M. Zaretska, E. V. Krykavsky, I. I. Mukhina, A. V. Smirnova, C. Comtois, Robert D. Klassen, Su-Yol Lee, J.-P. Rodrigue, B. Slack, etc. disclose the issues of applying an ecological approach to logistics chain management in their works. Models of the logistics chain with reverse material flows are presented in the works of such researchers as: S. S. Ali, V. V. Bezkorovainy, E. M. Bukrinskaya, D. O. Gobov, M. N. Grigoriev, K. O. Dzyubina, A. V. Dzyubina, O. P. Dolgov, D. A. Karkh, O. V. Myasnikova, S. V. Potapova, A. Tambovtsev, T. Tambovtseva, S. O. Uvarov, V. A. Falovich, S. A. Shahnazaryan etc.

The importance of taking into account environmental requirements in the optimization of logistics structures by solving in conjunction with traditional logistics problems of optimizing return material flows from consumers to places of production or disposal within the reverse logistics is noted in [6]. In [7], the scope of activity, which is identified as logistics of recycling and utilization, is defined within logistics, and its goals and main logistic functions are outlined. In [8] the necessity of transition to the closed-loop economy is noted and the issues of transformation of logistics systems are considered, the conditions of realization of logistics of interaction of system participants in the conditions of construction of circular economy are revealed, the structure of closed supply chain is developed. In [9] the peculiarities of direct and reverse material flows are considered, the expediency of introduction of reverse logistics tools into the logistics activity of the enterprise is substantiated, the basic models of reverse material flows functioning in modern economic conditions are formed, the peculiarities of return and utilization recycling are revealed. In [10] the key parameters of the closed loop of the supply chain are investigated, the need to coordinate the reverse logistics strategy with the life cycle of the product, seasonality of demand for it, with the pricing strategy for refurbished goods and the level of after-sales service; the conditions for allocating part of the closed loop of the supply chain for outsourcing are outlined. In [11] an integrated and generalized scheme of logistics network with feedback, due to which it is possible to reach a compromise between costs in this network and eco-destructive impact on the environment, presents a mathematical model for solving integrated multicriteria multi-link direct and inverse logistics. The paper [12] presents mathematical models and methods for solving problems of transport route optimization in closed logistics systems, taking into account many topological and logistical constraints, including a proposed solution for network optimization for transporting direct and reverse product flows, which will increase the efficiency of closed logistics systems.

Despite the existing research on the organization of direct and reverse flows within the reverse logistics, traditionally these tasks are considered separately, which does not allow for general optimization of material flows and achieve a synergistic effect for participants in the logistics system.

The **aim** of this article is to develop a model of the formation of reverse material flows using the processes of circular economy, which will achieve maximum efficiency of the logistics system. To achieve this aim it is necessary to solve the following tasks:

1. Define the essence and explore the evolution of the circular economy through the change of frameworks that form it.
2. Develop a graphical model of the logistics system with feedback, which is based on the implementation of circular processes.
3. Develop a mathematical model of the logistics system with feedback and conduct experimental calculations confirming its adequacy.

Task solving

Circular processes in the model of circular economy.

There are two approaches to defining the essence of a circular economy: resource-oriented (flow-oriented) and economic-oriented (systemic).

According to the flow approach [13-16], the circular economy is based on the use of closed flows of materials, energy and waste, which can be achieved through the reuse of product, components, raw materials and supplies.

The systems approach [17-19] presents the circular economy as a model of the economic system, which is an element of the man-made system and is based on the reuse of materials, which will preserve natural resources, and considers creating value for system elements.

The most commonly used and taking into account the above approaches to determining the essence of the circular economy is the interpretation of the circular economy provided by experts of the Ellen MacArthur Foundation [2], according to which *the circular economy is an economy that has a renewable and closed character, provides for the creation of a continuous development cycle that preserves natural capital and increases its value, increasing the return on resources by optimizing their use.*

The circular economy is an alternative to the traditional linear economic mechanism, as it is characterized by a closed nature of resource use and recovery. Unlike the traditional model of economy, which works on the principle of "take, make, use, waste", the circular economy offers a fundamentally new sustainable model based on the principle of "take, make, use, repair or recycle, reuse". The circular model is a good way to save resources and materials, reduce the negative impact on the environment and sustainable economic growth.

In modern conditions, the transition to a circular economy is possible due to the closure of the resource cycle and the creation of closed supply chains. This opportunity first appeared due to the introduction of recycling – the process of returning waste to the production process, which was one of the first processes of the circular economy. In the process of developing the concept of circular economy, the framework conceptual structures were formed - frameworks, which as the ideas of circularity were transformed: "3R", "4R", "6R" and

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

"9R" [20; 21]. Stages of evolution of the circular economy and their corresponding circular processes are presented in table 1 [13].

Table 1. *Characteristics of circular economy framework processes*

The level of circulation of the economy [20]	Framework	Process characteristics
First level - useful use of raw materials	*4R, 6R, 9R*	*Recover* (recovery, refund) –the process of collecting products and components at the end of use, disassembly, sorting and cleaning for use in subsequent life cycles.
	3R, 4R, 6R, 9R	*Recycle* (recycling, processing) – the process of returning waste, discharges and emissions into the processes of techno genesis. Reuse of waste for the same purpose, as well as the return of waste after appropriate treatment in the production cycle.
The second level is the extension of the service life of the product and its parts	*9R*	*Refurbish* (update, repair) - restore and update an old but serviceable product.
	6R, 9R	*Remanufacture* (update, modification) - the process of restoring the product to bring it into working order by replacing or repairing major units or components.
	9R	*Repurpose* (reorientation) - repurposing, using a product that has failed and its parts in a new product with a second purpose.
	9R	*Repair* (repair, correction) – repair and maintenance of a defective product for use in accordance with the original purpose.
	3R, 4R, 6R, 9R	*Reuse* implies that a certain product is reused for original or new purposes in its original form or with some changes and minor improvements.
The third level - smart production and use of products	*3R, 4R, 6R, 9R*	*Reduse* (reduction, diminution) involves the reduction of the use of resources and energy at the stages of planning and production of the product, and the reduction of emissions and waste at the stage of its use.
	9R	*Rethink* (rethinking) – increasing the intensity of product use (for example, sharing).
	9R	*Refuse* (refusal) – reduction of excessive consumption of products by completely abandoning their functionality by transferring their functionality to other products.
	6R	*Redesign* – the process of developing next-generation products that would use components, materials and resources extracted from the previous lifecycle or products of the previous generation (redesign to use as many extracted components and parts as possible without losing functionality).

Implementation of circular economy frameworks involves the transformation of business interactions, in particular, through the implementation of economic strategies of industrial symbiosis and industrial metabolism, according to which the interaction between elements of the man-made system can be carried out at the micro, meso and macro levels in cascade resources, when waste from one production is a raw material for another, thus ensuring the reduction of eco-destructive impact on the environment.

Graphic model of a logistics system with feedback

To create a model of a closed logistics system (logistics system with feedback), which includes closed (complete) logistics chains; we use participants and processes used in the model of circular economy, which is proposed by the Ellen McArthur Foundation [2]. According to this model, the main participants in closed circuits are: *resource provider, (RP), parts manufacturer (PM), product manufacturer (PM), service provider (SP), consumer / user (CU), collection center (CC), repair center (RC), sort center (SC), utilization center (UC).*

Eco-oriented closed logistics chain consists of two chains: forward and reverse, depending on the direction of material flow. Participants in the direct chain may not be in the reverse, and vice versa. There are participants in both the forward and reverse chains. The conditional link that divides the complete chain into direct and reverse is the consumer / user of the product. Within a complete logistics chain, the direct chain begins with the natural environment and the resource supplier and ends with the consumer / user of the product, the reverse chain begins with the consumer / user of the product and ends with the recycling center and the natural environment.

The implementation of the concept of a circular economy, which is based on the creation of closed logistics systems, which requires the closure of logistics chains by creating feedback systems, has led to the use of processes that are not typical of linear logistics chains. Among the processes of circular economy should be noted processes related to reverse logistics and involved in the organization of reverse flows to create feedback in a closed logistics chain: recover, recycle, refurbish, remanufacture, repurpose, repair, reuse. Due to these processes, which can be called circular, there are logistic loops between the participants in the logistics chain, providing feedback in closed logistics chains (fig. 1).

The largest number of logistics loops is created by the process of recycle (recycling, recycling) – ten loops. The process of returning waste, discharges and emissions into the production cycle can be carried out by almost all elements of the environmental chain.

The *repair* process (repair, maintenance) creates a single logistical loop, as the repair and maintenance of a faulty product for use in accordance with the original purpose requires the participation of the repair center.

The *repurpose* process creates three logistic loops, as the path of the failed product to the product manufacturer goes through the collection center or collection center and

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

repair center, and parts of the product move through the disassembly center.

The *recover* process creates two loops in the logistics chain, because after disassembling the products, the products and their components can go to the parts manufacturers and product manufacturers.

The processes of *refurbish* (update, repair) and *remanufacture* (update, modification) create two loops, as products from consumers can come to the repair center through the collection center, and directly.

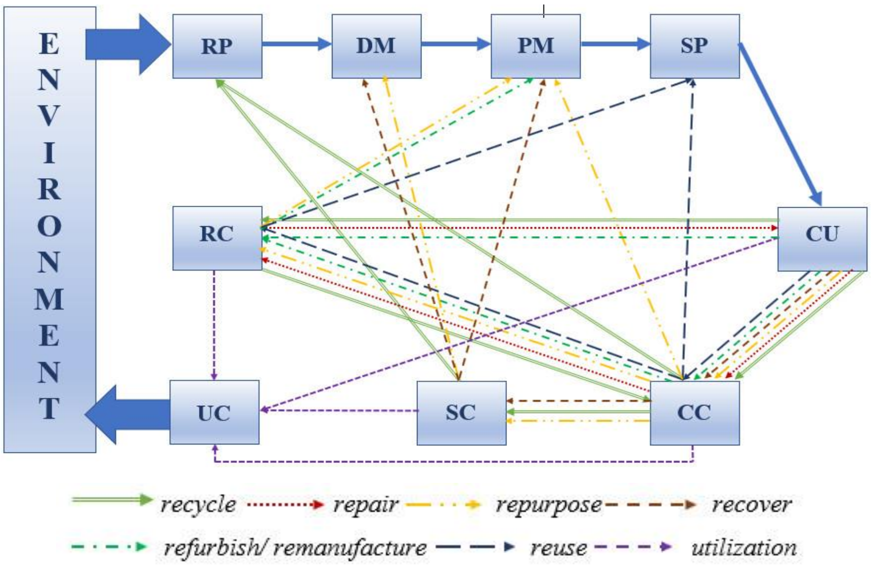


Fig. 1. Logistics system with feedback

The *reuse* process creates two loops because it involves reusing the product for original or new purposes in its original form or with some changes and minor improvements.

In addition to the reverse processes in the circular economy model, there is a process of *utilization*, which aims to safely recycle waste that cannot be used in another, more efficient way.

Mathematical model of a logistics system with feedback

The essence of the mathematical model is the formation of reverse material flows, which allow to close the supply chain through the organization of circular processes and achieve the maximum value of the total cash flow from their implementation. To solve this problem, the method of linear programming of economic and mathematical modeling (distribution problem) is used.

Assume that the movement of material flow is carried out from link i to link j of the logistics chain. The designations of the chain links are as follows: $i=\{I_E;I_{RP};I_{DM};I_{PM};I_{SP};I_{CU};I_{CC};I_{SC};I_{RC};I_{UC}\}$; $j=\{J_E;J_{RP};J_{DM};J_{PM};J_{SP};J_{CU};J_{CC};J_{SC};J_{RC};J_{UC}\}$, where $\{I_E;I_{RP};I_{DM};I_{PM};I_{SP};I_{CU}\}$, $\{J_E;J_{RP};J_{DM};J_{PM};J_{SP};J_{CU}\}$ – sets of participants in the direct logistics chain, $\{I_{CU};I_{CC};I_{SC};I_{RC};I_{UC}\}$, $\{J_{CU};J_{CC};J_{SC};J_{RC};J_{UC}\}$ – sets of participants in the reverse logistics chain. Chains begin and end with the following elements: I_{RP} (J_{RP}) – first participant in the direct logistics chain (resource provider), I_{CU} (J_{CU}) – last direct chain participant and first reverse chain participant (consumer / user), I_{UC} – last participant in the reverse logistics chain (utilization center), I_E – natural environment.

The objective function of the mathematical model is the total cash flows from the organization of the reverse (recycling and utilization) flow of material resources in the logistics chain

$$CF=\sum_{i=ICU}^{IUC}\left(\sum_{j=JRP}^{JRC}\sum_{p=1}^{P}\sum_{l=1}^{L}cf_{ij}^{pl}\cdot x_{ij}^{pl}+cf_i^{u}\cdot u_i\right)\to\max, \quad (1)$$

where x_{ij}^{pl} – the amount of product (material flow) coming from the link i $\left(i=\overline{I_{CU};I_{RC}}\right)$ and enters the link j of the logistics chain $\left(j=\overline{J_{RP};J_{RC}}\right)$ through the loop l $\left(l=\overline{1;L}\right)$ of the circular process p $\left(p=\overline{1;P}\right)$; cf_{ij}^{pl} – cash flows generated by the movement of a unit of material flow from the link i $\left(i=\overline{I_{CU};I_{UC-1}}\right)$ to the link j of the logistics chain $\left(j=\overline{J_{RP};J_{RC}}\right)$ through the loop l $\left(l=\overline{1;L}\right)$ of the circular process p $\left(p=\overline{1;P}\right)$; u_i – the amount of products that are disposed of from the link i $\left(i=\overline{I_{CU};I_{RC}}\right)$ of the logistics chain; cf_i^{u} – cash flows generated by the disposal of a unit of material flow in the chain i $\left(i=\overline{I_{CU};I_{RC}}\right)$ of the logistics chain.

- Restrictions:

- for the return or utilization of all products entering the links of the reverse logistics chain, taking into account that

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

$$\sum_{i=I_{CU}}^{I_{RC}} \sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} x_{ij}^{pl} = a_j , \qquad (2)$$

where a_j – the number of products that arrive in the link j $\left(j=\overline{J_{CU};J_{RC}}\right)$ of the reverse logistics chain, we will accept that $a_j = b_i$; $\forall\, i = j$, then

$$\sum_{j=J_{RP}}^{J_{RC}} \sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} x_{ij}^{pl} + u_i = b_i , \qquad (3)$$

where b_i – the number of products that come out of the link i $\left(i=\overline{I_{CU};I_{RC}}\right)$ of the reverse logistics chain.

- on non-exceeding the capacity of the links of the reverse logistics chain

$$\sum_{i=I_{CC}}^{I_{RC}} \sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} x_{ij}^{pl} \le g_j , \qquad (4)$$

where g_j – the number of return products in which there is a need for the link j $\left(j=\overline{J_{CC};J_{RC}}\right)$ of the logistic chain.

- for the needs of the links of the direct logistics chain in the reverse material flow

$$\sum_{i=I_{RP}}^{I_{CU}} \sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} x_{ij}^{pl} \le h_j , \qquad (5)$$

where h_j – the number of return products in which there is a need for the link j $\left(j=\overline{J_{RP};J_{CU}}\right)$ of the logistic chain.

- for the maximum volume of product utilization in the links of the direct logistics chain

$$u_j \le k_{dj} \cdot x_{ij} , \qquad (6)$$

where k_{dj} – utilization coefficient in the link j of material flow $\left(j=\overline{J_{RP};J_{CU}}\right)$ received from the link i of the direct logistics chain $\left(i=\overline{I_E;I_{SP}}\right)$.

- for the maximum volume of product utilization by the links of the reverse logistics chain

$$\sum_{j=J_{CU}}^{J_{RC}} u_j \le k_r \left(x_{I_E} - \sum_{j=J_{RP}}^{J_{SP}} u_j \right), \qquad (7)$$

where k_r – utilization coefficient in the reverse logistics chain.

Due to the use of the proposed mathematical model it is possible to solve the problem of optimization of reverse recycling and utilization of material flows in the logistics system, which will achieve the maximum value of total cash flows from the introduction of circular processes.

Experimental calculations of the corresponding distribution problem, which were performed by the simplex method, confirmed the adequacy of the model and allowed to distribute the material flows in the same way as presented in table 2.

Table 2. *Logistics loops of reverse logistics chains*

Circular process	Logistics loop	Reverse material flow (tone)			
1 recover	11	*CU*	*CC*	*SC*	*PM*
		600	600	600	600
	12	*CU*	*CC*	*SC*	*DM*
		0	0	0	0
2 refurbish/remanufacture	21	*CU*	*RC*	*PM*	
		0	0	0	
	22	*CU*	*CC*	*RC*	*PM*
		0	0	0	0
3 reuse	31	*CU*	*CC*	*SP*	
		0	0	0	
	32	*CU*	*CC*	*RC*	*SP*
		1000	1000	1000	1000
4 repurpose	41	*CU*	*CC*	*PM*	
		0	0	0	
	42	*CU*	*CC*	*RC*	*PM*
		0	0	0	0
	43	*CU*	*CC*	*SC*	*DM*
		600	600	600	600

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

End the **Table 2.**

5 repair	51	*CU*	*CC*	*RC*	*CU*	
		2000	2000	2000	2000	
6 recycle	61	*CU*	*CC*	*SC*	*RP*	
		500	500	500	500	
	62	*CU*	*CC*	*RP*		
		0	0	0		
	63	*CU*	*RC*	*CC*	*SC*	*RP*
		0	0	0	0	0
	64	*CU*	*RC*	*CC*	*RP*	
		0	0	0	0	

When solving the problem, all the restrictions were met and the maximum value of the objective function (total cash flows) was reached - 43602.5 USD. At the same time, logistics loops were created, providing feedback within closed logistics chains, within five circular processes: recover, reuse, repurpose, repair, and recycle. The utilization process is also taken into account (fig. 2).

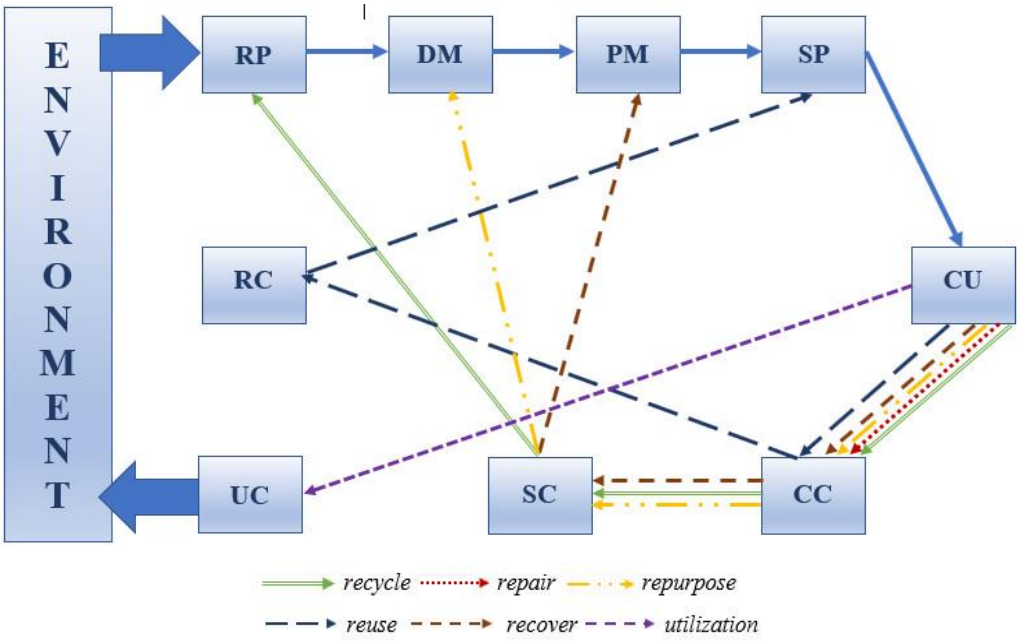


Fig. 2. Experimentally obtained closed logistics system

Conclusions

The concept of a circular economy is based on the principles and objectives of the concept of sustainable development and emphasizes the need to close logistics systems, ie to create logistics systems with feedback. The tools for implementing the concept of a circular economy are closed supply chains, which include direct and reverse material flows. There are closed chains due to the use of circular processes: recover, recycle, refurbish, remanufacture, repurpose, repair, reuse, which create logistics loops between the participants in the logistics chain. Logistics loops provide feedback between the participants in the chain and allow you to organize the reverse flow of products, their components, raw materials and materials.

The use of economic and mathematical modeling methods allows you to create a mathematical model of the problem of optimizing return material flows and distribute material resources in loops that are created within the circular processes of the logistics chain, so that the total cash flows of the logistics system reach the maximum value, and the eco-destructive impact on the environment due to the creation of return flows of secondary material resources is minimal.

References

1. Rudenko, S. V., Kovtun, T. A. (2020), "Greening of logistics as a direction of realization of the concept of sustainable development" ["Ekolohizatsiia lohistyky yak napriamok realizatsii kontseptsii staloho rozvytku"], *Project and logistics management: new knowledge based on two methodologies*, Vol. 3: monograph, Odessa, P. 7–24.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

2. Ellen MacArthur Foundation (2015), "Towards a Circular Economy: Business Rationale For An Accelerated Transition", available at : URL:https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf (last accessed 20.04.2020).
3. Kovtun, T. A. (2020), "Determining the role of greening in achieving sustainable development goals", *Development of methods of management and administration of transport*, No. 2 (71), P. 63–81. DOI https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-2-63-81
4. Meadows, D., Randers, J., Meadows D. (2018), *Growth limits. 30 years later*, Kyiv : Pabulum, 464 p.
5. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy (2015), "Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions", 02.12.2015, Brussels, COM 614 final, available at : http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid= 1453384154337&uri=CELEX:52015DC0614
6. Kosenko, V., Gopejenko, V., Persiyanova, E. (2019), "Models and applied information technology for supply logistics in the context of demand swings", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (7), P. 59–68. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.059
7. Krykavsky, E. (2005), *Logistics Management* [*Lohistychne upravlinnia*], Textbook, Lviv, 684 p.
8. Bukrinskaya, E. M., Myasnikova, L. A. (2018), "Logistics of interaction of participants of the waste management system" ["Lohystyka vzaymodeistvyia uchastnykov systemы obrashchenyia s otkhodamy"], *Problems of modern economy*, No. 3 (67), P. 152–157.
9. Dzyubina, K. O. (2011), "The place of the reverse material flow in the production and economic activities of the enterprise" ["Mistse zvorotnoho materialnoho potoku u vyrobnycho-hospodarskii diialnosti pidpryiemstva"], *Bulletin of Dnipropetrovsk University (named after O. Honchar). Series: Economics*, Issue 5 (4), P. 163–171.
10. Falovich, V. A. (2010), "Conceptual approach to the formation of a closed loop supply chain" ["Kontseptualnyi pidkhid do formuvannia zamknutoi petli lantsiuha postavok"], *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*, No. 669, P. 153–157.
11. Ali, S. S. (2015), "Optimization approach in the management of "green" supply chains with feedback" ["Optymyzatsyonnыi podkhod v upravlenyy "zelenыmy" tsepochkamy postavok s obratnoi sviaziu"], *Problems of nonlinear analysis in engineering systems*, No. 2 (44), P. 121–146. eLIBRARY ID: 25669118.
12. Beskorovainyi, V., Kuropatenko, O., Gobov, D. (2019), "Optimization of transportation routes in a closed logistics system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 24–32. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.024
13. Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B., Fujita, T. (2009), "Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian", *China. Waste Management*, No. 29, P. 996–1002.
14. Yuan, Z., Bi, J., Moriguichi, Y. (2006), "The circular economy: A new development strategy in China", *Journal of Industrial Ecology*, No. 10, P. 4–8.
15. Zink, T., Geyer, R. (2017), "Circular economy rebound", *Journal of Industrial Ecology*, No. 21, P. 593–602.
16. Geissdoerfer, M. (2016), "The Circular Economy – a new sustainability paradigm?", *Journal of Cleaner Produc-tion*, available at : http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.0488
17. Bastein, T. et al. (2013), "Opportunities for a Circular Economy in the Netherlands", *TNO, Report commissioned by the Netherlands Ministry of Infrastructure and Environment*.
18. Hislop, H., Hill, J. (2011), Reinventing the wheel: A circular economy for resource security, Lon-don, Green Alliance.
19. Ingebrightsen, S., Jakobsen, O. (2007), *Circulation Economics*, Peter Lang.
20. Murray, A., Skene, K., Haynes, K. (2015), "The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context", *Journal of Business Ethics*. DOI: 10.1007/s10551-015-2693-2
21. Valko, D. V. (2019), "Circular economics: the conceptual apparatus and the diffusion of the concept in domestic research" ["Tsyrkuliarnaia эkonomyka: poniatyinыi apparat y dyffuzyia kontseptsyy v otechestvennыkh yssledovanyiakh"], *Scientific journal of NIU ITMO. Series Economics and Environmental Management*, No. 2, P. 42–49.

Received 24.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковтун Тетяна Антонівна – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, доцент кафедри управління логістичними системами та проєктами, Одеса, Україна; email: teta.kovtun@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5410-4783.

Ковтун Татьяна Антоновна – кандидат технических наук, доцент, Одесский национальный морской университет, доцент кафедры управление логистическими системами и проектами, Одесса, Украина.

Kovtun Tetyana – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Odessa National Maritime University, Associate Professor of the Department of Logistics Systems and Projects Management, Odessa, Ukraine.

МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ЗАМКНУТИХ ЛАНЦЮГІВ В ЛОГІСТИЧНІЙ СИСТЕМІ ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Предметом дослідження в статті є зворотні потоки матеріальних ресурсів в межах циркулярних процесів замкнутих ланцюгів постачань логістичної системи зі зворотним зв'язком. **Метою** даної статті є розробка моделі формування зворотних матеріальних потоків з застосуванням процесів циркулярної економіки, що дозволить досягти максимальної ефективності функціонування логістичної системи. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**: визначити сутність та дослідити еволюцію циркулярної економіки через зміну фреймворків, що її утворюють; розробити графічну модель логістичної системи зі зворотним зв'язком, яка базується на впровадженні циркулярних процесів; розробити математичну модель логістичної системи зі зворотним зв'язком та провести експериментальні розрахунки, що

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

підтверджують її адекватність. Для вирішення поставлених завдань в дослідженні використовуються **методи** системного аналізу, дослідження операцій, а саме лінійного програмування (розподільна задача вирішується симплекс-методом). Отримано наступні **результати**: досліджено сутність циркулярної моделі економіки, еволюцію її фреймворків та процесів, що входять до їх складу; за допомогою циркулярних процесів представлено графічну модель логістичної системи зі зворотним зв'язком; створено математичну модель логістичної системи зі зворотним в'язком. **Висновки.** Концепція циркулярної економіки базується на принципах та цілях концепції сталого розвитку та наголошує на необхідності замикання логістичних систем, тобто створенні логістичних систем зі зворотним зв'язком. Інструментом реалізації концепції виступають замкнуті ланцюги поставок, до складу яких входять прямі та зворотні матеріальні потоки. Виникають замкнуті ланцюги завдяки використанню циркулярних процесів, які створюють логістичні петлі, які забезпечують зворотний зв'язок між учасниками ланцюга та дозволяють організувати зворотний потік продуктів, їх компонентів, сировини та матеріалів. Застосування методів дослідження операцій дозволяє створити математичну модель завдання оптимізації зворотних матеріальних потоків та розподілити матеріальні ресурси за петлями, таким чином, щоб загальні потоки грошових коштів логістичної системи досягли максимального значення, а екодеструктивний вплив на навколишнє середовище завдяки створенню зворотних потоків вторинних матеріальних ресурсів був мінімальним.

Ключові слова: циркулярний процес; замкнутий логістичний ланцюг; логістична петля; зворотний матеріальний потік.

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАМКНУТЫХ ЦЕПЕЙ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Предметом исследования в статье есть обратные потоки материальных ресурсов в рамках циркулярных процессов замкнутых цепей поставок логистической системы с обратной связью. **Целью** данной статьи является разработка модели формирования обратных материальных потоков с применением процессов циркулярной экономики, что позволит достичь максимальной эффективности функционирования логистической системы. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**: определить сущность и исследовать эволюцию циркулярной экономики путем изменения образующих ее фреймворков; разработать графическую модель логистической системы с обратной связью, которая базируются на внедрении циркулярных процессов; разработать математическую модель логистической системы с обратной связью и провести экспериментальные расчеты, подтверждающие ее адекватность. Для решения поставленных задач в исследовании используются **методы** системного анализа, исследования операций, а именно линейного программирования (распределительная задача решается симплекс-методом). Получены следующие **результаты**: исследована сущность циркулярной модели экономики, эволюции ее фреймворков и процессов, входящих в их состав; с помощью циркулярных процессов представлена графическая модель логистической системы с обратной связью; создана математическая модель логистической системы с обратной вязки. **Выводы.** Концепция циркулярной экономики базируется на принципах и целях концепции устойчивого развития и подчеркивает необходимость замыкания логистических систем, то есть создании логистических систем с обратной связью. Инструментом реализации концепции выступают замкнутые цепи поставок, в состав которых входят прямые и обратные материальные потоки. Возникают замкнутые цепи благодаря использованию циркулярных процессов, которые создают логистические петли, которые обеспечивают обратную связь между участниками цепи и позволяют организовать обратный поток продуктов, их компонентов, сырья и материалов. Применение методов исследования операций позволяет создать математическую модель задачи оптимизации обратных материальных потоков и распределить материальные ресурсы по петлями, таким образом, чтобы общие потоки денежных средств логистической системы достигли максимального значения, а экодеструктивное влияние на окружающую среду благодаря созданию обратных потоков вторичных материальных ресурсов было минимальным.

Ключевые слова: циркулярный процесс; замкнутая логистическая цепь; логистическая петля; обратный материальный поток.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Ковтун Т. А. Модель формування замкнутих ланцюгів в логістичній системі зі зворотним зв'язком. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 113–120. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.113

Kovtun, T. (2020), "A model of closed circuits forming in a logistics system with feedback", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 113–120. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.113

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

UDC 338.2 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.121

T. MOMOT, M. KARPUSHENKO, TANG LINLIN

MODERN APPROACHES FOR INTEGRATED REPORTING PREPARING IN UKRAINE

In modern conditions, the possibilities of Accounting Reporting do not meet the tasks of contentment the information needs of users of accounting data, which are aimed at obtaining evidence of the stable and sustainable functioning of both the business entity and the region where it operates, and the state as a whole. The **subject** of the article is the different approaches to the preparation of integrated reporting and features of the formation of indicators. Integrated corporate reporting defines a single format for providing interested consumers with information about the company's activities, risks and potential for quality services, covers financial and non-financial reporting and discloses the effectiveness of economic, environmental and social activities of the company, ensuring transparency of information on business risks and management. At present, enterprises in Ukraine compile a report that combines financial indicators and indicators that characterize some important social aspects – Management Report. The paper considers the concept of cost reporting, the key idea of which is to achieve greater informativeness of accounting indicators through corporate reporting and the development of standards of non-financial information that reflects the industry specifics of the enterprise. The **purpose** of the work is a detailed consideration of the essence of integrated reporting, problems of its compilation, analysis of existing approaches to the formation of indicators of integrated reporting of different companies taking into account the needs of users, justification of indicators included in integrated reporting. The study used a set of methods and approaches, such as dialectical, synthesis and comparative, systemic. The article solves such **tasks** as analysis of functions and components of integrated reporting, analysis of the Management Report and indicators that form it, determining the features of its preparation by different companies, the basic principles of integrated reporting in accordance with the international standard of integrated reporting. The obtained results are a detailed analysis of the indicators of the management report and the introduction of prerequisites for the effective formation of such indicators. **Conclusions**: Further development of integrated reporting should focus on such important aspects as the development of a system of financial and non-financial indicators, methods of obtaining information, generalization of various management systems (management accounting, monitoring, analysis of financial stability) in the preparation of internal integrated reporting.

Keywords: integrated reporting; management report; financial reporting; social reporting; non-financial indicators.

Introduction

In modern requirements it is very important to focus on contentment the information needs of different groups of users of credentials in order to make informed and timely management decisions while ensuring stable and sustainable operation of both business and regional development, state stability in general, which led to the search other concepts and models of reporting information.

In modern conditions, the image of enterprises is very important, which consists of many factors. Stakeholders pay attention first of all to the reliability of enterprises, which is measured not only by the criteria of economic efficiency, but also the ability to solve social problems of both their own workers and the region. Indeed, a very important indicator of the enterprise is its social activity; as such events are not only evidence of enterprise development, but also the ability to provide certain benefits to society.

Analysis of the problem and existing methods

Social events should be reflected in corporate non-financial social reporting, the purpose of which is to provide information on social activities to stakeholders. Non-financial reporting should reflect the social responsibility of the business, ie what measures the company takes to inform the public about the environmental and social measures. According to Davydyuk T.V. corporate social responsibility is a philosophy of long-term development that allows you to harmoniously combine successful business with basic [7]. But there is also a need for aggregate information, both financial and social, that is integrated into integrated reporting. Problems of integrated reporting have been studied in the works of such scientists as Serafeim G. [8] Robert G.E. [9], Ioana D., Adriana T. [9], Adams K.A. [10], Lee K.W. [11], Martin K. [12], Kuzina R.V. [6], Kostyrko R.O. [3], Gnilitskaya L.V. [2], Bezverkhy K.V. [1], Davidyuk T.V. [7], Karpushenko M.Yu. [4, 5] and others.

Integrated reporting is a relatively new phenomenon in the world of corporate reporting, which has gained significant momentum over the past ten years. It is a process based on integrated thinking that results in the organization's periodic integrated report on value creation over time and related messages on aspects of value creation.

According to Bezverkhy K.V. the purpose of integrated reporting can be defined as providing information to all interested users to make management decisions about the company's ability to create value in the short, medium and long term, as well as providing information to stakeholders about the capital used and influenced by the entity [1].

According to R. V. Kuzina, the task of integrated reporting is to strengthen accountability and responsibility for a wide capital base (financial, industrial, intellectual, human, social), understanding the relationship between them [6].

According to R. A. Kostyrko, the purpose of integrated reporting is to provide financial and non – financial information on the distribution of financial capital, taking into account key factors that affect the potential of an enterprise to create value over a certain period of time, which allows interested users to assess

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

future economic benefits [3].

In our view, from a stakeholder perspective, an integrated report is a concise statement of how an organization's strategy, management, performance, and prospects in the context of its external environment create value in the short, medium, and long term.

Goals and objectives of the study. The purpose of the article is a detailed consideration of the essence of integrated reporting, the problems of its preparation and justification of indicators included in integrated reporting.

Materials and methods of research

The theoretical and methodological bases of the study were the scientific works of leading domestic scientists and foreign economists on the problems of forming a system of integrated reporting in enterprises. During the study such general and special economic methods as: abstract-logical (to systematize the available theoretical material), empirical (for a comprehensive assessment of the development and improvement of reporting), comparative analysis (when comparing integrated reporting of enterprises), graphical (to visualize results) were used.

Research results and their discussion

In foreign practice, the components of integrated reporting are regulated by international standards, such as Sunshine standards; GRI; AA1000; ISO 26000, SA8000. Among them, the most well-known list of quantitative indicators is the system of GRI indicators, which is used in the formation of social reporting of any format, as well as Progress Reports [4]. Integrated reporting, as evidenced by most researchers, performs a number of important functions, and contains in accordance with international standards the following components of integrated reporting (fig. 1):

Summarizing recent research, it can be stated that integrated corporate reporting defines a single format for providing interested consumers with information about the company's activities, risks and potential for quality services. It covers financial and non-financial reporting and discloses the performance of economic, environmental and social activities of the enterprise, which ensures the transparency of information in terms of business risks and their management. Integrated reporting contains information on financial, industrial, intellectual, social and natural capital and focuses on the strategic course and future prospects.

Taking into account the modern needs of the time, the main prerequisites for the formation of integrated reporting are as follows:

1) society's attitude to value has changed, which in turn leads to a change in the level of expectations from corporate reporting. There is a growing need on the part of financial market participants to understand the impact of the business model of the enterprise on the creation of added value in the future. There is a need to provide financial and non-financial information to all stakeholders in order to ensure transparency of the enterprise;

2) the traditional form of corporate reporting on performance indicators does not meet modern requirements in connection with the historical valuation of the enterprise. The new approach should be based on current value, the forms of which vary over time, and recently the actual fair value. The existing model does not adequately reflect intangible assets – most intangible assets created "within" the company do not pass the test for recognition of assets in accordance with IFRS and therefore are not shown on the company's balance sheet;

3) integrated reporting provides reliable information for business evaluation by investors, partners, management and analysis of the company's impact on capital, which will have a decisive impact on strengthening the role of business in society;

4) the need to disclose information on the areas of sustainable development strategy of the enterprise, the implementation of which will contribute to the growth of value added in the short, medium and long term.

The most interesting position of integrated reporting is the concept of cost reporting, the key idea of which is to achieve greater informativeness of accounting indicators through corporate reporting and development of standards of non-financial information that reflects the industry specifics of the enterprise. Based on this, the authors proposed a three-level model of integrated reporting, which determines the interaction and responsibility of all participants in the process of compiling, disseminating and using reporting information (fig. 2).

The practical implementation of the three-tier reporting model leads to the transition from the concept of financial reporting to the concept of integrated reporting, which aims to combine financial information, environmental impact on business and social aspects in a clear, interconnected and comparable format.

Sustainability information in the form of environmental and social data is a relatively new area that is increasingly being reported by more and more firms around the world. Not only the number of companies reporting sustainability information is growing, but also the number of investors using this information. Although sustainability data can be relevant at any time, it is often argued that they are primarily informative about the long-term prospects of the business.

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2522-9818 (print)* *ISSN 2524-2296 (online)*

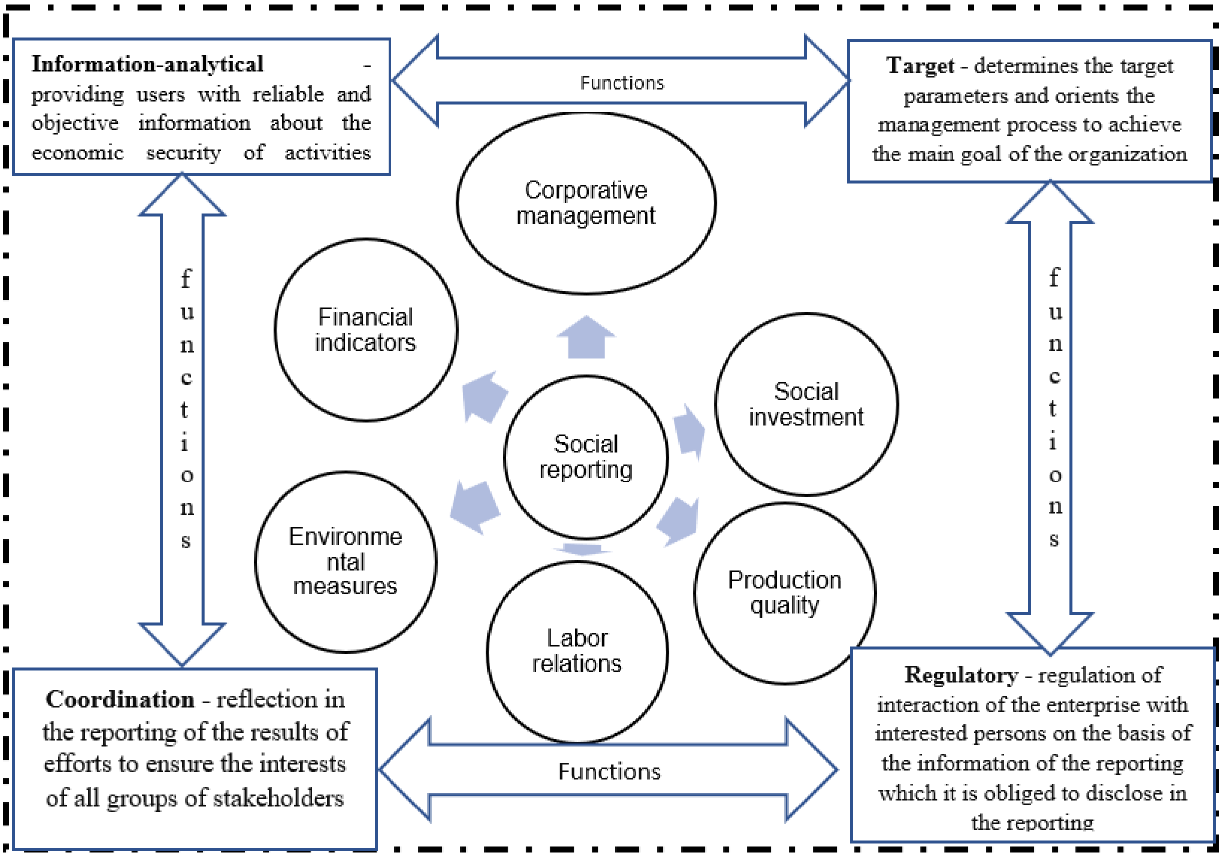


Fig. 1. Functions and components of integrated reporting

Fig. 2. Three-level model of integrated reporting

At present, enterprises in Ukraine compile a report that combines some financial indicators and indicators that characterize some important social aspects. It is for the integration of financial and social indicators into one report as part of the reporting for 2018 in Ukraine was introduced Management Report, which together with the financial statements forms integrated reporting. This report must be prepared by large and medium-sized enterprises and reported annually. The Ministry of Finance of Ukraine by order of 07.12.2018 approved the Guidelines for the preparation of the Management Report (hereinafter – guidelines) [16], which identified ten areas that should contain this report (fig. 3):

Analyzing the components of the Management Report, we can conclude that it contains a very wide list of indicators that reflect the financial components, environmental components, social components, development prospects, corporate governance, enterprise development, innovation and research and others.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

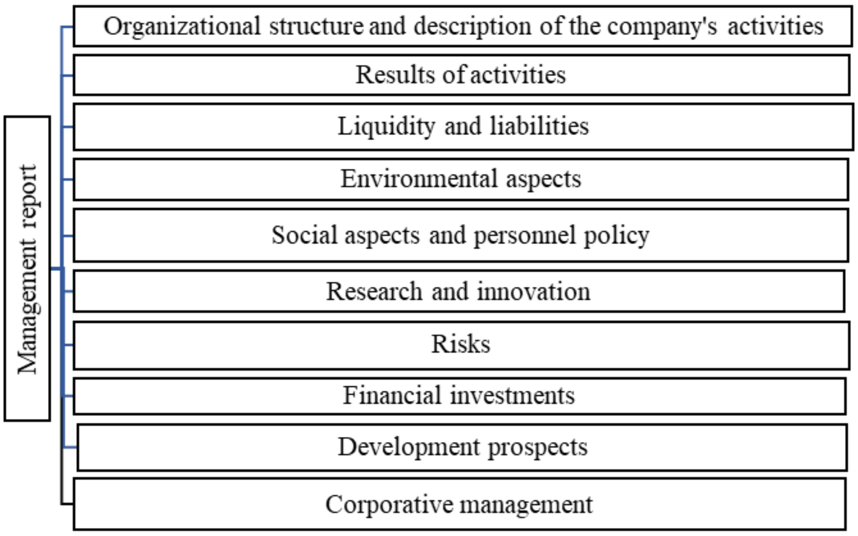


Fig. 3. Components of the Management report

However, the constituent indicators contained in these groups are not specified in detail in the Guidelines, so their specification and the order of presentation are at the discretion of the enterprise.

As a result of the analysis of the Management Reports of PJSC "Mondelis Ukraine", PJSC "Ukrhydroenergo", SE "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine", PJSC "Obolon", ALC "Zhytlobud-2", it was established that the list of specific indicators that contained in the Management Report contains the following indicators and information (table 1).

Table 1. *Information contained in Management Reports*

Directions	Indicators and information
Organizational structure and description of the enterprise	Organizational structure, strategy and goals, scope of activities by geographical location and industry, information about products and services, market share of the company in different segments
Results of activities	PJSC "Mondelis Ukraine" - net income, cost, other operating income, administrative expenses, selling expenses, other operating expenses, financial result from operating activities PJSC "Ukrhydroenergo" -electricity, electricity sales, net income, EBITDA, net profit, return on assets, amount of assets, cost of goods sold, return on assets, return on equity, return on assets, indicators of non-current and current assets , dividends, credit policy SE "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine" - net income, taxes and mandatory payments PJSC "Obolon" - revenue, gross margin, gross margin ratio, EBITDA, financing costs, net profit, sales ALC "Zhytlobud-2" - the structure of assets, the structure of liabilities, the structure of financial results
Liquidity and liabilities	PJSC "Mondelis Ukraine" - loans, capital liabilities, liquidity risk. SE "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine" - liquidity ratio. PJSC "Obolon" -cash flow, loans, working capital. ALC "Zhytlobud-2" - the most liquid assets, fast-liquid assets, slow-liquid assets, difficult-to-liquid assets, the most urgent liabilities, short-term liabilities, long-term liabilities, fixed liabilities, current liquidity ratio, absolute liquidity ratio, intermediate liquidity ratio.
Environmental aspects	PJSC "Mondelis Ukraine" - permit for the use of water resources, permit for the use of pollutants in the air, waste sorting system. PJSC "Ukrhydroenergo" - environmental monitoring systems, environmental protection measures, implementation of environmental projects, the amount of capital investment and current expenditures on environmental protection, environmental payments, environmental services, measures to reduce air emissions, waste management, land use and biodiversity , volumes of water use, volumes of water use and accrued fee for water use. Measures taken by the company in the field of responsible water use. Measures aimed at saving energy resources. SE "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine". Raw materials used by enterprises in their activities. Consumption of thermal and electric energy Volumes of use and pollution of water resources Volumes of air pollution. Use of vehicles. Fines and penalties for non-compliance with environmental legislation. Costs for the improvement of technical equipment and the use of environmentally friendly technologies, other environmental measures of the enterprise. PJSC "Obolon" -environmental policy, the main activities of PJSC "Obolon" in the field of ecology and environmental protection Emissions of greenhouse gases and pollutants, Expenditures on environmental protection measures ALC "Zhytlobud-2" - the principles of environmental policy, areas of environmental policy, the main elements of environmental policy.

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2522-9818 (print)* *ISSN 2524-2296 (online)*

End the **Table 1**

Social aspects and personnel policy	PJSC "Mondelis Ukraine" - description of suppliers, terms of employment, characteristics of working hours, remuneration system, features of training and staff development health insurance contract. PJSC "Ukrhydroenergo" - features of the collective agreement, personnel policy, staff structure in terms of professional characteristics, staff structure by gender, number of employees and the share of women in management positions, total number of dismissed by category, number of employees with disabilities, salary fund, its growth, wage structure, organization of work with young workers, organization of employee training, number of trainees, advanced training, social protection and welfare, funding of social facilities, employee awards, specialized training programs, information on the amount of costs on labor protection SE "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine" - the number of employees, including women, the level of education of employees, the system of remuneration, labor protection, training PJSC "Obolon" - number of employees, staff turnover, gender composition, qualifications, composition by age, wages, surcharges and allowances, employee training ALC "Zhytlobud-2" - the number of employees, including women, types of incentives, the functions of the department of labor protection, training, prevention of corruption.
Risks	PJSC "Mondelis Ukraine" - credit risk, assessment of expected credit losses, market risk, liquidity risk, interest rate risk, coronavirus risk PJSC "Ukrhydroenergo" - financial risks, liquidity risks, currency risks, interest rate risks, external risks, internal risks State Enterprise "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine" - a list of threats PJSC "Obolon" -market risks, political and government risks, legal risks, personnel risks, currency risk, interest rate risk, liquidity risk, credit risk. ALC "Zhytlobud-2" - increase in the cost of materials, works and services, strengthening of competition, change of the legislation, violation of terms of commissioning
Research and innovation	PJSC "Mondelis Ukraine" - research areas, PJSC Ukrhydroenergo - development and innovations of HPPs and PSPs SE "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine" - participation in conferences and recent publications PJSC "Obolon" - a list of research and innovations ALC "Zhytlobud-2" - implemented in the construction of development, own author's technologies, description of production and fixed assets, fleet of construction machinery and mechanisms, horizontal heating system, reinforcement system, formwork systems.
Financial investments	Mondelis Ukraine PJSC - a share of the company's investments in another company PJSC "Ukrhydroenergo" - investment activity SE "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine" - the amount of deposit transactions PJSC "Obolon" - a list of investments ALC "Zhytlobud-2" - a list of enterprises in which investments were made
Development prospects	PJSC "Mondelis Ukraine" - areas of strategic development PJSC "Ukrhydroenergo" - the amount of capital investment, plans for the short term SE "State Expert Center of the Ministry of Health of Ukraine" - strategic directions and goals PJSC "Obolon" -development strategy ALC "Zhytlobud-2" - a list of the most famous built objects and objects under construction
Corporative management	Management bodies, their composition and powers, corporate governance strategies; convocation and holding of general meetings of shareholders; structures of shareholders and their shares in the share capital; owners of securities with special control rights and description of these rights; activities of the enterprise in relation to operations with own shares; main characteristics of the internal control system; dividend policy; prospects for development and improvement of corporate governance; policy of the enterprise in relation to administrative, managerial and supervisory bodies of the enterprise.

From the table 1 it can be concluded that each company differently forms indicators of integrated reporting and understands the content of such reporting at its discretion. There is no uniform interpretation of the direction, the established list of issues that form this direction. That is, in order to compile the Management Report, the company must gather the views of management and stakeholders and determine which priority issues should be included in this report.

To select indicators and the order of their presentation, it is advisable to use the International Standard for Integrated Reporting [15], which establishes the following principles of its preparation:

1. Strategic focus and forward-looking focus - The integrated report should include an analysis of the organization's strategy and an explanation of how the strategy relates to the organization's ability to create value in the short, medium and long term, as well as its use and impact on capital.

2. Information connectivity - An integrated report should provide a holistic picture of the combination, relationship, and interdependence between factors that affect an organization's ability to create value over time. The connectivity of information and the overall usefulness of an integrated report are enhanced when it is structured, well presented, written in clear and understandable language.

3. Stakeholder Interaction – The integrated report should include an analysis of the nature and quality of the organization's relationship with key stakeholders, including how and to what extent the organization

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

understands and takes into account their legitimate and legitimate needs and interests.

4. Materiality – the integrated report should disclose information on issues that have a significant impact on performance appraisal.

5. Conciseness – the integrated report must be concise. In the integrated report, the organization strives for a balance between brevity and other guiding principles, especially completeness and comparison.

6. Reliability and completeness - an integrated report should include all essential facts, both positive and negative, in a balanced form and without significant errors. The accuracy of information is affected by its balance and the absence of errors. Reliability is enhanced by mechanisms such as full-fledged internal control and reporting systems, interaction with stakeholders, internal audit or similar functions, and independent external certification. In some cases, it may make sense to include a description of the mechanisms used to ensure reliability in the Integrated Report. The information included in the Integrated Report is by its very nature the most important information for conducting commercial activities. Accordingly, if a factor is important for running a business, then the cost of obtaining information about it should not be a barrier to proper assessment and management of this factor.

7. Consistency and comparability - the information contained in the Integrated Report should be presented on a basis that is constant over time, and in such a way that it can be compared with other organizations, in cases where this is essential for the organization's own ability to create value over time.

That is, the process of selecting indicators should be based on these principles and takes into account all relevant aspects of reporting.

The process of preparation of integrated reporting is quite complex, and as a result, taking into account the requirements of the international standard for integrated reporting [15], it is advisable to provide for the following stages (fig. 4):

Fig. 4. The process of preparing integrated reporting

Conclusions

Thus, the paper considered the essential aspects of integrated reporting and considered the indicators of the Management Report as a Ukrainian version of integrated reporting, formed the basic principles of reporting and methodological approaches to the formation of its indicators.

It is proved that integrated reporting is aimed at harmonization of financial and non-financial indicators, which allows to provide a comprehensive approach to quality information and analytical support of all stakeholders to assess the company's ability to generate value over time and the potential of sustainable development, taking into account strategic, economic, financial, environmental and social aspects of the enterprise.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

According to the results of the study, the further development of integrated reporting should be aimed at such important aspects as the development and refinement of the system of financial and non-financial indicators, methods of obtaining information, generalization of various management systems (management accounting, monitoring, financial stability analysis) and internal integrated reporting. In addition, it is important to develop software applications for the formation of integrated financial statements of the enterprise using modern information and communication technologies, which will facilitate the prompt receipt of analytical information for informed management decisions and ensure interaction with stakeholders.

References

1. Bezverkhy, K. V. (2017), "Approaches to Determining the Purpose of Integrated Reporting", Problems of Accounting and Analytical Support of Business Management: Materials of the II All-Ukrainian Scientific-practical Conference, October 26, 2017, Poltava. P. 94–96.
2. Gnylytska, L. V. (2016), "Modern Approaches to the Quintessence of Public Reporting of the Enterprise in the Context of Ensuring its Economic Security", *Problems of Theory and Methodology of Accounting, Control and Analysis. Ser.: Accounting, Control and Analysis*, Vol. 1, P. 48–65.
3. Kostyrko, R. O., Prozorov, D. V. (2017), "Integrated Corporate Reporting - a Tool for Sustainable Development of Enterprises", *Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, No. 2 (232), P. 44–49.
4. Karpushenko, M. (2018), "Social Reporting as an Indicator of the Enterprise Development", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (3), P. 91–95.
5. Karpushenko, M., Shakhverdyan, D. (2019), "Integrated Reporting as a Source of Assessment of Enterprise Activity", *Business Inform*, No. 3, P. 265–269.
6. Kuzina, R. (2016), *Formation of the System of Corporate Reporting: theory, methodology and organization*: dis. ... Dr. econ. Sciences: 08.00.09 "Accounting, analysis and audit", Odessa, 591 p.
7. Shigun, M., Davydyuk, T. (2011), "Corporate Social Reporting as a Prospect of Informing about Human Capital of Domestic Companies", *Bulletin of the Zaporizhia National University*, No. 1 (9), P. 173–179.
8. Serafeim, G. (2015), "Integrated Reporting and Investor Clientele", *Journal of Applied Corporate Finance*, No. 27.2, P. 34–51.
9. Robert, G. (2013), "One Report: Integrated Reporting for a Sustainable Strategy", P. 115–121.
10. Ioana, D., Adriana, T. (2014), "Research Agenda on Integrated Reporting: New Emergent", *Theory and Practice Procedia Economics and Finance*, Vol. 15, P. 221–227.
11. Adams, C. A. (2015), "The International Integrated Reporting Council: a Call to Action", *Critical Perspectives on Accounting*, P. 23–28.
12. Lee, K. (2016), "The Association Between Integrated Reporting and Firm Valuation", *Review of Quantitative Finance and Accounting*, No. 47, P. 1221–1250.
13. Martin, K. (2014), "The Potential Impact of COSO Internal Control Integrated Framework Revision on Internal Audit Structured SOX Work Programs", *Research in Accounting Regulation*, No. 26, P. 110–117.
14. "Sustainability Reporting Guide", available at : https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/Russian-G4-Part-One.pdf
15. "International Standard for Integrated Reporting", available at : http://edu.inesnet.ru/wp-content/uploads/2014/05/13-12-08-THE-INTERNATIONAL-IR-FRAMEWORK.docx_ en-US_ru-RU.pdf
16. "Methodical recommendations for compiling a management report", available at : https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0982201-18#Text.

Received 18.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Момот Тетяна Валеріївна – доктор економічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, завідувач кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: tvmomot@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7397-3565.

Момот Татьяна Валерьевна – доктор экономических наук, профессор, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, заведующая кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Momot Tetiana – Doctor of Sciences (Economics), O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Head of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

Карпушенко Марія Юріївна – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, доцент кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: mariamaria1864@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9280-4812.

Карпушенко Мария Юрьевна – кандидат экономических наук, доцент, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, доцент кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Karpushenko Maria – PhD (Economics Sciences), Associate Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Associate Professor of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Audit, Kharkov, Ukraine.

Тан Лінлін – Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, аспірант кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: l_c-ukr@hotmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0523-0932.

Тан Линлин – Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, аспирант кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Tang Linlin – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, PhD Student of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО СКЛАДАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ ЗВІТНОСТІ В УКРАЇНІ

У сучасних умовах можливості бухгалтерської звітності не відповідають завданням задоволення інформаційних потреб користувачів облікових даних, які спрямовані на отримання свідчень щодо стабільного та стійкого функціонування як суб'єкта господарювання, так і регіону, де воно функціонує, так і держави в цілому. **Предметом** дослідження статті є різні підходи до складання інтегрованої звітності та особливості формування показників. Інтегрована корпоративна звітність визначає єдиний формат надання зацікавленим споживачам інформації про діяльність підприємства, ризики і потенціал надання якісних послуг, охоплює фінансову і нефінансову звітність та розкриває показники результативності економічної, екологічної і соціальної діяльності підприємства, що забезпечує прозорість інформації в частині бізнес-ризиків і управління ними. На сучасний момент в Україні підприємства складають звіт, який об'єднує в собі фінансові показники та показники, що характеризують деякі важливі соціальні аспекти - Звіт про управління. В роботі розглянута концепція звітності про вартість, ключовою ідеєю якої є досягнення більшої інформативності бухгалтерських показників шляхом корпоративного звітування та розробки стандартів нефінансової інформації, що відображає галузеву специфіку підприємства. **Мета** роботи – детальний розгляд сутності інтегрованої звітності, проблем її складання, аналіз існуючих підходів до формування показників інтегрованої звітності різних компаній з урахуванням потреб користувачів, обгрунтування показників, що входять до інтегрованої звітності. Під час дослідження застосовувалася сукупність методів та підходів, таких як діалектичний, синтезу та порівняльний, системний. В статті вирішуються такі **завдання**, як аналіз функцій та складових інтегрованої звітності, аналіз Звіту з управління та показників, які його формують, визначення особливостей його складання різними компаніями, основні принципи формування інтегрованої звітності згідно до міжнародного стандарту інтегрованої звітності. Отримані **результати** – проведений детальний аналіз показників звіту про управління та запровадження передумов ефективного формування складу таких показників. **Висновки**: подальший розвиток інтегрованої звітності повинен бути спрямований на такі важливі аспекти, як розробка доопрацювання системи фінансових і нефінансових показників, методи отримання інформації, узагальнення різних систем забезпечення управління (управлінського обліку, моніторингу, аналізу фінансової стійкості) в процесі підготовки внутрішньої інтегрованої звітності.

Ключові слова: інтегрована звітність; звіт з управління; фінансова звітність; соціальна звітність; нефінансові показники.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОСТАВЛЕНИЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ОТЧЕТНОСТИ В УКРАИНЕ

В современных условиях возможности бухгалтерской отчетности не соответствуют задачам удовлетворения информационных потребностей пользователей учетных данных, которые направлены на получение свидетельств относительно стабильного и устойчивого функционирования как субъекта хозяйствования, так и региона, где оно функционирует, так и государства в целом. **Предметом** исследования статьи являются разные подходы к составлению интегрированной отчетности и особенности формирования показателей. Интегрированная корпоративная отчетность определяет единый формат предоставления заинтересованным потребителям информации о деятельности предприятия, риски и потенциал предоставления качественных услуг, охватывает финансовую и нефинансовую отчетность и раскрывает показатели результативности экономической, экологической и социальной деятельности предприятия, обеспечивает прозрачность информации в части бизнес-рисков и управления ними. На текущий момент в Украине предприятия составляют отчет, объединяющий в себе финансовые показатели и показатели, характеризующие некоторые важные аспекты - Отчет об управлении. В работе рассмотрена концепция отчетности о стоимости, ключевой идеей которой является достижение большей информативности бухгалтерских показателей путем корпоративного отчетности и разработки стандартов нефинансовой информации, отражающей отраслевую специфику предприятия. **Цель** работы – детальное рассмотрение сущности интегрированной отчетности, проблем ее составления, анализ существующих подходов к формированию показателей интегрированной отчетности различных компаний с учетом потребностей пользователей, обоснование показателей, входящих в интегрированной отчетности. В исследовании применялась совокупность методов и подходов, таких как диалектический, синтеза, сравнительный, системный. В статье решаются такие **задачи**, как анализ функций и составляющих интегрированной отчетности, анализ Отчета по управлению и показателей, которые его формируют, определение особенностей его составления различными компаниями, основные принципы формирования интегрированной отчетности согласно международному стандарту интегрированной отчетности. Получены **результаты** – проведен детальный анализ показателей отчета об управлении и внедрении предпосылок эффективного формирования состава таких показателей. **Выводы**: дальнейшее развитие интегрированной отчетности должно быть направлено на такие важные аспекты, как доработка системы финансовых и нефинансовых показателей, разработка методов получения информации, обобщение различных систем обеспечения управления (управленческого учета, мониторинга, анализа финансовой устойчивости) в процессе подготовки внутренней интегрированной отчетности.

Ключевые слова: интегрированная отчетность; отчет по управлению; финансовая отчетность; социальная отчетность; нефинансовые показатели.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Момот Т. В., Карпушенко М. Ю., Тан Лінлін Сучасні підходи до складання інтегрованої звітності в Україні. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 121–128. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.121

Momot, T., Karpushenko, M., Tang Linlin (2020), "Modern approaches for integrated reporting preparing in Ukraine", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 121–128. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.121

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

УДК 658.78 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.129

Ю. С. Хрутьба, П. Г. Параніч, Т. Б. Ідзієв

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ РИНКУ ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ

Предметом дослідження в статті є логістичні послуги. **Мета** дослідження полягає у вивченні сучасного стану та особливостей розвитку ринку логістичних послуг в Україні. В статті вирішуються наступні **задачі**: визначення суті логістичних послуг, визначення факторів впливу на ринок логістичних послуг. **Методи** дослідження, використані у процесі написання статті, передбачають застосування таких загальних методів дослідження, як узагальнення та порівняння. **Результати** дослідження. У статті проведений аналіз наукової літератури, який дав змогу визначити, що вітчизняна логістика демонструє позитивні тенденції розвитку, здійснює вагомий вплив на економічний потенціал країни, стимулює розвиток суміжних, взаємопов’язаних галузей. Хоча ринок логістичних послуг України і перебуває в стадії розвитку, а темпи його зростання значно повільніші порівняно з іншими країнами, проте він є потенційно конкурентоспроможним. У даній роботі був проведений огляд теоретичних аспектів організації і проектування логістичних систем у сучасних умовах. Даний аналіз дав змогу автору визначити, наскільки тісно вітчизняний ринок логістичних послуг пов’язаний із розвитком торговельних мереж та електронної торгівлі. Спираючись на логістичну стратегію, визначені етапи впровадження логістичної системи в країні. Для подальшого розвитку сфери послуг необхідним є вирішення комплексу взаємоузгоджених завдань: формування сприятливих умов для підприємницької діяльності у секторі послуг; створення економічного та правового середовища; вдосконалення дії механізму місцевого самоврядування; залучення громади до активної участі у визначенні пріоритетних напрямів зростання ринку послуг. **Висновки.** Реалізація стратегії переходу сфери послуг на інноваційно-інвестиційну модель розвитку дасть змогу активізувати всі види економічної діяльності у виробництві та реалізації послуг, стане однією зі складових частин економічної безпеки країни.

Ключові слова: логістика; провайдер; електронна торгівля; системний підхід; Інтернет-бізнес.

Постановка проблеми

Україні виходить на новий рівень розвитку логістичних послуг, що призводить до зростання конкуренції на кваліфіковані логістичні послуги. Активний розвиток електронної комерції на під час глобалізації світового ринку і зростання обсягів транзитних перевезень через нашу державу свідчить, про доцільність розвитку логістичного ринку, як однієї із пріоритетних галузей економіки. Український логістичний ринок розвивається, однак темпи його розвитку значно менші, порівняно із розвитком світового ринку логістики, саме тому дослідження сучасного стану та перспектив розвитку ринку логістичних послуг України є надзвичайно актуальним [1].

Використання логістичних методів в економічній діяльності сучасного підприємства дозволяє зменшити кількість операційних та інших витрат. Вивчаючи сучасний стан та перспективи розвитку ринку логістичних послуг дозволить послідовно і суттєво поліпшити стан економіки України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вивчення наукової літератури, щодо вивчення сучасного стану логістики в Україні, показав, що науковці розглядають через зарубіжний досвід застосування логістичних підходів на виробничих підприємствах. Закордоними науковцями К. Кльозе, Л. Міротіним, Б. Анікіним в своїх роботах розглянуто проблеми формування логістичних систем на підприємствах. Серед українських фахівців важливий внесок у розвиток логістики зробили Є. Крикавський, Н. Чухрай, М. Окландер, В. Николайчук, І. Смірнов. Однак, низку питань щодо формування логістичних систем на підприємствах належним чином не досліджено. Мало уваги приділено практичним аспектам формування логістичної системи підприємств, відсутні чіткі рекомендації щодо методики її ефективного формування на цих підприємствах.

Невирішені складові загальної проблеми

За допомогою логістичних систем забезпечується можливість зниження витрат на транспортування, складування та скорочення часу на доставку продукції від виробника до споживача. Однак проблема полягає в тому, що впровадження логістичних систем на підприємствах ще не досить розвинуто. Найрозвиненішим компонентом вітчизняної системи логістики є своєчасність поставок вантажів, а найменш розвиненим – якість торговельної та транспортної інфраструктури.

Формулювання цілей статті. Метою статті є вивчення сучасного стану та особливості розвитку ринку логістичних послуг в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розвиток ринку логістики будь-якої країни, у тому числі й України, залежить від стану її економіки. Його оператори забезпечують взаємодію учасників економічних відносин, пов’язують виробничі ланцюги, логістичні ланцюги поставок, дають змогу товарам знайти своїх покупців. Обсяги наданих у сфері логістики послуг безпосередньо залежать від рівня активності їх споживачів, динаміки виробництва, внутрішньої та зовнішньої торгівлі [3].

Підприємства потребують нових можливостей, а

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

також шансів для зростання користі та ефектів, які пов’язані з діяльністю на міжнародних ринках, що постійно змінюються. Одна з можливостей, яка виходить за функціональні межі підприємства, – це забезпечення відповідного рівня обслуговування клієнта. Обслуговування клієнта об’єднує логістику і маркетинг, виразником чого є інтегрована логістико-маркетингова концепція. Варто зазначити, що Мартін Крістофер, один з основоположників поняття "маркетингова логістика", не наводить точного визначення у своїх працях [16]. Але зазначає, що маркетингова логістика зосереджена на тому, яким чином обслуговування клієнтів може бути використано для отримання конкурентних переваг. Вона прагне керувати взаємодією між маркетингом і логістикою з метою узгодження перспективних стратегій у контексті більш широкого ланцюжка поставок.

Як стверджує П. Блейк [14], ця концепція складається з інтеграції двох концепцій, з одного боку, логістики як концепції часткового управління, орієнтованої на постачання, а з іншого, – маркетингу, який орієнтований ринковою концепцією управління підприємством. Обидві концепції управління стикаються у найважливішому місці, яким є ринок, що детермінує стратегії діяльності підприємства на ринку збуту і забезпечення. Однак метою обох цих концепцій є використання потенціалу і можливості підприємства, щоб досягти успіху на ринку і надати той рівень обслуговування клієнта, що вимагається. Отже, можна сказати, що до обслуговування клієнта належить підходити не тільки з перспективи маркетингу, але й з перспективи логістики, а сформульована стратегія повинна забезпечити досягнення найвищого рівня задоволення потреб і вимог клієнта. З логістичної точки зору під обслуговуванням клієнта маємо на увазі уміння або чітку здатність щодо ефектного заспокоєння очікувань клієнта, головне, щодо часу і місця поставок продуктів, що замовляються, з використанням усіх доступних форм логістичної діяльності [15].

Виходячи із зазначених залежностей, можна виділити фактори, що впливають на розвиток логістичного ринку нашої країни в даний час та сформувати поточні тенденції на логістичному ринку (табл. 1) [4]. Конкурентна ситуація стала додатковим стимулом для розвитку та вдосконалення роботи підприємств сервісних послуг України, пошуку нових споживачів, формування асортименту послуг для всіх верств населення з відповідними для них цінами на послуги. Основним фактором росту сфери сервісних послуг є стан і рівень розвитку інновацій, що покращує якість логістичного обслуговування [7].

Таблиця 1. *Фактори впливу та розвитку ринку логістичних послуг в Україні*

№	Фактори, що впливають на розвиток логістичного ринку України	Поточні тенденції на логістичному ринку
1	Динаміка українського промислового виробництва. У 2018-2019 роках спостерігається зростання загальних обсягів виробництва, але це пожвавлення стосується не всіх груп товарів.	Зниження товарообігу, обумовлене негативним впливом кризових явищ, змінилося з 2017 року процесом збільшення обсягів вантажоперевезень по причині стабілізації економічної ситуації в країні. У 1 кварталі 2017 року зростання обороту вантажів склав майже 10% в порівнянні з аналогічним періодом минулого року.
2	Обсяги внутрішньої оптової та роздрібної торгівлі також останнім часом мають тенденцію до збільшення.	У першому півріччі 2019 року відмічено деякий перерозподіл часток вантажоперевезень між видами транспорту. У цей період, в порівнянні з 1 півріччям 2018 року, відбулося зниження на 1,5% частки залізниці, а частка трубопровідного транспорту збільшилася на 1,4%. Таким чином, практично весь зростання вантажообігу припав на автомобільний транспорт, оскільки обсяги перевезень іншими його видами не змінилися. Стагнація ринку залізничних перевезень пояснюється підвищенням тарифів на ці послуги в поєднанні з технічної зношеністю рухомого складу.
3	Стан зовнішньої торгівлі. Наслідком скорочення виробництва, зниження курсу національної валюти, загострення відносин з Росією стало скорочення обсягу експорту. Разом з тим, після 2016 року почалося зростання імпорту.	В Україні, як і в інших країнах світу, зростає популярність придбання товарів в інтернет-магазинах. Одним з головних переваг таких покупок, особливо важливим в умовах зниження реальних доходів наших громадян, є менша ціна товарів в порівнянні з традиційними торговими точками. З розвитком мережі інтернет-магазинів збільшується і попит на послуги логістичних компаній з доставки товарів з них як всередині країни, так і з-за кордону.
4	Загальне зниження доходів учасників економічної діяльності змушує їх до мінімізації своїх витрат, в тому числі і за рахунок логістичних послуг.	Спостерігаються позитивні зміни в секторі надання складських послуг. Економічні труднощі попередніх років змусили багатьох орендарів скоротити витрати на ці цілі шляхом переїзду на площі сховищ нижчої якості. Проте активізація торгівлі в 2018 році призвела до початку відновлення і складського ринку, яке продовжилося і далі. Причому орендарями більше половини складських приміщень є рітейлери. Тому з підвищенням купівельної спроможності населення очікується подальше збільшення попиту на складські послуги. Разом з тим, будівництво нових складських приміщень в період 2017-2019 років залишається невеликим і здійснюється переважно під потреби конкретних компаній в форматі built-to-suit [3].

Логістико-маркетингова концепція приділяє більшу увагу індивідуальним запитам споживачів, почали пристосовуватися до більш жорстких вимог щодо якості обслуговування, так як в сучасних вимогах на ринку логістичних послуг можна побачити тенденції зростання вимог споживачів по відношенню до їх комплексності і якості.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

Основними параметрами якості логістичного обслуговування споживачів вважають:

1) час обробки замовлень (час від отримання замовлення постачальником до доставки товару замовнику);

2) гарантовану доставку за будь-яких умов;

3) наявність товару на складі і його відвантаження за першою вимогою споживача;

4) максимальну відповідність виконаних замовлень вимогам споживача;

5) наявність необхідних потужностей для виконання дострокових замовлень;

6) об'єктивність цін на логістичні послуги;

7) наявність інформаційних систем про рівень, структуру витрат на логістичне обслуговування;

8) зручність розміщення замовлень у логістичній системі;

9) ступінь доступності виконання замовлення в діючій логістичній системі;

10) наявність в логістичній системі можливості надання постійним клієнтам товарних кредитів;

11) високий рівень технології вантажопереробки і якості упаковки товару [7].

На сучасному етапі розвитку ринок логістичних послуг України представлений на всіх рівнях логістичного сервісу (табл. 2) [7].

Таблиця 2. *Рівні логістичного сервісу України*

Рівень	Назва	Характеристика рівнів логістичного сервісу	Назва компанії в Україні
1PL	"Логістичний інсорсинг"	це вид логістичного сервісу, коли всі логістичні процеси здійснюються безпосередньо власним вантажоперевізником на власному транспорті, тобто вся логістика підприємства є автономною	
2PL	Частковий логістичний аутсорсинг	вид логістичної діяльності, коли складування, перевезення відбувається із залученням сторонніх компаній, але при цьому керують ланцюгом поставок самостійно. На сучасному етапі в Україні більшість компаній надають перевагу саме цьому виду логістичного сервісу.	"Інтайм", "Делівері", "Нова Пошта", "МістЕкспрес"
3PL	Комплексний логістичний аутсорсинг	той рівень логістичного сервісу, коли власник вантажу сам вже не займається зовнішньою логістикою. 3PL-провайдери – це багатопрофільні логістичні провайдери, що мають висококопрофесійний персонал. Вони займаються доставкою товару, контролем проходження митниці, пакуванням, фасуванням товару тощо	"Гранд Логістик", "УВК", DHL, NEOLIT, "Black Sea Shipping Service Ltd."
4PL	Інтегрований логістичний аутсорсинг	вид логістичного сервісу, коли підприємство-замовник не лише залучає аутсорсера для виконання функцій транспортної логістики, але й передає йому задачі з проектування та управління ланцюгами поставок та логістичними бізнес-процесами на підприємстві	"Метро Кеш енд Керрі" – METRO MGL Logistik GmbH
5PL	Віртуальна логістика	логістичний сервіс, який охоплює весь комплекс логістичних послуг глобального інформаційно-технологічного простору.	На жаль, на території України представлені лише транснаціональні 4PL- та 5PL-провайдери

За рівнем ефективності роботи логістичної системи Україна займає 61-ше місце серед 160 країн світу. На думку експертів, логістична система України прогресує. Це яскраво демонструє динаміка національного індексу ефективності логістики. У поточному році він досяг 2,98 бали. За оцінками Світового банку [5] найрозвиненішим компонентом вітчизняної системи логістики є своєчасність поставок вантажів, а найменш розвиненим – якість торговельної та транспортної інфраструктури.

У загальносвітовому експорті та імпорті всіх видів послуг частка транспортних послуг становить приблизно 24% (5,5 трлн дол. США). Звичайно, постачальники транспортно-експедиційних послуг на світовий ринок програють за вартісними показниками експортерам товарів, але тільки найбільшим.

Найбільшим постачальником логістичних послуг є США. Їх експорт складає близько 80-90 млрд дол. США. Але вони й імпортують транспортно-експедиційні послуги на рік на суму в 90-100 млрд дол. США. Проте поступово США втрачає лідируючі позиції в даному сегменті ринку. Це пояснюється рядом економічних факторів та активним розвитком логістики в провідних європейських країнах. Також до найбільших експортерів даних послуг у світі відносяться Німеччина (25-26 млрд дол. США), Японія (40-45 млрд дол. США), а також Великобританія, Нідерланди, Гонконг (22-28 млрд дол. США), Корея та інші [6].

Одноосібним лідером в імпорті логістичних послуг також є США. Слідом за США за обсягами імпорту транспортних послуг йдуть: Німеччина – 52 млрд дол. США (7,56% ринку); Японія – 42,3 млрд дол. США (6,24% ринку); Великобританія – 35,8 млрд дол. США (5,21% ринку); Франція – 29,5 млрд дол. США (5,01% ринку); Данія – 23,9 млрд дол. США (3,48% ринку); Індія – 31,1 млрд дол. США (3,47% ринку); Республіка Корея – 29,9 млрд дол. США (3,41% ринку); Італія – 22,6 млрд дол. США (3,3% ринку); Нідерланди – 16,6 млрд дол. США (2,41% ринку) та інші. (дані наведені в середньорічному обсязі) [2].

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Лідируючі позиції зазначених країн на світовому ринку покупки і продажу транспортних послуг, на думку провідних вітчизняних авторів, пояснюються активною участю даних країн у світовому товарообміні, в міжнародному поділі праці.

Частка управлінської логістики й комплексних логістичних послуг збільшуються, і більшість підприємств надають перевагу всебічній оптимізації своєї діяльності.

На сучасному етапі в світі спостерігається тенденція виникнення логістичних компаній та центрів, які пропонують комплексні функціональні рішення. Вони полягають у наданні 3PL-послуг й активному розвитку четвертого та п'ятого рівнів логістичного аутсорсингу. Слід зазначити, що максимальний попит спостерігається в Північній Америці та Європі. При цьому найбільше користувачів послугами 3PL операторів виявлено серед компаній, що працюють у сфері високих технологій (16%), промислового виробництва (13%) і виробництва продовольчих товарів (13%). Найменше користуються послугами аутсорсингу компанії, що здійснюють діяльність в області фінансів і телекомунікацій.

Вітчизняна логістика демонструє позитивні тенденції розвитку, здійснює вагомий вплив на економічний потенціал країни, стимулює розвиток суміжних, взаємопов'язаних галузей. Хоча ринок логістичних послуг України і перебуває в стадії розвитку, а темпи його зростання значно повільніші порівняно з іншими країнами, проте він є потенційно конкурентоспроможним. Транспортно-логістичний комплекс України – це стратегічно важливий та вагомий сегмент країни в політичному, економічну та соціальному аспектах. Логістика України становить у валовому внутрішньому продукті країни близько 12%, при цьому створюючи робочі місця для населення у розмірі 7% від загальної кількості зайнятого населення [9].

В 2019 році на ринку складської нерухомості підтвердилась тенденція до зростання, яка розпочалась ще в кінці 2018. Основою рушійною силою стало загальне відновлення попиту з боку ринків роздрібної торгівлі та логістики, централізація (переміщення гравців з регіонів до столиці), покращення умов оренди у вигляді якісних приміщень, що сприяло зростанню обсягу валового поглинання та зменшення вакантності [8].

У період кризи все більше логістичних операторів почали розвивати послугу аутсорсингу свого персоналу на складах клієнта. Якщо розглянути структуру обсягу площ, яка формується із площ, що перебувають у власності та в оренді логістичних операторів, та площ, на яких проводиться обслуговування клієнта на його ж складі, то цей показник є більшим за фактичні площі, які логістичний оператор орендує або має у власності [3].

Серед найбільших логістичних операторів, які домінують у секторі за обсягами орендованої площі та наявних площ у власності, можна виділити п'ятірку компаній, яка в основному складається з міжнародних компаній та однієї української компанії, які представлені в табл. 2. Потрібно відзначити, що під час кризових 2015-2016 років, локальні оператори поступово відвоювали свою частку на ринку. Українські компанії, які можна виділити на даний момент це Business Group, ZAMMLER, Logistic Plus, УВК та "НП Логістик" [10].

Проте, переважно, саме локальним логістичним провайдерам властиве питання координації дій як всередині компанії, так і з клієнтами. Поступово, локальні оператори складають більш серйознішу конкуренцію міжнародним логістичним компаніям. Серед таких представників вітчизняних провайдерів, можна відзначити групу логістичних компаній ZAMMLER, яка на даний момент надає стабільно хороший сервіс та стрімко нарощує обсяги орендованих площ [11].

Таблиця 3. *Найбільші логістичні оператори за обсягом власної та орендованої площі, на якій здійснюються логістичні операції [12]*

Назва	**Площа, м2**	**Обсяг площі: власної, в оренді, складу клієнта, яка обслуговується логістичним оператором, м^2**	**Тип**
ZAMMLER	75 000	75 000	Локальна
Kuehne+Nagel	67 000	123 000	Міжнародна
Raben	53 000	73 000	Міжнародна
Ekol	58 000	58 000	Міжнародна
FM Logistic	55 000	55 000	Міжнародна
УВК	50 000	50 000	Локальна
LogisticPlus	27 000	27 000	Локальна
НП Логістик	27 000	27 000	Локальна

Традиційно логістичні компанії в Україні присутні в основному в Києві та займають великі площі, проте в регіонах даний тренд представлений набагато нижчими показниками як площ, так і різноманітністю самих компаній. Це пов'язано в першу чергу із слабшим розвитком регіональних ринків. Що стосується міжнародних логістичних операторів, то їхніми ключовими характеристиками залишаються високі стандарти корпоративної культури, процедурності та якості послуг [12].

Варто зазначити, що українські логістичні компанії почали розвиватись в останні роки активніше. Потрібно відзначити, що під час кризових

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

2015-2016 років, локальні оператори поступово відвоювали свою частку на ринку. Українські компанії, які можна виділити на даний момент це Business Group, ZAMMLER, Logistic Plus, УВК та "НП Логістик". Проте, переважно, саме локальним логістичним провайдерам властиве питання координації дій як всередині компанії, так і з клієнтами. Поступово, локальні оператори складають більш серйознішу конкуренцію міжнародним логістичним компаніям. Для прикладу, українські компанії вже зараз розглядають нові напрямки для розвитку, що демонструє готовність інвестувати в нові проекти та формати. Адже, однією із переваг локальної логістичної компанії є можливість швидкого прийняття рішень на місці. Серед таких представників вітчизняних провайдерів, можна відзначити групу логістичних компаній ZAMMLER, яка на даний момент надає стабільно хороший сервіс та стрімко нарощує обсяги орендованих площ. Що стосується міжнародних логістичних операторів, то їхніми ключовими характеристиками залишаються високі стандарти корпоративної культури, процедурності та якості послуг. Наприклад, навіть під час кризи, міжнародний провайдер FM Logistic продовжував будівництво складських об’єктів і на даний момент, вакантність в складських комплексах, які знаходяться у власності провайдера, є нульовою [12].

Вітчизняний ринок логістичних послуг тісно пов’язаний із розвитком торговельних мереж та електронної торгівлі. Важливими чинниками впливу є збільшення кількості магазинів по території України і відсутність можливості самостійно управляти ланцюгами постачання, а також недостатня кількість професійних і логістичних (розподільчих) центрів із різними температурними режимами.

Зростання обсягів торгівлі через мережу Інтернет на рівні 25–35% протягом декількох останніх років заставило ринок логістичних послуг запропонувати зовсім нові послуги для Інтернет-бізнесу (табл. 4).

Бурхливий розвиток електронної торгівлі зумовив зростання конкуренції між традиційними й новими форматами продажів товарів та послуг, що спонукає компанії до постійного пошуку нових логістичних рішень щодо форм і термінів доставки, комплектації замовлень споживачів, управління запасами, зберігання й розподілення товарів.

Таблиця 4. *Види логістичних послуг для інтернет-бізнесу [3]*

Назва послуги	Сегмент	Комплекс послуг	Основні гравці
Експрес-доставка вантажів	Сегмент B2B	Може передбачати як класичні транспортні та експедиторські послуги, так і клієнто-орієнтовані індивідуалізовані рішення, що створюють додаткові зручності й вигоди для клієнтів	"Укрпошта", "Нова пошта", "Делівері", "Міст експрес", "Ін-тайм" та інші
Кур’єрська доставка	Здебільшого сегмент B2C	Доставка кореспонденції або товарів у найкоротші терміни	"DHL", "FedEx", "TNT", "UPS"
Поштова логістика	Здебільшого сегмент C2C	Доставка листів, бандеролей і посилок	"Укрпошта" та приватні пош-тові оператори
Фулфілмент	Окремий сегмент складських послуг для Інтернет-магазинів	Передбачає забезпечення високого рівня організації технологічних процесів у центрах оброблення замовлень клієнтів	"Нова пошта", "ZAMMLER", "Raben", "Міст Експрес", "Denka Logistics", "FM logistic"
Напрям sharing economy (економіки спільного користування)	Сервіс працює переважно в сегменті C2C, але вже є спроби впровадити таку послугу в сегментах B2C та B2B	Інтернет-платформа для об’єд-нання власників вантажу і перевізників, що виконують міжміські та міжнародні перевезення, і дає змогу швидко й зручно вибрати перевізника	-

Отже, у процесі діяльності суб’єктів ринку логістичних послуг необхідно здійснювати моніторинг економічного середовища й відстежувати зміни, які в ньому відбуваються, прогнозувати наслідки прямого та опосередкованого впливів сукупності зовнішніх і внутрішніх чинників, що визначають умови функціонування та розвитку його учасників. Гравці ринку логістичних послуг також вимушені звертатися до досвіду сучасної єврологістики, вивчати правила функціонування на ринку логістичних послуг й особливо стандарти та запити клієнтів щодо якості логістичних послуг.

Для сучасного стану ринку послуг характерні такі особливості:

а) розвиток та ефективна діяльність малих господарських утворень;

б) суперечливе становище малого підприємництва через залежність від фінансування

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

держави та її неспроможність надавати стабільну фінансову підтримку;

в) високі показники діяльності колективних підприємств;

г) збільшення обсягу реалізації послуг через зростання попиту на них [11].

Для подальшого розвитку сфери послуг необхідним є вирішення комплексу взаємоузгоджених завдань: формування сприятливих умов для підприємницької діяльності у секторі послуг; створення економічного та правового середовища; вдосконалення дії механізму місцевого самоврядування; залучення громади до активної участі у визначенні пріоритетних напрямів зростання ринку послуг; створення реальних можливостей кожному підприємству доступу до виробничих, матеріально-технічних та фінансових ресурсів; подальший розвиток комерційної системи інформаційного забезпечення підприємницької діяльності; застосування механізму партнерства для стимулювання розвитку перспективних видів діяльності у сфері послуг; здійснення заходів у галузі інвестиційної політики та сприяння інноваційному інвестуванню підприємств; підтримка в перспективі на відповідній науковій основі розвитку мережевих та кластерних структур безпосередньо сервісного характеру (транспортно-логістичні, туристично-рекреаційні, культурно-розважальні) [13].

Для України актуальним є прискорений розвиток і, відповідно, експорт туристичних, фінансових, ділових, науково-дослідних, будівельних послуг. Ця сфера зовнішньоекономічної діяльності є серйозним потенціалом для збільшення експорту країни і тому заслуговує пріоритетної уваги. Суттєве розширення участі України у світовій торгівлі послугами потребує розробки відповідної стратегії діяльності в системі міжнародного поділу праці. Реалізація стратегії переходу сфери послуг на інноваційно-інвестиційну модель розвитку дасть змогу активізувати всі види економічної діяльності у виробництві та реалізації послуг, стане однією зі складових частин економічної безпеки країни.

Зростання зацікавленості у вирішенні проблем "першої та останньої милі" сприяло більш високим темпам розвитку логістичних послуг, появі нових технологій міської доставки товарів, реалізованих через електронні канали продажів. Експерти вважають, що в найближчій перспективі ми станемо свідками інверсії інституціональної структури глобальної логістики [3].

Висновок

Вирішуючи транспортні проблеми, необхідно використовувати теоретичні і методологічні досягнення в області логістичних послуг. Проте важливо застосовувати не тільки наявні досягнення, але і виробити свою транспортну стратегію і визначити головні її принципи. Для України актуальним є прискорений розвиток Інтернет-бізнесу в логістичній діяльності. Ця діяльність є серйозним потенціалом для збільшення експорту країни і тому заслуговує пріоритетної уваги. Суттєве розширення участі України у світовій торгівлі послугами потребує розробки відповідної стратегії діяльності в системі міжнародного поділу праці. Реалізація стратегії переходу сфери послуг на інноваційно-інвестиційну модель розвитку дасть змогу активізувати всі види економічної діяльності у виробництві та реалізації послуг, стане однією зі складових частин економічної безпеки країни [13].

Список літератури

1. Більовський К. Е. Стан та перспективи розвитку ринку логістичних послуг в Україні. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2016. № 4, Т. 2. С. 25–29.
2. Быкова, Е. Д., Винников, В. В., Винников, С. В. Логистика на водном транспорте: Учеб. пособие для студентов и курсантов высших учебных заведений водного транспорта. Одесса : Фешкс. 2004. 222 с.
3. Григорак М. Ю. Інтелектуалізація ринку логістичних послуг: концепції, методологія, компетентність: монографія. К. : Сік Груп Україна. 2017. 516 с.
4. Зеленець М. В. Експедиція вантажів в транспортних компаніях. *Міжнародний бізнес Росії*. 2012. № 3. С. 39.
5. Кристофер М., Пэк Х. Маркетинговая логистика. 2005. 200 с.
6. Латунова Д. А. Аналіз ринку логістичних провайдерів України. Економічні проблеми сталого розвитку: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції імені проф. Балацького О. Ф. 2015. 118 с.
7. Мельникова К. В. Теоретичні принципи логістичного обслуговування споживачів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економіка і суспільство*. 2017. № 8. С. 309–312.
8. Наконечна Т. В., Гринів Н. Т., Данилович Т. Б. Особливості розвитку ринку логістичних послуг в Україні. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2019. Вип. 24, Ч. 2. С. 139–144.
9. Романків І. Я. Розвиток ринку послуг в Україні. *Фінанси України*. 2011. № 11. С. 38–45.
10. Стручков О. Розвиток можливостей в Україні для чесної конкуренції на ринку ЗЗР : веб-сайт. URL: propozitsiya.com/ua/oleksiy-struchkov-borotisya-z-falsifikaciieyu-zzr-mozhna-tilki-licenzuvannyam (дата звернення: 10.10.2020).
11. Blaik P. Logystyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania, PWE. Warszawa, 2001.
12. Kempny D. Obsługa logistyczna, wyd. AE. Katowice, 2008.
13. Shoul, Dzh. (2008), Pervoklassnyi servis kak konkurentnoe preimushchestvo [First class service as a competitive advantage], Moskov : Alpina Biznes Buks.
14. Pro-Consulting. Особливості ринку логістиних послуг в Україні: веб-сайт. URL: pro-consulting.ua/ua/pressroom/osobennosti-rynka-logisticheskih-uslug-v-ukraine (дата звернення: 11.11.2020).

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2524-2296 (online)*

15. Logist FM. Логістичний ринок України: логістичні оператори нарощують свою долю в сегменті складської логістики: веб-сайт. URL: logist.fm/publications/logistichniy-rinok-ukrayini-logistichni-operatori-naroshchuyut-svoyu-dolyu-v-segmenti (дата звернення: 27.09.2020).
16. Logistics Performance Index (LPI) Report: The Gap Persists. World bank: веб-сайт. URL: http://int-bi.com/sobytiya/material/7.html (дата звернення: 11.11.2020).

References

1. Bilyovsky, K. E. (2016), "Status and prospects of logistics services market development in Ukraine" ["Stan ta perspektivi rozvitku rinku logistichnikh poslug v Ukraïni"], *Visnyk of Khmelnytsky National University, Series: Economic Sciences*, Vol. 2, No. 4, P. 25−29.
2. Bykova, E. D., Vinnikov, V. V., Vinnykov, C. B. (2004), *Water transport logistics* : a training manual, Odessa, VD "Phoenix", 222 p.
3. Grigorak, M. Y. (2017), Intellectualization of the logistics services market: concepts, methodology, competence [Intelektualizatsiya rinku logistichnikh poslug: kontseptsiï, metodologiya, kompetentnist], Kyiv, Sik Group Ukraine, 516 p.
4. Zelenets, M. V. (2012), "Freight forwarding in transport companies" ["Ekspeditsiya vantazhiv in transport companies"], *International business of Russia*, No. 3, P. 39.
5. Christopher, M., Pack, H. (2005), *Marketing Logistics* [*Marketynhovaia Lohystyka*], 200 p.
6. Latunova, D. A. (2015), "Market analysis of logistics providers in Ukraine" ["Analiz rinku logistichnikh provaideriv Ukraïni"], *Economic problems of sustainable development: materials of the International scientific-practical conference named after prof. Balatskoho O. F.*, Sumy, May 27, 118 p.
7. Melnikova, K. V. (2017), "Theoretical principles of logistics customer service" ["Teoretichni printsipi logistichnogo obslugovuvannya spozhivachiv"], *Khmelnytsky National University. Series: Economy and Society*, No. 8, P. 309−312.
8. Nakonechna, T. V., Green, N. T., Danilovich, T. B. (2019), "Features of the market of logistics services in Ukraine" ["Osoblivosti rozvitku rinku logistichnikh poslug v Ukraïni"], *Scientific Bulletin of Uzhgorod National University, Series: International Economic Relations and the World Economy*, Vol. 24, Part 2, P. 139−144.
9. Romankiv, I. Y. (2011), "Development of the services market in Ukraine" ["Rozvitok rinku poslug v Ukraïni. Finansi Ukraïni"] *Finance of Ukraine*, No. 11, P. 38−45.
10. Struchkov, O. "Development of opportunities in Ukraine for fair competition in the PPE market" ["Rozvitok mozhlivostei v Ukraïni dlya chesnoï konkurentsiï na rinku ZZR"], available at : propozitsiya.com/ua/oleksiy-struchkov-borotisya-z-falsifikaciieyu-zzr-mozhna-tilki-licenzuvannyam (last accessed: 10.10.2020).
11. Blaik, P. (2001), Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania, PWE, Warszawa.
12. Kempny, D. (2008), *Obsługa logistyczna*, wyd. AE, Katowice.
13. Shoul, Dzh. (2008), First class service as a competitive advantage [Pervoklassnyi servis kak konkurentnoe preimushchestvo], Moscow, Alpina Biznes Buks.
14. Pro-Consulting. "Features of the logistics services market in Ukraine", ["Osoblivosti rinku logistinikh poslug v Ukraini"] available at : pro-consulting.ua/en/pressroom/osobennosti-rynka-logisticheskih-uslug-v-ukraine (last accessed: 11.11.2020).
15. Logist FM, "Logistics market of Ukraine: logistics operators are increasing their share in the segment of warehousing logistics" ["Logistichnii rinok Ukraïni: logistichni operatori naroshchuyut' svoyu dolyu v segmenti sklads'koï logistiki"], available at : logist.fm/publications/logistichniy-rinok-ukrayini-logistichni-operatori-naroshchuyut-svoyu-dolyu-v-segmenti (last accessed: 27.09.2020).
16. Logistics Performance Index (LPI) Report: The Gap Persists, World bank, available at : http://int-bi.com/ sobytiya/material/7.html (last accessed: 11.11.2020).

Надійшла (Received) 30.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Хрутьба Юлія Сергіївна – кандидат економічних наук, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, Київ, Україна; email: hrutbaj@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3419-8364.

Хрутьба Юлия Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры транспортного права и логистики, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.

Khrutba Yuliya – PhD (Economics Sciences), National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, Kyiv, Ukraine.

Параніч Поліна Геннадіївна – Національний транспортний університет, студентка магістратури, Київ, Україна; email: pparanich@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1029-3535.

Паранич Полина Геннадиевна – Национальный транспортный университет, студентка магистратуры, Киев, Украина.

Paranich Polina – National Transport University, Graduate Student, Kyiv, Ukraine.

Ідзієв Тимур Багандалійович – Національний транспортний університет, студент магістратури, Київ, Україна, email: mshmops@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2410-6611.

Идзиев Тимур Багандалиевич – Национальный транспортный университет, студент магистратуры, Киев, Украина

Idziiev Tymur – National Transport University, Master's Student, Kyiv, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ В УКРАИНЕ

Предметом исследования в статьи есть логистические услуги. **Цель** исследования заключается в изучении современного состояния и особенности развития рынка логистических услуг в Украине. В статьи решаются следующие **задачи**: определение сути логистических услуг, определение факторов влияния на рынок логистических услуг. **Методы** исследования, использованные в процессе написания статьи, предусматривают применение таких общих методов исследования, как обобщение и сравнение. **Результаты** исследования. Проведённый в статье анализ научной литературы, позволил определить, что отечественная логистика демонстрирует положительные тенденции развития, осуществляет значительное влияние на экономический потенциал страны, стимулирует развитие смежных, взаимосвязанных отраслей. Хотя рынок логистических услуг Украины и находится в стадии развития, а темпы его роста значительно медленнее по сравнению с другими странами, однако он остается потенциально конкурентоспособным. В данной работе был проведен обзор теоретических аспектов организации и проектирования логистических систем в современных условиях. Этот анализ позволил автору определить, насколько отечественный рынок логистических услуг тесно связан с развитием торговых сетей и электронной торговли. Опираясь на логистическую стратегию, определены этапы внедрения логистической системы в стране. Для дальнейшего развития сферы услуг необходимо решение комплекса взаимосогласованных задач: формирование благоприятных условий для предпринимательской деятельности в секторе услуг; создание экономической и правовой среды; совершенствование действия механизма местного самоуправления; привлечение общественности к активному участию в определении приоритетных направлений роста рынка услуг. **Выводы.** Реализация стратегии перехода сферы услуг на инновационно-инвестиционную модель развития позволит активизировать все виды экономической деятельности в производстве и реализации услуг, станет одной из составных частей экономической безопасности страны.

Ключевые слова: логистика; провайдер; электронная торговля; системный подход; Интернет-бизнес.

CURRENT STATE AND FEATURES OF LOGISTICS SERVICES MARKET DEVELOPMENT IN UKRAINE

The **subject** matter of the article is logistics services. The **goal** of the work is to study the current state and features of the development of logistics services market in Ukraine. The following **tasks** are solved in the article: determination of the essence of logistics services, determination of factors of influence on the logistics services market. The research **methods** used in the process of writing the article involve the use of such general research methods as generalization and comparison. **Results.** The article analyzes the scientific literature and statistics, which allowed to determine that domestic logistics shows positive development trends, has a significant impact on the economic potential of the country, stimulates the development of related, interconnected industries. Although Ukraine's logistics services market is under development and its growth rate is much slower than in other countries, it is potentially competitive. This paper reviews the theoretical aspects of the organization and design of logistics systems in modern conditions. This analysis allowed the author to identify the domestic market of logistics services closely related to the development of trade networks and e-commerce Based on the logistics strategy, the stages of implementing the logistics system in the country are determined. For further development of the service sector it is necessary to solve a set of mutually agreed tasks: the formation of favorable conditions for business in the services sector; creation of economic and legal environment; improving the mechanism of local self-government; involvement of the community in active participation in determining the priority areas of growth of the services market. **Conclusion.** The implementation of the strategy of transition of the services sector to the innovation-investment model of development will allow to intensify all types of economic activity in the production and sale of services, will become one of the components of the economic security of the country.

Keywords: logistics; provider; e-commerce; system approach; Internet business.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Хрутьба Ю. С., Параніч П. Г., Ідзієв Т. Б. Сучасний стан та особливості розвитку ринку логістичних послуг в Україні. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 129–136. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.129

Khrutba, Yu., Paranich, P., Idziiev, T. (2020), "Current state and features of logistics services market development in Ukraine", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 129–136. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.129

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

UDC 339.138 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.137

B. SHEREMETA, N. CHUKHRAY

USING THE BLUE OCEAN STRATEGY BY UKRAINIAN CINEMA NETWORKS IN UNCERTAIN ENVIRONMENT

The **subject** matter of the article is ukrainian film distribution market. In today's world, the movie rental market is a sector of the economy that has recently shown a trend of stable growth. This process in most European countries is associated with the introduction of the latest digital cinema technology, increasing the level of wealth of the population and the high popularity of multi-screen cinemas. Film distribution is a mechanism to support the development, promotion of national cinema, one of the main forms of leisure and intercultural dialogue. The **goal** of the article is to determine the feasibility of applying the blue ocean strategy by Ukrainian cinema networks to support the trend of dynamic development of the industry. After all, an effective concept of management in uncertain conditions can be a strategy of "blue ocean", the principles of which are considered in the article on the example of market participants in market cinemas of Ukraine. The following **tasks** were solved: construction of a new strategic canvas for state cinemas of Ukraine; search for new value for cinema visitors; analysis of the foreign market of cinemas. The following **methods** used are: methods of analysis and synthesis, systemic, structural method in the article were summarized approaches to choosing a methodology for strategic enterprise management, taking into account the contemporary challenges of economic change in the world. The following **results** were obtained – the directions and possibilities of application of the "blue ocean" strategy by Ukrainian cinema networks as a tool of strategic success in the field of cinema were developed; the paper proposes a new strategic outline of cinema networks of Ukraine on the basis of a survey of 160 cinema spectators; a strategic plan for state and municipal cinemas has been developed, based on an updated four-action model; benchmarking of the world's leading cinemas was conducted, on the basis of which practical recommendations for the development of Ukrainian cinemas of various forms of ownership were formed; proposals for the creation of a "blue ocean" for companies engaged in the provision of services for the demonstration film products in Ukraine were presented. **Conclusion**: studies of the use of the "Blue Ocean" strategy have shown that this process is impossible without creating a new value for the consumer.

Keywords: blue ocean strategy; movie rantal market; value added; strategic canva; four actions framework; benchmarking; cinema's management; competition.

Introduction

The turbulence of the modern macroenvironment in the 21st century creates many new challenges for the management of Ukrainian cinema networks. In the scientific literature, the concept of "VUCA environment" is increasingly used, which is associated with instability, uncertainty, complexity and ambiguity of the environment in which organizations operate. In such circumstances, the need for organizations to implement new management tools and, accordingly, "VUCA-solutions" becomes relevant.

The introduction of quarantine in the first quarter of 2020 in many countries triggered the onset of the global financial and economic crisis. The main feature of the quarantine crisis is that people sit at home and many establishments are forcibly closed. Therefore, all costs associated with moving and contacting people are minimized. The crisis phenomena of enterprises providing entertainment services to the population are felt especially.

Obviously, during the quarantine, one should expect a decrease in the income of most entertainment companies, including the cinema market actors. However, as soon as quarantine is lifted, some experts also predict a decline in demand for cinema services [1], as consumers will be curtailed by economic uncertainty to cut costs, even if they have sufficient funds. At the same time, according to other experts [1], many consumers who do not receive quarantined services will form a pent-up demand that is realized later.

As today the cinema market has more features of oligopoly, the question of development of state, communal and separate private cinemas which are not competitive is actualized. Problems of low efficiency of economic activity of such cinemas are caused not only by the lack of modern technologies that provide quality demonstration of film product, but also at the expense of internal factors, first of all, low level of management.

Absence of specific guidelines, mission and target development of national state, communal cinemas, as well as the possibility of recognizing the influence of its external environment and the correct reaction to it. This complicates the ability to adapt or actively influence the environment, creating in today's environment the situation that most movie theaters are closed.

In this regard, there is a need for a detailed study and analysis of foreign experience regarding the methods of cinema management, the formation of strategic management in order to adapt it to the current conditions of leading ukrainian networks. Among the modern management approaches proposed by scientists at the beginning of the 21st century is the "Blue Oceans" strategy. This tool enables managers to respond quickly to changes in the market and generate new creative solutions.

Literature review

Back in 1994, scientist Henry Mintzberg, in his work "Rise and Fall of Strategic Planning" [2] argued that the process by which strategies are created must be reconceive - by emphasizing informal learning and personal vision - and the roles that can be played by planners. A quarter of a century has passed since the publication of this monograph, and the role of G. Mintzberg's conclusions on changing approaches to

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

strategic management of a modern enterprise has become even more relevant.

As for the activities of enterprises in an uncertain environment, the book "Singularity Management: from linear to exponential" poses a pressing question: "Is the company ready for an unprecedented acceleration of scientific and technical developments? Innovation and scientific breakthroughs face each other. The most important thing is not that the company has a plan, but only its adaptation to the developing circumstances" [3].

Chairman at Saatchi & Saatchi Worldwide (1997-2014) and Publicis Groupe Head Coach Kevin Roberts published book "64 Shots: Leadership in a Crazy World". In this book easily can find a term for crazy time - VUCA, which means Volatile, Uncertain, Complex, and Ambiguous. VUCA is an acronym used by the US Military. It was the response of the US Army War College to the collapse of the USSR in the early 1990s. Suddenly, there was no longer the only enemy, resulting in new ways of seeing and reacting [4]. According to K. Roberts, the traditional idea of leadership where leaders simply strategize, give orders, and try not to make mistakes is dead. But the eternal optimist, Roberts is not worried. On the contrary, he likes feeling super-VUCA - vibrant, unreal, crazy, and astounding.

In order to win in the VUCA world, it is necessary to focus not so much on the new, but on creating new value for consumers [4]. That is why the Blue Ocean Strategy is an effective tool to support the successful operation of businesses in a VUCA environment. This new VUCA environment, as Friedman notes, is taxing even the most able of leaders who may find their skills growing obsolete as quickly as their organizations change in this volatile, unpredictable landscape.

Leadership agility and adaptability are now required skills if organizations are to succeed in this VUCA world. As Horney, Pasmore, and O’Shea, authors of "Leadership Agility: A Business Imperative for a VUCA World" note, to succeed, "leaders must make continuous shifts in people, process, technology, and structure. This requires flexibility and quickness in decision making." [5]. Nathan Bennetta and G. James Lemoine (2014) showed how leaders can appreciate the differences among each of these challenging situations in order to properly allocate scarce resources to preserve and enhance organizational performance [6].

HR and talent management professionals must reframe leadership development activities to accommodate the faster-paced VUCA world and to focus less on behavioral competencies and more on complex thinking abilities and mindsets. Leadership development should be focused on learning agility, self-awareness, comfort with ambiguity, and strategic thinking [7].

The book "Blue Ocean Strategy: How to Create an Indisputable Market Space and Make Competition Irrelevant" presents an analytical framework and tools to promote the organization's ability to systematically create and capture "blue oceans" - exploring new market areas. The methodology and algorithm for applying this strategy in practice in modern conditions are clearly described: "As the need to create blue oceans increases, several driving forces are hidden. Technological development has significantly increased production productivity, which allows suppliers to produce unprecedented volumes of products and services. Thus, supply is increasingly exceeding demand in various industries. The situation is complicated by globalization trends. As trade barriers are being erased between countries and regions, and information about products and prices is spreading around the world, niche markets and monopolies are constantly disappearing [9, p. 19]".

The Blue Ocean Strategy is a simultaneous pursuit of differentiation and low cost in order to open up new market space and create new demand. This can be achieved by creating a "value innovation". It is created through a series of strategic moves resulting in a product or service substantially different from any other offering. These strategic moves also function to lower costs to the producer of the product or service, creating value for both the buyer, the company, and its employees, thus, opening up new and uncontested market space. The goal of value innovation is not to compete, but to make the competition irrelevant by changing the playing field of strategy.

According to experts, the tool "blue ocean" can be used in all industries from typical consumer goods to B2B. Kim Chan offers an alternative approach to the existing strategic planning process, based not on drawing up a spreadsheet document, but on drawing a strategic canvas [8].

Aithal, P. S. describes that blue ocean strategy supports to create uncontested market space, make the competition irrelevant, create and capture new demand, break the value/cost trade-off, align the whole system of a company's activities in pursuit of differentiation and low cost [9].

Highlight of the earlier unresolved parts of the general problem. Aim of the study.

The turbulence of the modern macroenvironment, which is observed in the XXI century, generates many new challenges for business management. In the scientific literature, the term "VUCA environment" is increasingly used, which is associated with instability, uncertainty, complexity and ambiguity of the environment in which organizations operate. Under such conditions, the need to introduce new management tools and, accordingly, "VUCA solutions" into the activities of organizations becomes relevant.

The turbulence of the macroenvironment is exacerbated by new modern challenges - the quarantine crisis. The introduction of quarantine in the first quarter of 2020 in many countries caused the beginning of the global financial and economic crisis. The main feature of the quarantine crisis is that people are sitting at home, and many institutions are forcibly closed. Therefore, all costs associated with moving and contacting people are minimized. The enterprises that provide entertainment services to the population are especially affected by the crisis. Obviously, the crisis will consist of two stages: quarantine and typical, which will begin after the end of quarantine. Each of them can be expected to fall in

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

consumption, investment, exports and possibly budget expenditures – traditional components of aggregate demand.

During the last 10 years before the pandemic caused by COVID-19, the cinema market of Ukraine was actively developing due to the opening of multi-screen cinemas. As today the cinema market has rather features of oligopoly, the issue of development of state, municipal and separate private cinemas which are not competitive is actualized. The problems of low efficiency of economic activity of such cinemas are caused not only by the lack of modern technologies that provide quality demonstration of the film product, but also due to internal factors, primarily low level of management.

Prior to the quarantine crisis, there was a constant dynamics of the industry, which manifested itself in the emergence of newer technologies, increasing the efficiency of individual cinema networks and expansion of markets. Today in world practice one of the generally accepted approaches to ensuring the efficiency and competitiveness of management enterprises in the long run in an unstable aggressive market environment advocates strategic management. Lack of specific guidelines, mission and target development of domestic state and municipal cinemas, as well as the ability to recognize the influence of its external environment and the correct reaction to it. This complicates the ability to adapt or actively influence the environment, creates in today's conditions, the situation is that most cinemas are closed.

In this regard, there is a need for detailed study and analysis of foreign experience in cinema management methods, the formation of strategic management with in order to adapt it to modern conditions of leading domestic networks. Among the modern management approaches proposed by scientists at the beginning of the XXI century, there is a strategy of "blue oceans ". This tool allows managers to respond quickly to market changes and generate new creative solutions. It is a well-developed development strategy and its effective implementation is the key to the success of Ukrainian cinemas.

The purpose of the article is to form recommendations on the use of the blue ocean strategy by domestic cinema networks as a tool to achieve their strategic success.

Materials and methods

The VUCA world has replaced the SPOD world. SPOD is an acronym in the first letters of the following words: Steady, Predictable, Ordinary, Definite [10]. In the SPOD world, SPOD strategies were used, and by effectively selecting a strategy from the arsenal, the most correct goal was achieved with a high level of efficiency under certain conditions.

Neither an organization's leadership nor its strategies are spared in today's VUCA world. Experiences, dogmas and paradigms must all come under scrutiny; it is no longer a case of finding the one way or the management tool: standards give way to individuality. The increase in volatility, uncertainty, complexity, and ambiguity means that managers must seek new orientations and take a fresh approach to management. Only then managers can guarantee positive results in changed circumstances.

Rapid changes taking place in political, economic, social and technological fronts are making the organizational world increasingly VUCA. Critical factors for success in this world depend on practicing: sound business fundamentals; innovation; fast-paced response; flexibility; change management; managing diversity – at both local and global level; market intelligence; and strong collaboration with all relevant stakeholders – employees, customers, suppliers, shareholders and the broader society [11]. Leaders leading Millennials face challenges with specific textures: convergence of traits, processes and outcomes with a leadership enriched by schools and theories immersed in a VUCA world where resiliency is a scarce commodity. Raising, building, taking advantage of the dynamism that each individual possesses, educating from the positive and toward the positive, is a benefit of a "Cloud Leader" in a VUCA world where Millennials have a strong presence [12].

The VUCA world challenges managers to find their own way, in particular through the construction of the "blue ocean". The "Blue Ocean" is all industries that do not exist now, an unknown market space that is free from competition. Here, demand is created and not the subject of a fierce struggle [8]. Formation and implementation of the "blue ocean" strategy should be the main task of strategic management of the organization, which involves the choice of strategic conception and implementation according to its strategic planning, focused on a new market niche. Blue Company offers a unique product or service, using a large number of growth opportunities that are both profitable and fast. There are two ways to create "blue oceans" [13]:

1) creation of a completely new industry;

2) creation of "blue space" inside the "red ocean"

With the SPOD environment, key strategic thinking efforts have been made to compete with the Red Ocean strategy - when the market is pre-determined and businesses have to compete within the established framework. The main indicator of a "red" environment is a fierce competition, and the higher it is, the lower the potential profit and higher costs [4]. The Blue Ocean Strategy assumes that you do not need to beat the competition. Value innovation is created instead. Compared to simple innovations, which are usually accompanied by high costs and no guarantees that the updated product or service will be in demand among consumers, "value innovation" indicates the need for a synthesis of novelty, practicality and low costs. The potential value created by a new product or service provided by a firm is determined by the difference between its (monetary) benefit, in view of the firm's customers, and the production cost of the unit of production for the firm. How much this potential value can be used as a market opportunity depends on the firm's success in gaining competitive advantage over other firms in the market.

To gain a competitive edge, a firm must outperform its competitors in value creation [14]. Analyzing the state

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

of ukrainian competition, we can see that the main focus of ukrainian cinema networks is mainly on one of the three existing value innovations for the consumer. The key to the success of the "Blue Ocean" strategy is the combination of these three components. But not always using one of the three possible values provides the company with the expected results. The question arises as to how such a management system is capable of providing businesses with increased chances of survival, commercial success and sustainable development.

The effectiveness of implementing the "Blue Oceans" strategy is explained by Maslow's hierarchy of needs [15]: physiological - fully provided in developed countries, and are not a priority in the emergence of this concept; security needs - depending on the person's environment, environment, or social factors that may appear suddenly; cognitive needs - in fact, they are predetermined by a new market orientation in marketing, because today people are interested in learning something new through the glut of monochrome products and services; the needs for love, aesthetics, social community, respect, self-realization, creativity, transfer of experience to generations are not priorities. In these circumstances, it is advisable to consider several behaviors: firstly, to focus all efforts on the secondary consumer properties of the service, transforming them into a new "added value"; secondly, to meet the needs of consumers with a more successful technology that will be unmatched and create a new market space. The implementation of the "Blue Ocean" strategy creates the significant economic and cognitive barriers that prevent other competitors from repeating the same path for at least the next 5-10 years. This is due to the fact that imitation requires them to radically change the entire system of their activities, and organizational policy in general can prevent a potential competitor to switch to another business model, which is determined by the strategy of the "blue ocean".

The following research methods became the methodological basis of the research: methods of analysis and synthesis, systemic, structural method - to study the theoretical foundations of the implementation of the blue ocean strategy for the development of cinemas in an unstable environment; graphic modeling - to display the results of the study. The information base of the study was scientific works of Ukrainian and foreign economists, which highlighted the basics of enterprise strategy development and evaluations of its effectiveness, as well as official electronic sources of statistical data.

Study results and their discussion

The main tool for the diagnosis and construction of the "blue ocean" strategy is a strategic outline, which reflects the current state of affairs in a known market space [8]. Strategy canvas is both a tool to diagnose and build an exciting "blue ocean" strategy. It has two tasks. Firstly, it reflects the current state of affairs in a known market space. This allows us to understand where the competitors are investing, what are the characteristics of products that are the subject of competition within the industry, which is service, delivery, and what competing offers customers receive in the market [16]. Fig. 1 shows a strategic outline for Ukrainian movie market actors providing movie screening services. Horizontally, there are factors that compete for and where investments in cinema networks go.

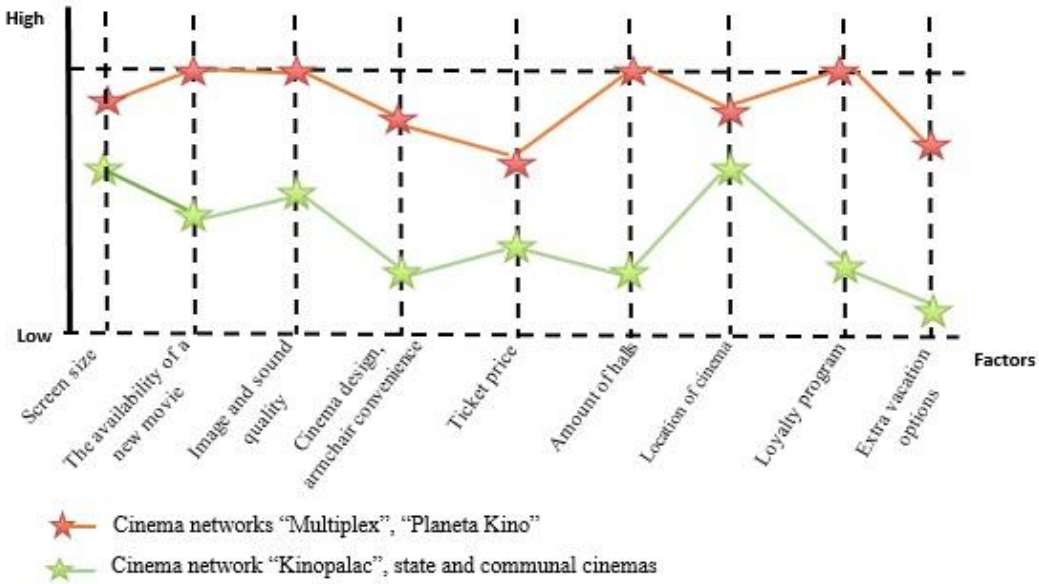


Fig. 1. Strategic canva of Ukrainian cinema networks
** developed by the authors*

In order to determine the direction in which changes should be made to cinema networks, was conducted a test survey of movie theaters using Google Forms. In developing the questionnaire, were aimed at answering the following key questions: Who are the main visitors to cinemas?; What additional services do they wish to receive?; What factors affect them when choosing a movie theater network to visit?. The survey was conducted to

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

improve the service of movie viewers in today's environment. Cinema visitors were offered a questionnaire consisting of 14 closed-ended questions. The survey was attended by 160 respondents. The sample size is 113 people, given that the confidence probability ("accuracy") is 95% and the confidence interval ("error") is 5%.

The survey was conducted from October 23, 2019 to November 24, 2019 via an online survey. As a result of the marketing research, it turned out that the main factors for the choice of cinema for visitors is the affordable price and repertoire.

The factors that underpin the strategies of most cinema networks, such as contemporary interiors, technology and high levels of service, have proven to be the least important for the consumer. Once the key factors have been identified, a new "value curve" for the consumer must be developed, taking into account the following questions: what factors should be eliminated; what factors need to be reduced compared to existing industry standards; what factors need to be raised; what factors you need to create. Ukrainian cinema networks are invited not to address the traditional competition factors and to enhance only those that are relevant to the audience. You need to create a strategic profile that is out of competition. Therefore, according to practical research, ukrainian cinemas are encouraged to focus on individual, consumer-relevant factors such as affordable price and interesting repertoire, which means ease of choice, and refuse to purchase the latest equipment that complicates the choice of cinema visitor. The new strategic canvas offered to Ukrainian film market businesses is shown in fig. 3.

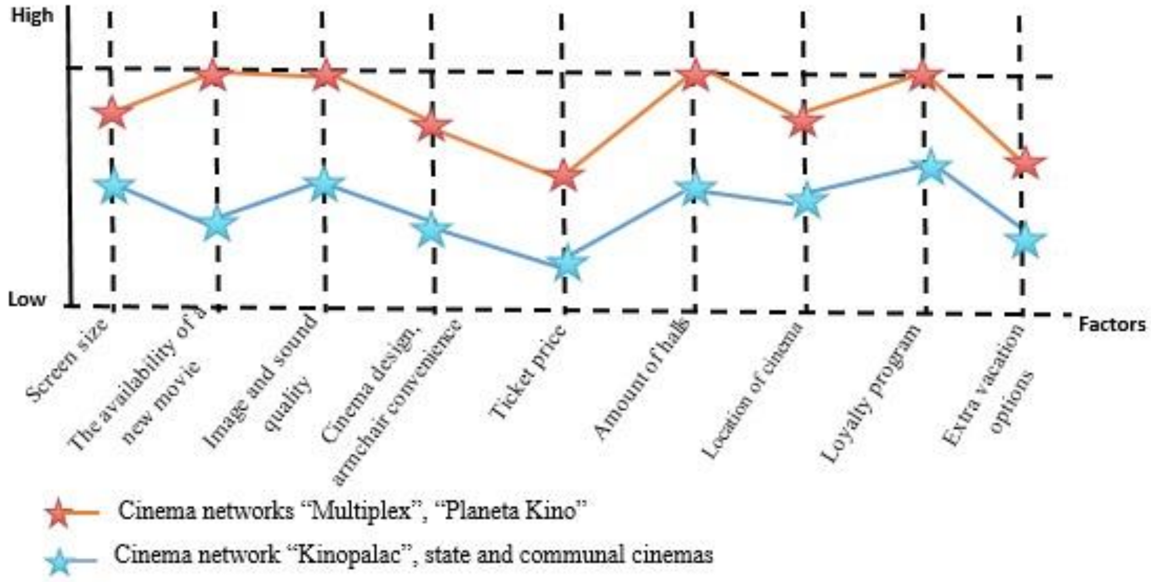


Fig. 3. The updated strategic canva of domestic cinema network
* *developed by the authors*

The Four Actions Framework is based on the ERRC Grid model to create a new value curve. Using this tool, the company can better understand which factor to focus, which to eliminate, which to create and which use to reduce [17]. To change the elements of value for the consumer when working on a new value curve, we will create a model of four actions for cinema networks (fig. 4). In fact, the implementation of the "Four Actions Framework" and the "Strategy Canvas" is complementary to the third alternative strategic tool called "Eliminate-Reduce-RaiseCreate Grid". Through this matrix, the companies try to answer the key questions of the "Four Actions Framework" and draw a new value curve. As it has already been explained, the value curve is related to the focus of the company on certain value creating factors and helps distinguish them from the general profile of the competitors in the industry. The distinction is namely achieved through four steps: eliminate, reduce, enhance and create value. The cost curve also contributes to the creation of company’s mission indicating as basic elements those related to value growth [18].

Another analytical model applicable to SMEs for developing a "Blue Ocean" strategy is the "Six Paths Framework". With its help, the SMEs should be able to examine more closely the alternative businesses (industries), the strategic groups and the customer groups, the proposals for additional products and services, the functional-emotional orientation of the industry and even the temporal development. This will give a clearer view of how businesses can break up market boundaries and find "Blue Oceans" [19].

As shown in fig. 4, in order to eliminate the problems between differentiation and low costs and create a new value curve, it is necessary to answer four main questions concerning the strategic logic and business model inherent in this area: What industry-specific factors should be addressed?; What factors should be significantly reduced compared to typical industry standards?; What factors should be significantly improved compared to typical industry standards?; What factors that have never been proposed in the industry should be created?

The first question makes you realize the need to abandon the factors that have long been the subject of

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

competition in industry. The second question forces us to determine which products or services only complicate the struggle for victory over competitors.

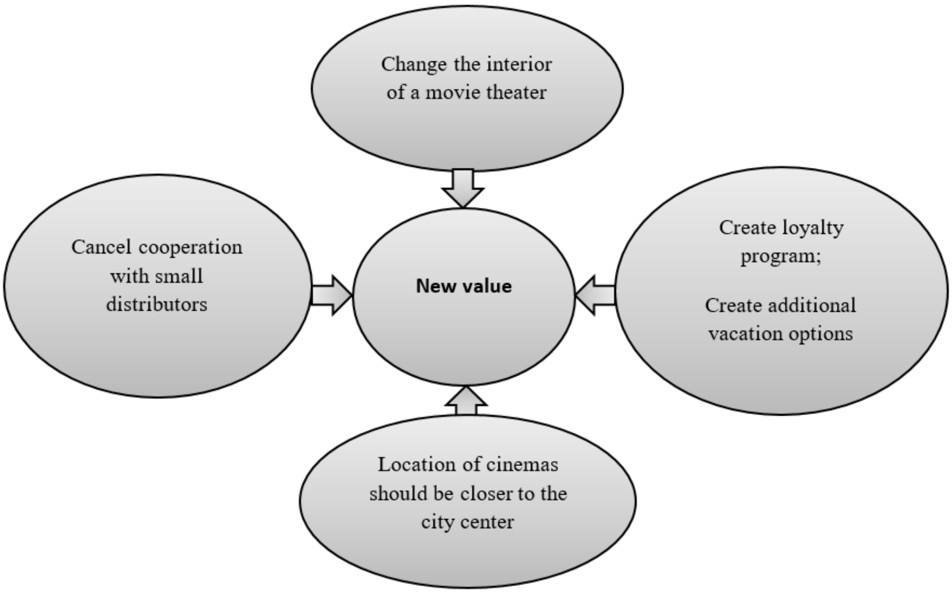


Fig. 4. A four-act model for cinema
** developed by the authors*

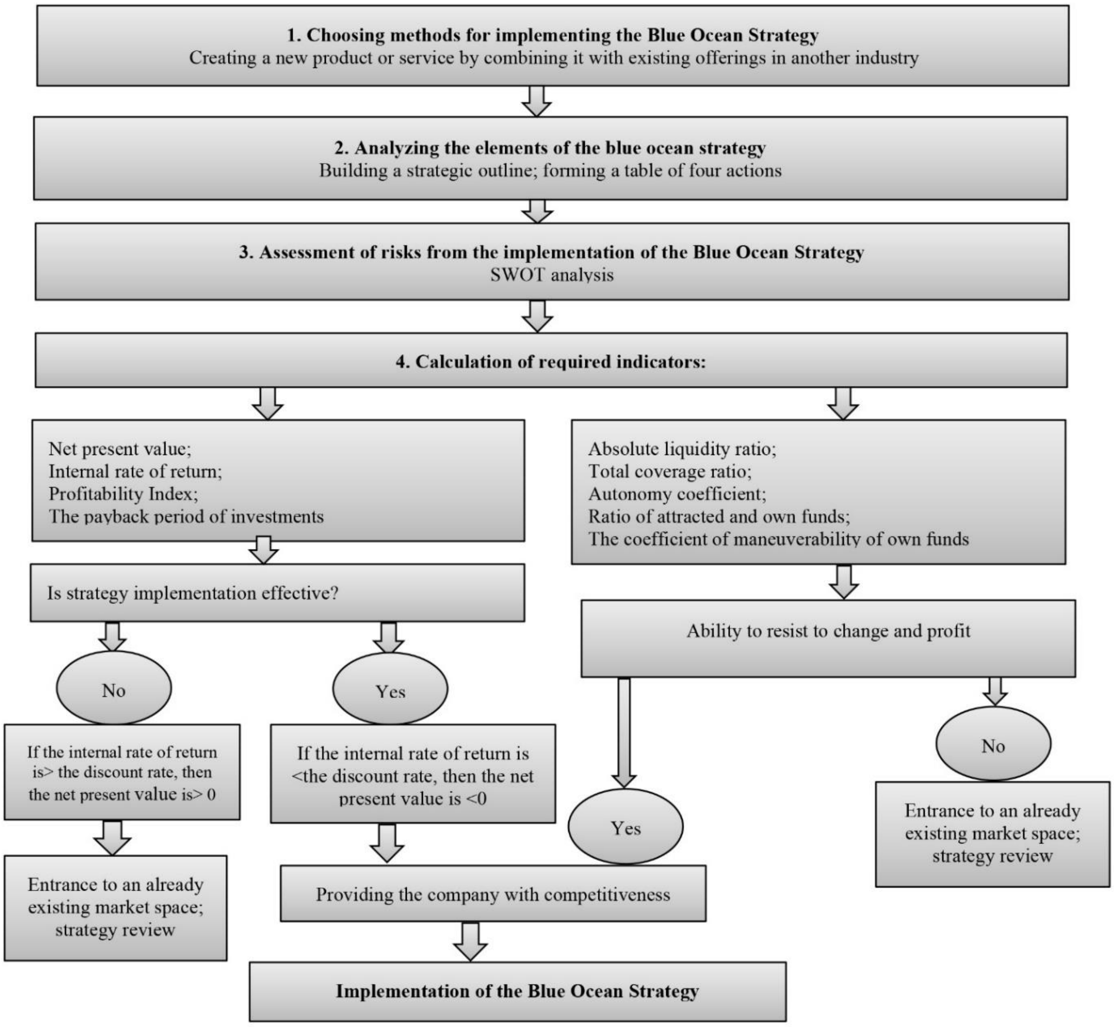


Fig. 5. The decision-making algorithm regarding the expediency of implementing the Blue Ocean strategy
** developed by the authors on the basis of [23-26]*

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

The third question makes us see the trade-offs that the industry is forcing consumers to make and get rid of them. The fourth question helps to identify completely new sources of value for buyers, create new demand and change the system of strategic pricing adopted in the industry [8]. According to the strategy canvas, you can catch the known market competition situation intuitively. This allows you to understand where the competition is investing and which factors are the focuses of this industry currently. The horizontal axis captures the elements in the process of production [20]. Social infrastructure is a collection of industries and businesses that ensure a normal human life. These are social and cultural sites, housing and communal infrastructure, businesses and organizations related to health care systems, education, pre-school education, businesses and organizations involved in recreation and leisure, retail, catering, sports and wellness facilities, etc. [21]. The location and development of social infrastructure is influenced by a large set of factors that, depending on the origin and socio-economic content, form the following groups: economic, demographic, social, urban, natural and climatic and others [22]. The rational location of social infrastructure contributes to improving the socio-economic development of the country.

Benchmarking results of the leading foreign cinemas are summarized in the table 1. The examples in the table show that the "Blue Ocean" strategy is not aimed at limiting the provision of services at higher prices, but at generating new demand by increasing value for the consumer at an affordable price.

Table 1. C*reation of blue oceans by movie theaters / separate foreign cinemas (benchmarking results)*

The name of the cinema	The blue ocean created a new one player or already present in the market?	The driving force the blue ocean was creating new ones technologies or new ones values?	Was there an industry attractive at times creation of blue the ocean?
"Sci-Fi Dine-In" cinema restaurant located in Los Angeles, USA concept: retro cafe and movie theater located at Disney Hollywood Studios, instead of chairs - cars, viewers serve traditional American dishes - burger and milkshake	New	New values *	Attractive
"Cinema City" the cinema contains 26 cinemas, each of which is unique and designed for a specific genre of film.	Present	New values	Attractive
Boat movie theater in Paris the pool is used in the daytime for its intended purpose, and in the evening - as a place for the demonstration of films	New	New values	Attractive
"OLYMPIA" the main idea of this cinema is to create a sense of home comfort by using double beds instead of standard chairs	New	New values	Attractive
"Secret Cinema" the cinema does not simply show the film, but literally immerses the audience in the course of events, for example, by showing " Shawshank Redemption" from the lattice or inviting viewers to take part in the ghost tampering in "Ghost Hunters", all cinema events are known only to the selected circle, have registered on the website Secret Cinema	New	New values	Attractive
"Cinémathèque Française" In addition to the cinema, the world's largest movie archives, which have been storing works since the Lumiere brothers and the birth of cinema, and that are constantly being updated with new tapes, the museum also stores memorabilia from cult films.	Present	New values	Attractive
"Planeta Kino" Cinema bars allow you to buy pop-corn with more than 18 different flavors	Present	New values	Attractive

** The fact that the driving force is new values does not mean the lack of technology. Rather, it means that the technologies involved have previously been applied in this or that industry*

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

As can be seen from the results of the article, the blue ocean strategy is well suited for use by cinema networks. It is advisable to highlight its main advantages or the key benefits and rules of applying the "Blue Ocean" strategy:

1) move away from competition, creating new value for customers;

2) searching for the "blue ocean", it is necessary to carry out in detail the analysis of all players of the industry, knowing their main strategic priorities and building their business completely different from their priorities;

3) take the best of each sector in the market and minimize unnecessary;

4) the strategy developed must have a focus on something specific, centered and to which maximum efforts are made, which already entail everything else;

5) successful implementation of the strategy is possible only when it is understood, when everything is as transparent as possible and everyone knows where the enterprise is going, what its goals are;

6) visualization of the strategy, so that at any given time it is possible to compare whether resources are properly spent. You can use the strategic outline curve;

7) large volumes resulting from value innovation lead to the rapid cost reductions;

8) creating value innovation ensures the high profile of your brand.

It is advisable to suggest the following ideas for the realization of the "blue oceans" by the ukrainian state / communal cinemas:

- "Pet friendly" concept;
- opening a branded restaurant on the territory of the cinema in which to prepare dishes from cult f ilms;
- the possibility of celebrating birthdays;
- reorganization of existing one- and two-room cinemas into thematic ones (translation of films only in the language of the original, black and white films, possibility of choosing a movie by a cinema visitor, "children's cinema", etc.);
- creating your own online cinema on a personal site;
- opening of a cinema-hostel.

Conclusion and perspectives of further development

The main idea of the article was to determine the feasibility of applying the blue ocean strategy by Ukrainian cinema networks. The film distribution industry is exactly the place where you should show creativity, intuition, as well as use and analytical tools, one of which is the blue ocean strategy. Applying a blue ocean strategy will allow cinemas to generate new ideas that neither consumers nor marketers can offer research. The application of these concepts requires the avoidance of standard and habitual thinking, forcing a change in logic.

The developed concepts of the blue ocean strategy will help ukrainian state cinema networks to reach a new level and be able to compete with large private cinemas. After all, they need the greatest help from outside experts, as the film distribution industry is quite young in Ukraine, and the number of relevant publications is very limited.

Choosing a strategy based on the identification and strengthening of the key factors of competition in accordance with the selected stages of this process will allow ukrainian cinemas to increase the efficiency of the activity and thus to ensure a high level of competitiveness in the future. The focus of further research is to substantiate the ability to sustain and update the "blue ocean" strategy in a VUCA world. The authors of the "Blue Ocean" strategy argue for the achievement of "cloudless market space", but the practice shows that it is equally important to preserve it, since creating a new niche with established profitable business will attract new competitors. So, that will turn the "blue oceans" into "reds". Therefore, the subject of further research will be the methodology of building relationships with the target audience so that, according to Robert Klein's statement, that is "to be with your customers on the same wave ... and be with them on the equal footing".

References

1. Anastasieva, O. (2020), "Monopoly on cinema: film distributors and government agencies discussed the development of the film distribution market" ["Monopoliia na kino: kinoprokatnyky ta derzhavni orhany obhovoryly rozvytok kinoprokatnoho rynku"], available at: https://detector.media/rinok/article/138158/2018-06-04-monopoliya-na-kino-kinoprokatniki-ta-derzhavni-organi-obgovorili-rozvitok-kinoprokatnogo-rinku/from 04/25/2020 (last accessed 25.10.2020)
2. Mintzberg, H. (1994), The rise and fall of strategic planning: reconceiving roles for planning, plans, planners, New York, Free Press, 458 p.
3. Blommaert, T., Stefan van den Broek (2017), *Management in Singularity: from Linear to Exponential Management*, Vakmedianet Management B. V., 174 p.
4. Roberts, K. (2016), *64 Shots: Leadership in a Crazy World*, PowerHouse Books, 240 p.
5. Horney, N., Pasmore, B., O'Shea, T. (2010), "Leadership agility: A business imperative for a VUCA world", *Human Resource Planning*, Vol. 33, No. 4, P. 34–42.
6. Bennett, N. G., James Lemoine (2014), "What a difference a word makes: Understanding threats to performance in a VUCA world", *Business Horizons*, Vol. 57, Issue 3, P. 311–317. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bushor.2014.01.001
7. Petrie, N. (2011), "Future Trends in Leadership Development", *Center for Creative Leadership white paper*, Vol. 5, No. 5, P. 36.
8. Kim, W. C., Mauborgne, R. (2015), *Blue ocean strategy: how to create uncontested market space and make the competition irrelevant*, Boston, Massachusetts : Harvard Business Review Press, 287 p.
9. Aithal, P. S. (2016), "The concept of ideal strategy and its realization using white ocean mixed strategy", *International Journal of Management Sciences and Business Research*, Vol. 5, No. 4, P. 171–179.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

10. Sarkar, A. (2016), "We live in a VUCA World: the importance of responsible leadership", *Development and Learning in Organizations: An International Journal*, Vol. 30 Issue 3, P. 9–12.
11. "The World of VUCA" ["Mir VUCA"], available at: http://becmology.blogspot.com/2016/03/vuca.html (last accessed 26.10.2020)
12. Rodriguez, A., Rodriguez, Y. (2015), "Metaphors for today's leadership: VUCA world, millennial and "Cloud Leaders", *Journal of Management Development*, Vol. 34, No. 7, P. 854–866. DOI: https://doi.org/10.1108/JMD-09-2013-0110
13. Solovyova, T. V. (2014), "The Blue Ocean strategy as a new form of market relations" ["Stratehiia blakytnoho okeanu yak nova forma rynkovykh vidnosyn"], *Magisterium*, Vol. 56: Economic Studies, P. 102–105.
14. Raith, M. G., Staak, T., & Wilker, H. M. (2008), "A decision-analytic approach to blue-ocean strategy development", *Operations Research Proceedings*, P. 225–229. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-77903-2_35
15. Kuzmin, O. E., Melnyk, O. G. (2003), Theoretical and applied principles of management [Teoretychni ta prykladni zasady menedzhmentu], Intellect-West, 352 p.
16. Kim, W. C., Mauborgne, R. (2005), "Blue Ocean Strategy: From theory to practice", *California management review*, Vol. 47, No. 3, P. 110.
17. "What is Blue Ocean Strategy?", available at: http://guides.wsj.com/management/strategy/what-is-blue-ocean-strategy/ (last accessed 26.10.2020)
18. Sammut-Bonnici, T., Mi, J. (2015), "Blue Ocean Strategy", *Wiley Encyclopedia of Management*, Vol. 12. DOI: https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom120024
19. Papazov, E., Mihaylova, L. (2016), "Using Key "Blue Ocean" Tools for Strategy Rethinking of a SME: A Case from the Bulgarian Knitwear Industry", *Economics and Business*, No. 29(1), P. 104–110. DOI: https://doi.org/10.1515/eb-2016-0028
20. Lv, Y. (2017), "The business model study on red collar group: based on the perspective of blue ocean strategy", *Chinese Studies*, No. 6 (2), P. 123–131. DOI: https://doi.org/10.4236/chnstd.2017.62011
21. Pigul, N. G. (2014), "Social Infrastructure: Functional Purpose and Development Features" ["Sotsialna infrastruktura: funktsionalne pryznachennia ta osoblyvosti rozvytku"], *Publishing and Printing Center of Ternopil National Economic University "Economic Thought"*, Vol. 16, No. 1, P. 117–122.
22. Osman, H. (2016), "Coordination of urban infrastructure reconstruction projects", *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 12, No. 1, P. 108–121.
23. Agnihotri, A. (2016), "Extending boundaries of blue ocean strategy", *Journal of Strategic Marketing*, Vol. 24, No. 6, P. 519–528. DOI: https://doi.org/10.1080/0965254X.2015.1069882
24. Borgianni, Y., Cascini, G., Rotini, F. (2012), "Investigating the Patterns of Value-Oriented Innovations in Blue Ocean Strategy", *International Journal of Innovation Science*, Vol. 4, No. 3, P. 123–142. DOI: https://doi.org/10.1260/1757-2223.4.3.123
25. Nyambane, G. O. (2012), "Challenges in the Implementation of Blue Ocean Strategies in Large Indigenous Banks in Kenya", *School of Business University of Nairobi*.
26. Kochkina, N., Medvedeva, I. (2015), "Assessment of the effectiveness of the Blue Ocean strategy for Ukraine's wine industry"["Otsinka efektyvnosti stratehii "blakytnoho okeanu" dlia ukrainskoi vynorobnoi haluzi"], *Bulletin of the Kiev National University, Series: Economics*, Vol. 8, No. 173, P. 25–31.

Received 26.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шеремета Божена Орестівна – аспірант, Національний університет "Львівська політехніка", асистент кафедри менеджменту організацій, Львів, Україна; email: bozhena.o.sheremeta@lpnu.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8596-409X.

Шеремета Божена Орестовна – аспирант, Национальный университет "Львовская политехника", ассистент кафедры менеджмента организаций, Львов, Украина.

Sheremeta Bozhena – Postgraduate Student (Management), Lviv Polytechnic National University, Assistant Professor of the Department of Organizational Management, Lviv, Ukraine.

Чухрай Наталія Іванівна – доктор економічних наук., професор, Національний університет "Львівська політехніка", проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків, професор кафедри менеджменту організацій, Львів, Україна; email: natalia.i.chuhraj@lpnu.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2129-3143.

Чухрай Наталья Ивановна – доктор экономических наук, профессор, Национальный университет "Львовская политехника", проректор по научно-педагогической работе и международным связям, профессор кафедры менеджмента организаций, Львов, Украина.

Chukhrai Natalia – Doctor of Sciences (Economics), Professor, Lviv Polytechnic National University, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work and International Relations, Professor of the Department of Organizational Management, Lviv, Ukraine.

ВИКОРИСТАННЯ СТРАТЕГІЇ "БЛАКИТНОГО ОКЕАНУ" УКРАЇНСЬКИМИ КІНОМЕРЕЖАМИ У НЕВИЗНАЧЕНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Предметом статті є – український ринок кінопрокату. У сучасному світі ринок прокату фільмів – це сектор економіки, який останнім часом демонструє тенденцію стабільного зростання. Цей процес у більшості європейських країн пов'язаний із впровадженням новітніх технологій цифрового кіно, підвищенням рівня багатства населення та високою популярністю багатоекранних кінотеатрів. Кінопрокат є механізмом підтримки розвитку, просування національного кіно, однією з основних форм дозвілля та міжкультурного діалогу. **Мета** статті – визначити доцільність застосування стратегії "блакитного океану" українськими кіномережами для підтримки тенденції динамічного розвитку галузі. Адже ефективною концепцією управління в невизначених умовах може бути стратегія "блакитного океану", принципи якої розглянуті в статті на прикладі учасників ринку кінотеатрів України. Основними **завданнями** статті є: побудова нового стратегічного полотна для державних кінотеатрів України; пошук нового значення для відвідувачів кінотеатрів; аналіз зовнішнього ринку кінотеатрів. Методи, що використовуються: методи аналізу та синтезу, системний, структурний метод. У статті були узагальнені підходи до вибору методології стратегічного управління підприємством з урахуванням сучасних проблем економічних змін у світі. Отримані наступні **результати** – розроблено напрямки та можливості застосування стратегії "блакитного океану" українськими кіномережами як інструменту стратегічного успіху в галузі кіно; у статті пропонується новий стратегічний план кіномереж України на основі опитування 160 глядачів кінотеатрів; розроблено стратегічний план державного та муніципальних кінотеатрів на основі оновленої моделі чотирьох дій; проведено бенчмаркінг провідних світових кінотеатрів, на основі якого сформовані практичні рекомендації щодо розвитку українських кінотеатрів різних форм власності; були представлені пропозиції щодо створення "блакитного океану" для компаній, що займаються наданням послуг з демонстраційної кінопродукції в Україні. **Висновок**: дослідження використання стратегії "блакитного океану" показали, що цей процес неможливий без створення нової цінності для споживача.

Ключові слова: стратегія блакитного океану; ринок кінопрокату; додана вартість; стратегічна канва; модель чотирьох дій; порівняльний аналіз; управління кінотеатром; конкуренція.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ГОЛУБОГО ОКЕАНА УКРАИНСКИМИ КИНОСЕТЯМИ В НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ

Предмет статьи - украинский кинопрокат. В современном мире рынок проката фильмов – это сектор экономики, который в последнее время демонстрирует тенденцию стабильного роста. Этот процесс в большинстве европейских стран связан с внедрением новейших технологий цифрового кино, повышением уровня благосостояния населения и высокой популярностью многоэкранных кинотеатров. Кинопрокат – это механизм поддержки развития, популяризации отечественного кино, одна из основных форм досуга и межкультурного диалога. **Цель** статьи – определить возможность применения украинскими киносетями стратегии голубого океана для поддержки тенденции динамичного развития отрасли. Ведь эффективной концепцией управления в неопределенных условиях может быть стратегия "голубого океана", принципы которой рассмотрены в статье на примере участников рынка кинотеатров Украины. В статье решены следующие **задачи**: построение нового стратегического полотна для государственных кинотеатров Украины; поиск новой ценности для посетителей кинотеатра; анализ зарубежного рынка кинотеатров. Использованы следующие **методы**: методы анализа и синтеза, системный, структурный метод. В статье были обобщены подходы к выбору методологии стратегического управления предприятием с учетом современных вызовов экономических изменений в мире. Получены следующие **результаты** – разработаны направления и возможности применения стратегии "голубого океана" украинскими киносетями как инструмента стратегического успеха в сфере кино; в статье предлагается новый стратегический план киносетей Украины на основе опроса 160 посетителей кинотеатров; разработан стратегический план государственных и муниципальных кинотеатров, основанный на обновленной модели из четырех действий; проведен бенчмаркинг ведущих кинотеатров мира, на основе которого сформированы практические рекомендации по развитию украинских кинотеатров различных форм собственности; представлены предложения по созданию "голубого океана" для компаний, занимающихся оказанием услуг по демонстрации кинопродукции в Украине. **Вывод**: исследования использования стратегии "Голубой океан" показали, что этот процесс невозможен без создания новой ценности для потребителя.

Ключевые слова: стратегия голубого океана; рынок кинопроката; добавленная стоимость; стратегическая канва; модель четырех действий; сравнительный анализ; менеджмент кинотеатра; конкуренция.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Шеремета Б. О., Чухрай Н. І. Використання стратегії "блакитного океану" українськими кіномережами у невизначеному середовищі. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 137–146. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.137

Sheremeta, B., Chukhrai, N. (2020), "Using the blue ocean strategy by Ukrainian cinema networks in uncertain environment", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 137–146. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.137

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) *ISSN 2524-2296 (online)*

УДК 629.735 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.147

С. І. Владов, Я. С. Долударєва, А. С. Сіора, А. В. Пономаренко, А. А. Яніцький

НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ ОБЧИСЛЮВАЧ ЗАДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ВТРАЧЕНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗІ ШТАТНИХ ДАТЧИКІВ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117

Предметом дослідження в статті є авіаційний двигун ТВ3-117 та методи контролю і діагностики його технічного стану. **Мета** роботи – розробка нейромережевого обчислювача задля відновлення втраченої інформації зі штатних датчиків бортової системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в режимі реального часу. В статті вирішуються наступні **завдання**: відновлення втраченої інформації автоасоціативною нейронною мережею при одиночній відмові датчика, відновлення втраченої інформації "оптимальною" автоасоціативною нейронною мережею у разі одиночних відмов датчиків бортової системи контролю і діагностики, відновлення втраченої інформації автоасоціативною нейронною мережею і бортовою системою контролю і діагностики з датчика реєстрації температури газів перед турбіною компресора у разі його відмови. Використовуються такі методи: методи теорії ймовірностей і математичної статистики, методи нейроінформатики, методи теорії інформаційних систем та обробки даних. Отримано наступні **результати**: Розв’язано актуальну задачу відновлення втраченої інформації зі штатних датчиків в режимі реального часу. Досліджено різні архітектури обчислювачів і алгоритми відновлення. Пропонується інженерна процедура відновлення втраченої інформації з використанням нейрообчислювача. У результаті використання нейрообчислювача забезпечено ефективне і якісне відновлення інформації зі штатних датчиків в умовах бортової системи контролю і діагностики авіаційного двигуна ТВ3-117. **Висновки**: Використання автоасоціативної нейронної мережі у бортовій системі контролю і діагностики для відновлення інформації дозволяє забезпечити відмовостійкість вимірювальних каналів систем управління, зокрема авіаційного двигуна ТВ3-117. Основною перевагою використання нейронних мереж у рамках бортової системи контролю і діагностики є можливість навчання і донавчання у режимі реального часу з урахуванням індивідуальних характеристик конкретного двигуна. Відновлення інформації при відмові датчиків за допомогою автоасоціативної нейронної мережі забезпечує похибку відновлення даних не більше 0,45 % у разі одиночних відмов і не більше 0,6 % у разі подвійних відмов. При цьому час одного циклу відновлення даних становить 1589,544 нс для обчислювача Raspberry Pi NanoPi M1 Plus і 196,246 нс – для спеціалізованого нейропроцесора Intel Neural Compute Stick 2, що задовольняє вимогам бортової реалізації у складі бортової системи контролю і діагностики.

Ключові слова: авіаційний двигун; автоасоціативна нейронна мережа; відновлення; датчик.

Вступ

У процесі управління експлуатацією складного технічного об’єкта здійснюється безперервний контроль і діагностика його параметрів з метою прийняття рішення про його фактичний стан. У процесі польоту вертольоту блок синхронізації даних здійснює безперервний запис і аналіз множини параметрів, що характеризують динаміку силової установки літального апарату (СУЛА) і близько двохсот дискретних параметрів. За годину польоту в бортову базу даних (БД) записується більше 3500 параметрів. У цих умовах суттєвого значення має надійність контрольно-вимірювальної апаратури, особливо датчиків, відмови яких у системі управління авіаційним двигуном [1], наприклад, двигуном ТВ3-117 у складі силової установки вертольоту Мі-8МТВ, призводять до тяжких наслідків, оскільки це пов’язано із достроковим завершенням польотного завдання або з передчасним зняттям двигуна з борту літального апарату. Відомо, що 15…20 % відмов авіаційних двигунів асоціюється з відмовою датчиків.

Вихід з ладу датчика в одному з вимірювальних каналів – найбільш важка відмова, що може носити короткочасний або тривалий характер, наприклад, відмова датчика частоти обертання може призвести до видачі помилкового сигналу регулятору частоти обертання на підвищення витрати палива (паливний насос – дозувальна голка) [1] до камери згоряння двигуна, а це, у свою чергу, – до її руйнування (прогару стінок камери згоряння) або термічного руйнування лопатей турбіни.

Тому бортова система контролю і діагностики (БСКД) технічного авіаційного двигуна ТВ3-117 повинна мати високу стійкість до відмов, що забезпечується у процесі виконання операцій: виявлення стану відмови; локалізація відмови; відновлення працездатності.

Виявлення відмови системи контролю і діагностики технічного авіаційного двигуна ТВ3-117 здійснюється на основі вимоги максимальної швидкодії. Тому при розробці таких систем одним з питань є аналіз виміряних з двигуна даних.

Аналіз існуючих джерел та постановка задачі досліджень

Розв’язання даної задачі безпосередньо пов’язане з виявленням відмов датчиків і відновленням утраченої інформації з них на основі використання нейромережевих методів та інженерної методики, що реалізує таку послідовність кроків: статистична обробка даних (етап попередньої обробки); вибір архітектури нейронної мережі (НМ); вибір її структури; вибір алгоритму навчання НМ; навчання НМ; тестування НМ; ефективності роботи НМ.

Одним з нейромережевих методів розв’язання задачі відновлення втраченої інформації є використання НМ як математичної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117, отриманої в процесі ідентифікації характеристик авіаційного двигуна.

У [2–6] констатується можливість відновлення

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

втраченої інформації з датчиків авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), але разом з тим відсутня методика, на основі якої здійснюється відновлення втрачених даних. У [7] була запропонована методика і створено програмне забезпечення для процесу відновлення втраченої інформації з датчиків ГТД у складі бортової системи його контролю і діагностики.

Отже, аналіз сучасних бортових систем показує, що спектр задач, що вирішуються ними, безперервно зростає. Це пояснюється постійним вдосконаленням авіаційного двигуна і, як наслідок, виконуваних ним функцій, а також відповідним збільшенням числа контрольованих і діагностованих параметрів на борту повітряного судна [8]. Однак, разом з тим, при великому різноманітті виконуваних задач, існують певні складності:

- обмежені обчислювальні ресурси (обсяг оперативної пам’яті, швидкодія, точність отриманих результатів);
- труднощі формалізації класичних алгоритмів контролю та діагностики і, як наслідок, їх практичної реалізації;
- необхідність реалізації перерахованих вище алгоритмів на мові низького рівня (асемблер);
- труднощі відновлення інформації при відмові датчиків.

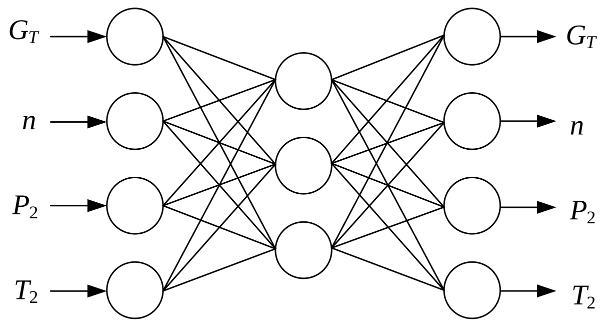
Розробка автоасоціативної нейронної мережі

Однією з ключових задач, що розв’язуються на борту літального апарату, є виявлення параметричних відмов датчиків (деградації їх характеристик). У цьому випадку може, як правило, використовуватися метод мажоритарного контролю [9]. Сутність методу мажоритарного контролю полягає в тому, що якщо серед датчиків один з них має характеристику, відмінну від еталонної, то введення додаткового каналу вимірювання у вигляді математичної моделі дозволяє обчислювати середнє значення даного виміру (медіану) і тим самим відновлювати втрачену з датчика інформацію. Розв’язок задачі відновлення інформації з використанням нейромережевої моделі двигуна декомпозується на дві підзадачі: задача ідентифікації математичної моделі, задача відновлення інформації. Розв’язання задачі відновлення інформації із використанням нейромережевих технологій за допомогою методу мажоританого контролю наведено у [8–10].

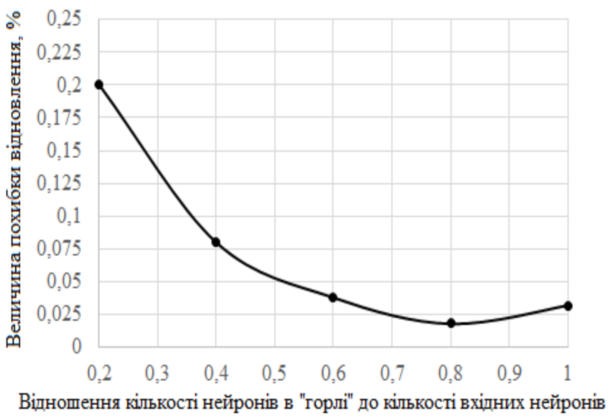
Іншим альтернативним підходом до відновлення інформації є використання для цих цілей автоасоціативної нейронної мережі (АНМ), що володіє властивістю стиску і подальшого відновлення інформації. Відомі роботи [2, 11], в яких показана можливість використання АНМ для відновлення виміряної інформації за термогазодинамічними параметрами ГТД. Разом з тим в цих роботах відсутні методики їх побудови та рекомендації щодо вибору структури і алгоритмів навчання АНМ.

На рис. 1, а приведена архітектура АНМ [10], що складається з трьох шарів. При цьому АНМ здійснює дзеркальне відображення вектору вхідних даних на самого себе. Стиснення інформації здійснюється у прихованому шарі нейронної мережі, званим "горлом", відновлення інформації здійснюється у вихідному шарі. Принципова можливість використання стиснутого відображення складає основу методу головних компонент. Ключовим моментом у виборі структури АНМ є визначення оптимальної кількості нейронів у "горлі".

На рис. 1, б наведено графік залежності помилки відновлення інформації мережею при відмові одного з датчиків (у даному випадку, датчика частоти обертання ротора компресора) від кількості нейронів у горлі АНМ. По осі абсцис на рис. 1, б відкладений відносний розмір горла – відношення кількості нейронів в горлі до кількості вхідних/вихідних нейронів (4 нейрони). Як видно з рис. 1, б, оптимальний розмір горла у даному випадку дорівнює 0,8, тобто кількість нейронів у горлі (прихованому шарі АНМ) по-винна дорівнювати трьом.



а



б

Рис. 1. АНМ: а – архітектура АНМ; б – Графіки залежностей помилки навчання нейронної мережі від числа нейронів прихованого шару [10]

Поряд з питанням вибору структури АНМ, важливим етапом є етап відновлення інформації за результатами функціонування цієї нейронної мережі. У даній роботі використовується підхід, запропонований у [383] і зображений у вигляді функціональної схеми на рис. 2.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

Рис. 2. Функціональна схема відновлення інформації на основі АНМ [10]

Сигнали з датчиків одночасно надходять до стеку і системи допускового контролю, що здійснює контроль виміряних значень з датчиків. Якщо сигнали з датчиків знаходяться в полі допуску, то вони безперешкодно передаються далі в систему управління, яка здійснює управління виконавчими механізмами (ВМ), що впливають на двигун. У разі, якщо будь-якого із сигналів датчиків виходить за поле допуску, то система допускового контролю вилучає останнє значення цього сигналу зі стеку і передає його на відповідний вхід АНМ, яка відновлює інформацію і далі передає її до системи автоматизованого управління (САУ) авіаційним двигуном ТВ3-117.

Результати досліджень

На рис. 3 показаний процес відновлення інформації з датчиків на основі НМ. Остання включається безпосередньо між датчиками Д1...Дn [7] (або в загальному інформаційному каналі) і системою управління авіаційним двигуном ТВ3-117.

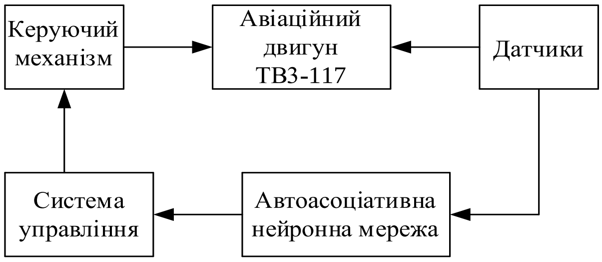


Рис. 3. Функціональна схема управління авіаційним двигуном ТВ3-117 на основі автоасоціативної нейронної мережі (АНС)

Перевагами запропонованої функціональної схеми (рис. 3) є простота її реалізації та прозорість роботи АНМ у складі системи управління. Для обчислення похибки відновлення втраченої з датчиків інформації використовується залежність вигляду:

$$e = \left|\frac{real_{value} - nwa_{value}}{max_{value} - min_{value}}\right| \cdot 100\%; \qquad (1)$$

де $real_{value}$ – реальне значення параметра; nwavalue – відновлене значення параметра; max_{value}, min_{value} – максимальне і мінімальне значення параметра.

Графік відновлення втраченої інформації АНМ при відмові одного з штатних датчиків авіаційного двигуна ТВ3-117: $T_Г^*$ – температури газів перед турбіною компресора (14 здвоєних термопар Т-102) показаний на рис. 2=4, де 1 – значення параметра, 2 – значення параметра за допомогою нейронної мережі, 3 – значення параметра, отриманого з датчика.

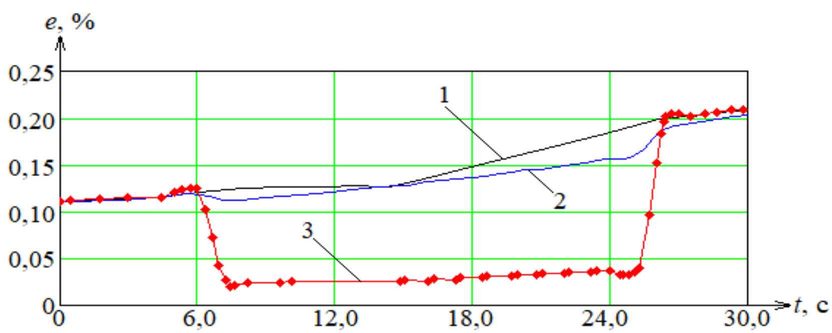


Рис. 4. Відновлення втраченої інформації автоасоціативною нейронною мережею при одиночній відмові датчика температури газів перед турбіною компресора (обриви)

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Недоліком даного підходу є висока похибка відновлення одиночних відмов датчиків БСКД: похибка відновлення значення з датчиків у разі обриву складає 4,5…5,0 %, а при поступовій відмові – до 5,5 %.

Іншим підходом до відновлення втраченої інформації з датчиків БСКД на основі АНМ є використання буфера (стека пам'яті) задля збереження останнього правильного значення з відмовив датчика.

Цей підхід був розглянутий у [4, 7, 12]. На відміну від [2–6] у них розглядається метод визначення оптимального розміру горла АНМ, але була відсутня інженерна методика отримання працюючої АНМ для процесу відновлення втраченої з датчиків БСКД інформації. Дослідження методу головних компонент дозволяє побудувати АНМ оптимальної структури, використання якої для розв'язання даної задачі зменшує похибку відновлення втраченої інформації з датчиків БСКД.

Графік процесу відновлення втраченої інформації з датчиків БСКД "оптимальної" АНМ у разі одиночних відмов датчиків (їх обриві) приведений на рис. 5, де 1 – значення параметра, 2 – значення відновленого сигналу за допомогою нейронної мережі, 3 – значення параметра, отриманого з датчика.

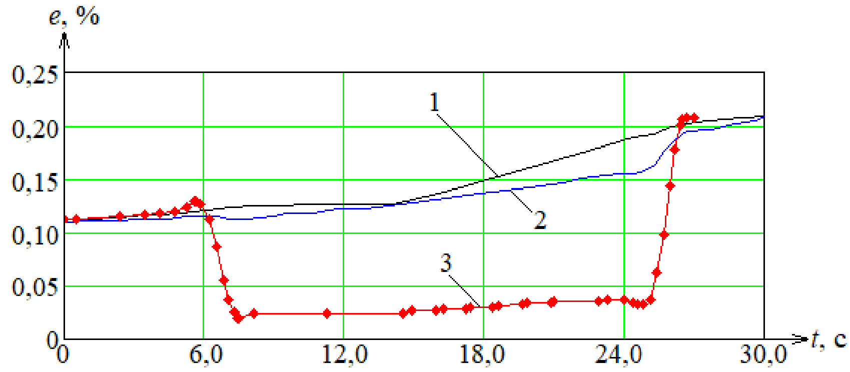


Рис. 5. Відновлення втраченої інформації "оптимальної" АНМ у разі одиночних відмов датчиків БСКД

Експериментальні дослідження з "оптимальною" АНМ свідчать, що похибка відновлення нею втраченої інформації з датчиків БСКД у разі одиночних відмов становить 1,5…2,0 %, а при їх поступових відмовах – не перевищує 2,5 %. Подальше зменшення похибки відновлення втраченої з датчиків БСКД інформації здійснюється на основі використання логіки виявлення відмов, що ідентифікує відмову та ізолює датчик, який відмовив.

Для підвищення ефективності та зменшення похибки відновлення втраченої інформації пропонується таке вдосконалення існуючих раніше підходів:

- запис даних вимірювань до буферу (стек-пам'яті) здійснюється безперервно: якщо датчик справний, то записується показання зі справного датчика, в іншому випадку – його відновлене значення;

- при виявленні відмови датчика нейронна мережа функціонує відповідно до такої послідовності кроків:

1 Отримати вихідні дані з датчиків (замість параметра відмовив датчика його попереднє значення з буфера), задати максимальну кількість обчислень d, і вже проведених обчислень $q = 0$.

2 Обчислити в емуляторі виходи нейронної мережі і збільшити параметр q на 1 ($q = q + 1$).

3 Записати вихідні дані з датчиків (замість параметра датчика, що відмовив, його попереднє значення з виходу АНМ).

4 Якщо $q < d$, то перейти до кроку 1;

5 Інакше завершити обчислення і видати результат системі управління зі збереженням відновленого значення в буфер.

6 Використовувати додаткову нейронну мережу для діагностики (НМД) параметрів авіаційного двигуна ТВ3-117 (в якості діагностичної нейронної мережі використовується персептрон з одним прихованим шаром) [13, 14].

Удосконалена функціональна схема відновлення втраченої інформації з датчиків БСКД показана на рис. 6, де суцільною лінією наведені канали передачі даних, а пунктирною – сигнали відповідних команд управління.

Так, якщо системою контролю в штатному режимі роботи БСКД не виявлена відмова датчика, то даними виступає поточне значення з датчика. При виявленні відмови датчика запис до буферу (стек-пам'яті) здійснюється на основі обчислень АНМ. При цьому відмова датчика виявляється вбудованою системою допускового контролю, що в разі виходу показів датчика за межі поля допуску оголошує останній несправним і для відновлення його значення використовує останнє значення, що записане в буфер.

Графік процесу відновлення втраченої з датчика $T_Г^*$ інформації АНС на основі запропонованого (модернізованого) підходу зображена на рис. 7, де 1 – значення параметра, 2 – значення відновленого сигналу за допомогою нейронної мережі, 3 – значення параметра, отриманого з датчика.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

Рис. 6. Удосконалена функціональна схема відновлення втраченої інформації у БСКД

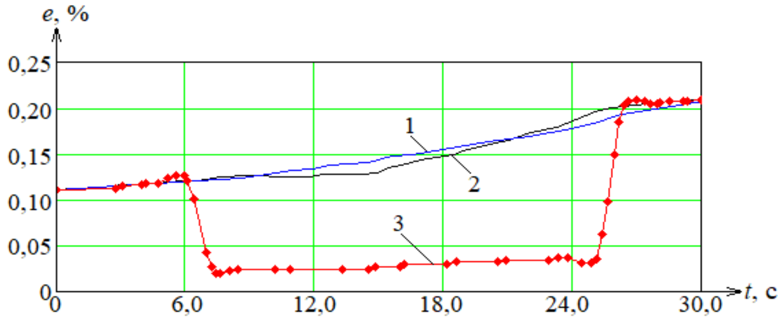


Рис. 7. Відновлення втраченої інформації АНМ і БСКД з датчика $T_{Г}^{*}$ у разі його відмови

Похибка відновлення втраченої інформації з відмовив датчика $T_{Г}^{*}$ у разі його обриву і при поступовій відмові не дотягувала до 0,25 %. Тому згідно з [15] пропонується така інженерна методика створення, навчання і тестування нейронних мереж для відновлення втраченої інформації з датчиків БСКД: попередня обробка даних (нормування, калібрування, оцифровування) для навчання НМ: статистична обробка даних для виявлення грубих похибок вимірювання; масштабування даних; вибір архітектури НМ; вибір структури НМ; для АНМ розмір горла вибирається виходячи з результатів коваріаційного аналізу, в основу якого покладено метод головних компонент [4]. Вибір функцій активації було розглянуто у [7]; для несанкціонованого доступу розмір одного прихованого шару вибирається рівним за розмір вхідного шару, функція активації логістична; вибір алгоритму навчання; навчання НМ; тестування; оцінка ефективності розроблених нейронних мереж для процесу відновлення втраченої з датчиків БСКД інформації.

Висновки

Використання АНМ у БСКД для відновлення інформації дозволяє забезпечити відмовостійкість вимірювальних каналів систем управління, зокрема авіаційного двигуна ТВ3-117. Основною перевагою використання нейронних мереж у рамках БСКД є можливість навчання і донавчання у режимі реального часу з урахуванням індивідуальних характеристик конкретного двигуна.

Відновлення інформації при відмові датчиків за допомогою АНМ забезпечує похибку відновлення даних не більше 0,45 % у разі одиночних відмов і не більше 0,6 % у разі подвійних відмов. При цьому час одного циклу відновлення даних становить 1589,544 нс для обчислювача Raspberry Pi NanoPi M1 Plus і 196,246 нс – для спеціалізованого нейропроцесора Intel Neural Compute Stick 2 [10], що задовольняє вимогам бортової реалізації у складі БСКД.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Список літератури

1. Vladov S. Algorithms for diagnostic and parameter of failures of channels of measurement of TV3-117 aircraft engine automatic control system in flight modes based of neural network technologies. Proceedings of the National Aviation University. 2020. No. 3 (84). P. 27–37.
2. Валеев С. С., Васильев В. И., Ильясов Б. Г., Сун Жан-Гуо. Отказоустойчивые системы управления сложными динамическими объектами с использованием искусственных нейронных сетей. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2000. № 1. С. 32–35.
3. Guo T., Musgrave J., Lin C. Neural Networks Based Sensor Validation for Reusable Rocket Engines. Proceedings of the American Control Conference. 1995. P. 1367–1372.
4. Guo T., Sans J. Sensor Validation for Turbofan Engines Using an Autoassociative Neural Network. Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference. 1996. P. 1–7.
5. Kramer M. Autoassociative Neural Networks. *Computers & Chemical Engineering*. 1995. Vol. 16. № 4. P. 313–328.
6. Zedda M., Singh R. Fault Diagnosis of a Turbofan Engine Using Neural Networks: a Quan-titative Approach. Proc. of the 34 th AIAA /ASME/ SAE/ASEE. Joint Propulsion Conference & Exhibit. 1998. P. 1–10.
7. Жернаков С. В., Муслухов И. И. Нейровычислитель для восстановления потерянной информации со штатных датчиков бортовой системы контроля и диагностики. *Нейроинформатика*. 2006. Ч. 3. С. 180–188.
8. Васильев В. И., Жернаков С. В., Муслухов И. И. Бортовые алгоритмы контроля параметров ГТД на основе технологии нейронных сетей. *Вестник УГАТУ*. 2009. Т. 12. № 1 (30). С. 61–74.
9. Жернаков С. В. Алгоритмы контроля и диагностики авиационного ГТД в условиях бортовой реализации на основе технологии нейронных сетей. *Вестник УГАТУ*. 2010. Т. 14. № 3 (38). С. 42–56.
10. Vladov S., Kotliarov K., Hrybanova S., Husarova O., Chyzhova L. On-board information restoring method in case of failure of one of the sensors of the aircraft engine TV3-117 based on neural network technologies. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. 2019. Issue 6/2019 (119). P. 91–98.
11. Мерил У. К. Обнаружение отказов датчиков ГТД за счет аналитической избыточности. *Аэрокосмическая техника*. 2004. № 6. С. 28–41.
12. Жернаков С. В., Муслухов И. И. Парирование отказов датчиков газотурбинных двигателей с помощью нейронных сетей. *Вычислительная техника и новые информационные технологии*. 2003. С. 35–41.
13. Vladov S., Kotliarov K., Hrybanova S., Husarova O., Derevyanko I., Gvozdik S. Neuro-mechanical methods of control and diagnostics of the technical state of aircraft engine TV3-117 in film regions. *Visnyk of Kherson National Technical University*. 2020. No. 1 (72). Part 1. P. 141–154.
14. Shmelov Yu., Vladov S., Derevyanko I., Dieriabina I., Chyzhova L. Identification of rear model of TV3-117 aircraft engine based on the basis of neuro-multi-functional technologies. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 2019. No. 1 (7). P. 43–49. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.043
15. Васильев В. И., Жернаков С. В. Контроль и диагностика технического состояния авиационных двигателей на основе интеллектуального анализа данных. *Вестник УГАТУ*. 2006. Т. 7, № 2 (15). С. 84–100.

References

1. Vladov, S. (2020), "Algorithms for diagnostic and parameter of failures of channels of measurement of TV3-117 aircraft engine automatic control system in flight modes based of neural network technologies", *Proceedings of the National Aviation University*, No. 3 (84), P. 27–37.
2. Valeev, S. S., Vasiliev, V. I., Iliyasov, B. G., Zhan-Guo, S. (2000), "Fault-tolerant control systems for complex dynamic objects using artificial neural networks" ["Otkazoustojchivye sistemy upravleniya slozhnymi dinamicheskimi obektami s ispolzovaniem iskusstvennyh nejronnyh setej"], *Neurocomputers: development, application*, No. 1, P. 32–35.
3. Guo, T., Musgrave, J., Lin, C. (1995), "Neural Networks Based Sensor Validation for Reusable Rocket Engines", *Proceedings of the American Control Conference*, P. 1367–1372.
4. Guo, T., Sans, J. (1196), "Sensor Validation for Turbofan Engines Using an Autoassociative Neural Network", *Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference*. P. 1–7.
5. Kramer, M. (1995), "Autoassociative Neural Networks", *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 16, No 4, P. 313–328.
6. Zedda, M., Singh, R. (1998), "Fault Diagnosis of a Turbofan Engine Using Neural Networks: a Quan-titative Approach", *Proc. of the 34 th AIAA /ASME/ SAE/ASEE. Joint Propulsion Conference & Exhibit*, P. 1–10.
7. Zhernakov, S. V., Musluhov, I. I. (2006), "Neurocomputer for recovering lost information from standard sensors of the on-board monitoring and diagnostic system" ["Nejrovychislitel dlya vosstanovleniya poteryannoj informacii so shtatnyh datchikov bortovoj sistemy kontrolya i diagnostiki"], *Neuroinformatics*, Part 3, P. 180–188.
8. Vasiliev, V. I., Zhernakov, S. V., Musluhov, I. I. (2009), "Onboard algorithms for control of GTE parameters based on neural network technology" ["Bortovye algoritmy kontrolya parametrov GTD na osnove tekhnologii nejronnyh setej"], *Bulletin of USATU*, Vol. 12, No. 1 (30), P. 61–74.
9. Zhernakov, S. V. (2010), "Algorithms for monitoring and diagnostics of an aviation gas turbine engine under conditions of onboard implementation based on neural network technology" ["Algoritmy kontrolya i diagnostiki aviacionnogo GTD v usloviyah bortovoj realizacii na osnove tekhnologii nejronnyh setej"], *Bulletin of USATU*, Vol. 14, No. 3 (38), P. 42–56.
10. Vladov, S., Kotliarov, K., Hrybanova, S., Husarova, O., Chyzhova, L. (2019), "On-board information restoring method in case of failure of one of the sensors of the aircraft engine TV3-117 based on neural network technologies", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, Issue 6/2019 (119), P. 91–98.
11. Meril, U. K. (2004), "Failure detection of GTE sensors due to analytical redundancy" ["Obnaruzhenie otkazov datchikov GTD za schet analiticheskoj izbytochnosti"], *Aerospace engineering*, No. 6, P. 28–41.

12. Zhernakov, S. V., Musluhov, I. I. (2003), "Parrying sensor failures in gas turbine engines using neural networks" ["Parirovanie otkazov datchikov gazoturbinnyh dvigatelej s pomoshchyu nejronnyh setej"], *Computing technology and new information technologies*, P. 35–41.
13. Vladov, S., Kotliarov, K., Hrybanova, S., Husarova, O., Derevyanko, I., Gvozdik, S. (2020), "Neuro-mechanical methods of control and diagnostics of the technical state of aircraft engine TV3-117 in film regions", *Visnyk of Kherson National Technical University*, No. 1 (72), Part 1, P. 141–154.
14. Shmelov, Yu., Vladov, S., Derevyanko, I., Dieriabina, I., Chyzhova, L. (2019), "Identification of rear model of TV3-117 aircraft engine based on the basis of neuro-multi-functional technologies", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 1 (7), P. 43–49. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.043
15. Vasiliev, V. I., Zhernakov, S. V. (2006), "Monitoring and diagnostics of the aircraft engines technical condition based on data mining" ["Kontrol` i diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya aviaczionnykh dvigatelej na osnove intellektualnogo analiza dannykh"], *Bulletin of USATU*, Vol. 7, No. 2 (15), P. 84–100.

Надійшла (Received) 30.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Владов Сергій Ігорович – кандидат технічних наук, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, завідувач відділення планування навчального процесу фахової підготовки навчального відділу, викладач циклової комісії природничих дисциплін, Кременчук, Україна; email: ser26101968@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8009-5254.

Владов Сергей Игоревич – кандидат технических наук, Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, заведующий отделения планирования учебного процесса профессиональной подготовки учебного отдела, преподаватель цикловой комиссии естественных дисциплин, Кременчуг, Украина.

Vladov Serhii – PhD (Engineering Sciences), Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Head of the Department of Planning the Educational Process of Professional Training of the Educational Department, Teacher of the Department of Natural Disciplines, Kremenchuk, Ukraine.

Долударєва Яна Станіславівна – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, голова циклової комісії природничих дисциплін, Кременчук, Україна; email: ztd.nv.klk@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4089-2010.

Долударева Яна Станиславовна – кандидат технических наук, доцент, Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, председатель цикловой комиссии естественных дисциплин, Кременчуг, Украина.

Doludareva Yana – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Head of the Department of Natural Disciplines, Kremenchuk, Ukraine.

Сіора Андрій Сергійович – Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач циклової комісії природничих дисциплін, Кременчук, Україна; email: siora.andrey@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2934-7281.

Сиора Андрей Сергеевич – Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, преподаватель цикловой комиссии естественных дисциплин, Кременчуг, Украина.

Siora Andrii – Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Teacher of the Department of Natural Disciplines, Kremenchuk, Ukraine.

Пономаренко Анатолій Володимирович – Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, Кременчук, Україна; email: sky.ntl.pnmrnk@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4143-1814.

Пономаренко Анатолий Владимирович – Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, преподаватель цикловой комиссии технического обслуживания авиационной техники, Кременчуг, Украина.

Ponomarenko Anatolii – Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Teacher of the Department of Technical Maintenance of Aviation Equipment, Kremenchuk, Ukraine.

Яніцький Анатолій Анатолійович – Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, Кременчук, Україна; email: smit1003@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5318-1915.

Яницкий Анатолий Анатольевич – Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, преподаватель цикловой комиссии технического обслуживания авиационной техники, Кременчуг, Украина.

Yanitskyi Anatolii – Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Teacher of the Department of Technical Maintenance of Aviation Equipment, Kremenchuk, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОТЕРЯННОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ШТАТНЫХ ДАТЧИКОВ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117

Предметом исследования в статье является авиационный двигатель ТВ3-117 и методы контроля и диагностики его технического состояния. **Цель** работы – разработка нейросетевого вычислителя для восстановления потерянной информации из штатных датчиков бортовой системы контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117 в режиме реального времени. В статье решаются следующие **задачи**: восстановление утраченной информации автоассоциативной нейронной сетью при одиночном отказе датчика, восстановление потерянной информации "оптимальной" автоассоциативной нейронной сетью в случае одиночных отказов датчиков бортовой системы контроля и диагностики, восстановление потерянной информации автоассоциативной нейронной сетью и бортовой системой контроля и диагностики с датчика регистрации температуры газов перед турбиной компрессора в случае его отказа. Используются следующие методы: методы теории вероятностей и математической статистики, методы нейроинформатики, методы теории информационных систем и обработки данных. Получены следующие **результаты**: Решена актуальная задача восстановления потерянной информации со штатных датчиков в режиме реального времени. Исследованы различные архитектуры вычислителей и алгоритмы восстановления. Предлагается инженерная методика восстановления потерянной информации с использованием нейровычислителя. В результате использования нейровычислителя обеспечено эффективное и качественное восстановление информации со штатных датчиков в условиях бортовой системы контроля и диагностики авиационного двигателя ТВ3-117. **Выводы**: Использование автоассоциативной нейронной сети в бортовой системе контроля и диагностики для восстановления информации позволяет обеспечить отказоустойчивость измерительных каналов систем управления, в частности авиационного двигателя ТВ3-117. Основным преимуществом использования нейронных сетей в рамках бортовой системы контроля и диагностики является возможность обучения и обучению в режиме реального времени с учетом индивидуальных характеристик конкретного двигателя. Восстановление информации при отказе датчиков с помощью автоассоциативной нейронной сети обеспечивает погрешность восстановления данных не более 0,45 % при одиночных отказах и не более 0,6 % при двойных отказах. При этом время одного цикла восстановления данных составляет 1589,544 нс для вычислителя Raspberry Pi NanoPi M1 Plus и 196,246 нс – для специализированного нейропроцессора Intel Neural Compute Stick 2, что удовлетворяет требованиям бортовой реализации в составе бортовой системы контроля и диагностики.

Ключевые слова: авиационный двигатель; автоассоциативная нейронная сеть; восстановление; датчик.

NEURAL NETWORK COMPUTER FOR RECOVERING LOST INFORMATION FROM STANDARD SENSORS OF THE ON-BOARD SYSTEM FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF TV3-117 AIRCRAFT ENGINE

The **subject** matter of the article is TV3-117 aircraft engine and methods for control and diagnostics its technical condition. The **goal** of the work is the development of a neural network computer for recovering lost information from standard sensors of the on-board control and diagnostics system of TV3-117 aircraft engine technical state in real time. The following tasks were solved in the **article**: recovering of lost information by an auto-associative neural network in case of a single sensor failure, recovering of lost information by an "optimal" auto-associative neural network in case of single sensor failures of the on-board control and diagnostic system, recovering the lost information by an auto-associative neural network and an on-board control and diagnostic system from the gas temperature registration sensor before the turbine compressor in case of its failure. The following **methods** were used: methods of probability theory and mathematical statistics, methods of neuroinformatics, methods of the theory of information systems and data processing. The following **results** were obtained: The urgent task of recovering lost information from standard sensors in real time has been solved. Various computer architectures and recovery algorithms were investigated. An engineering technique for recovering lost information using a neurocomputer is proposed. As a result of the use of the neurocomputer, effective and high-quality information recovery from standard sensors was ensured under the conditions of the on-board control and diagnostics system of TV3-117 aircraft engine. **Conclusions**: The use of an auto-associative neural network in the on-board control and diagnostics system for information recovery makes it possible to ensure fault tolerance of the measuring channels of control systems, in particular, the TV3-117 aircraft engine. The main advantage of using neural networks as part of an on-board control and diagnostics system is the possibility of training and learning in real time, taking into account the individual characteristics of a particular engine. Information recovery in case of sensor failure using an auto-associative neural network provides data recovery error of no more than 0.45 % for single failures and not more than 0.6 % for double failures. At the same time, the time of one data recovery cycle is 1589.544 ns for the Raspberry Pi NanoPi M1 Plus calculator and 196.246 ns for the specialized Intel Neural Compute Stick 2 neuroprocessor, which meets the requirements of onboard implementation as part of an onboard control and diagnostic system.

Keywords: aircraft engine; auto-associative neural network; recovering; sensor.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Владов С. І., Долударєва Я. С., Сіора А. С., Пономаренко А. В., Яніцький А. А. Нейромережевий обчислювач задля відновлення втраченої інформації зі штатних датчиків бортової системи контролю і діагностики авіаційного двигуна ТВ3-117. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 147–154. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.147

Vladov, S., Doludareva, Ya., Siora, A., Ponomarenko, A., Yanitskyi, A. (2020), "Neural network computer for recovering lost information from standard sensors of the on-board system for control and diagnostics of TV3-117 aircraft engine", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 147–154. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.147

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

UDC 62.932.2 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.155

I. NEVLIUDOV, V. YEVSIEIEV, N. DEMSKA, S. NOVOSELOV

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR OPERATIONAL DISPATCH CONTROL OF PRODUCTION BASED ON CYBER-PHYSICAL CONTROL SYSTEMS

The **subject** of research in the article is production management processes based on cyber-physical systems. The **purpose** of the work is to automate the management of production processes using the cybernetic component and analyze the results. To achieve this goal, it is necessary to solve the following **tasks**: develop an analytical and logical model of the CPPS development management process taking into account the requirements specified in the terms of reference for the development CPPS; to present the analytical and logical structure of connections in the form of a model of interaction of the main windows and all the necessary graphical elements for the implementation of the full-featured interface of the developed CPPS; to carry out experimental researches of efficiency and practical approbation of the received theoretical results, by comparison of classical methods and the developed ones. **Results**: The targets, physical and cybernetic components of the CPPS development management process were combined in a single information space from the beginning of development to its implementation. The process of checking the achievement of the main goal of CPPS development has been automated, which makes it possible to make changes and manage the CPPS development process at any level and stage of the proposed technology. The process of managing the development of the cybernetic component is automated on the basis of synthesized algorithms of functioning using the GUI elements of object-oriented programming languages, which made it possible to increase the flexibility of the proposed architecture and technologies for automating the CPPS development process and to reduce the development time of the cybernetic component. **Conclusions**: the proposed models and methods will not only automate the process of managing the development of CPPS from scratch, but will also make it possible to automate the process of managing the development of the cybernetic component for the modernization and improvement of existing CPPS.

Keywords: Industry 4.0; Cyber-physical Production Systems; technological process; analytical-logical structure of relations; control; "OSCEM".

Introduction

Trends in the development of the modern world require a revision of approaches to the use of high technology and their role in areas of human activity. Increasing the amount of information, increasing the requirements for its accuracy and timely submission for analysis and decision-making, in real time, are forcing changes in approaches to industrial technologies. Current trends in the field of production automation and data exchange in industrial technologies have different names, but they all belong to the same process [1-2]. We are talking about a new, more rational production [3-4], which uses revolutionary for modern industry cyber-physical systems, Internet of Things technology and cloud computing.

"Smart production", related to Industry 4.0, involves the optimization of production processes through innovation, control of physical processes, creating a virtual copy of the physical world, as well as more accurate and timely decisions [5-9]. Processes in such production are guided by cyber-physical connections that allow real-time decision-making and feedback between planning and actual production [10]. Due to the rapid development of Cyber-physical Production Systems (CPPS), the world is paying significant attention to various aspects of their formation and operation [11-12].

These systems provide tools to overcome complexity and provide flexibility, integration with existing management systems, but there are no appropriate management architectures that would provide flexible adaptation during their operation, as well as theoretical provisions [13] that would allow moving from the analysis of these features to the synthesis of cyber physical systems. Consequently, in order to achieve the practical implementation of CPPS, a systematic methodology of the process of management, collection, processing and application of data for CPPS is being developed. This is due to the fact that CPPS can be successfully implemented only when all the processing criteria and application methods for various data are developed, the sequence of the development process is determined taking into account their existence in real time due to the nature of the production process.

Problem statement and research purpose

In this paper, we propose to interpret the CMMI (Capability Maturity Model Integration) model with a consistent decomposition of the main goal of CPPS development, as a set of sub-goals and objectives for each hierarchical level of CPPS development management architecture, which must ultimately meet the goal developing CPPS.

To conduct experimental research and verify the correctness of the proposed solutions in this work, based on the developed automation system for managing the development of complex CPPS, it is necessary to develop fragments of cyber-physical production systems and compare the results with existing standard approaches to cyber-physical production systems or their fragments.

Research and analysis of the obtained results

Based on the requirements set by the customer to the developed "Integrated system of operational and control of production of the enterprise (OSCEM)" we will define the "main goal" (Aim_i) and tasks ($Task_j$) of CPPS development, which are presented in table 1.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Table 1. *Definition of Aim_i and $Task_j$ at the initial stage of the process of managing the development of the cybernetic component "OSCEM"*

Aim_i	$Task_j$	Sub_S_k	$G(AEofS)_j$
Integrated system of operational dispatching control management of the enterprise's production	Production	Current orders	Order archive
			Changes in orders
			Final product
		TCD Acceptance	Adding materials
			Acceptance of economic works
			Reception of overtime
	Warehousing operations	Purchase of materials	Purchase of goods and materials
			Return to suppliers
		Sale of goods	Sale of goods
			Return to buyers
		Warehouse management	Transfer to the warehouse
			Admission from the warehouse
			Write-off of goods and materials
			Write-off of unusable goods and materials
	Guides	Enterprise	The structure of the enterprise
		Employee map	Position
			Discharge
		Inventory guide	Trademark
			Dimensions
			Unit
		CDT guide	Format
			Devices
			Technological operations
			Descriptions of technological operations
			Changes in technology
		Counterparty guide	State
			Region
			City
			Type of enterprise
	Analysis	Order	Execution of current orders
			Completion of the order
			Filter by dates
		Selling	Sales made
			Open sales
			Filter by dates
		Storage	Quantity in stock
			The number of defects in the warehouse
			Filter on products

When analyzing, we can decompose Aim_i on $Task_j$ by levels: multisystem (MS''_0), subsystems (Sub_S_k) and groups ($G(AEofS)_j$)), while the atomic element ($AEofS)_j$ for $G(AEofS)_j$ will be the elementary graphic element / or event that is caused by the user as a reaction of the cybernetic component to an action or flow of input / output information.

Based on the results of Aim_i decomposition (table 1) it is possible at the initial stage to form the analytical-logical structure of the developed CPPS, which determines the main functions and properties that will determine the future number of visual graphics ($Form_1^{master}$, $Form_2^{slave}$ of CF_1 elements) and connection between them (fig. 1).

At the next stage of "OSCEM" development, it is need to define the necessary and sufficient set of $AEofS_j$ for each $G(AEofS)_j$, which describes Sub_S_k and allows to achieve Taskj in accordance with the requirements of the customer's TT. To do this, the developer, based on the analytical-logical structure (fig. 1), describes all $AEofS_j$ and their relationships. Here is an example of a fragment

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14)
ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

of the choice of $AEofS_j$ and $Task_j$ for = "Guides", Sub_S_k = "CDT handbook" for $G(AEofS)_j$ = "Device 1" (fig. 2).

Based on the results obtained in Table1 and the analytical-logical structure of connections "OSCEM", presented in fig.1, for $Task_j$ = "Guides", Sub_S_k = "CTD Guide" for $G(AEofS)_j$ = "Device 1", namely the fragment of selection $AEofS_j$ for $G(AEofS)_j$ = "Device 1" → "Part 1" → "Design documentation" and "Technology", we define that the following hierarchy of HMI (Human machine interface) of communications for "OSCEM" will be logical (fig. 2).

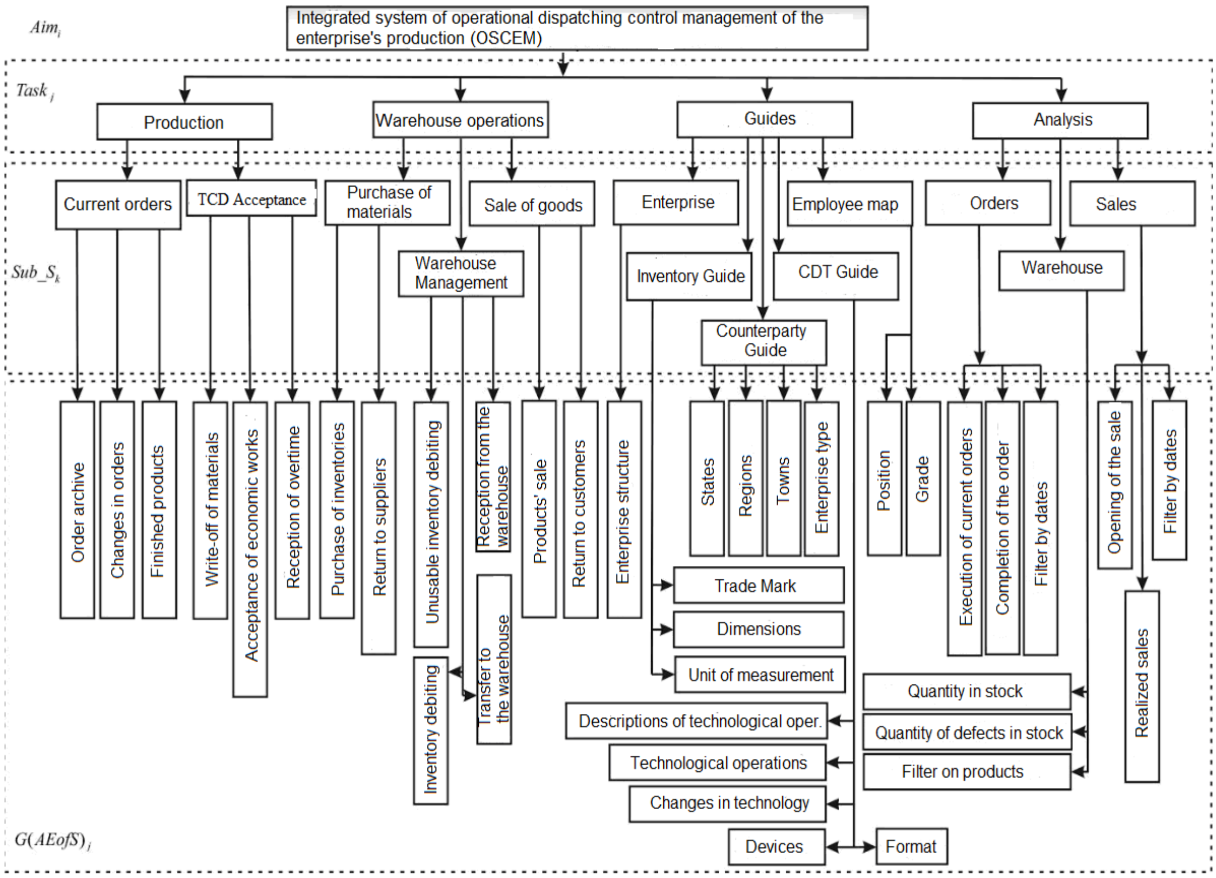


Fig.1. Analytical and logical structure of "OSCEM" relations

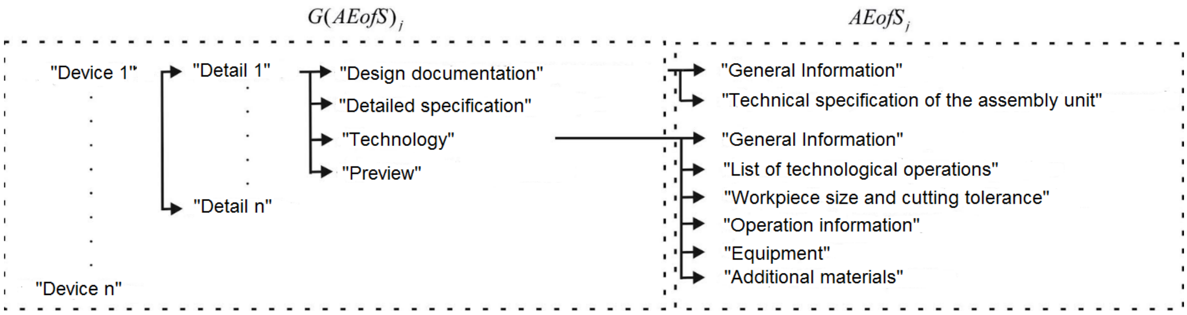


Fig. 2. The fragment of selection $AEofS_j$ for $G(AEofS)_j$ = "Device 1" → "Part 1" → "Design documentation" and "Technology"

According the requirements of the customer's TT, it is necessary to determine the "parameter name" and "values" included in each $AEofS_j$. Table 2 shows the parameters selected by the developer and the type of value for $G(AEofS)_j$ = "Device 1" → "Part 1" → $AEofS_j$ = "Technology", which were approved by the customer and allow to achieve the goal and requirements of TT for the developed "System of operational dispatching management of the production enterprise "OSCEM".

The next step in the development management process is to present the analytical and logical structure of relations "OSCEM" (fig. 1) in the form of a model of interaction (table 2) of the main HMI windows, it should be noted that in this case it is necessary to use industrial design requirements:

- convenience and ease of providing access to basic functions and forms of data (placement of controls, content, design of output messages and input formats);
- minimization of steps of access to the internal functionality of the developed system by means of the user interface.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

Table 2. *Interaction models G(AEofS)$_j$ = "Device 1" → "Part 1" → AEofS$_j$ = "Technology"*

AEofS$_j$	Parameters	Value type
"General information"	Order name	Texts
	Part / assembly name	Text numbers
	The main material	Numbers
	Number of parts (pcs)	Numbers
	Number of billits per 1 workpiece	Numbers
	Part weight (kg)	Numbers
	Workpiece weight (kg)	Numbers
"List of technological operations"	Area	Texts
	Operation	Texts
	Equipment	Texts
	Development	Numbers
	Number of works	Numbers
	Party	Logically
	Unit of norm	Numbers
	Preparatory / final time, Tpf	Numbers
	Time per unit, Tun	Numbers
"Workpiece size and cutting tolerance"	Length (mm)	Numbers
	Width (mm)	Numbers
"Transaction information"	Date	Date
"Equipment"	Name	Texts
	Number	Numbers
"Additional materials"	Name	Texts
	Unit of measurement	Numbers
	Number	Numbers

Based on the above requirements, it was decided to implement HMI using the main window of the application ($Form_{ASUP}^{master}$) and auxiliary windows $(Form_{techn}^{directoty\_CAD},...,Form_{TMC}^{ASUP})$, which will be called through graphical elements $CD_1^{ASUP},...,CD_x^{ASUP}$ located on $Form_{ASUP}^{master}$ by the event initiated by the user or system. For convenience of representation of structure of communications "OSCEM" between the main window $Form_{ASUP}^{master}$ and auxiliary windows $(Form_{techn}^{directoty\_CAD},...,Form_{TMC}^{ASUP})$ the developer builds the graphic model of communications of Windows Form on the basis of the improved methodology Constant (tab. 1-2). Let's present in table 3 the designation and description of auxiliary (called) Windows Form, all other elements will be implemented within the main window $Form_{ASUP}^{master}$ based on GUI elements (Graphical user interface) – Panel, GroupBox, etc.

Table 3. *Designation and description of Windows auxiliary Forms from the main window* $Form_{ASUP}^{master}$

Marking	Description
$Form_{accept}^{ASUP}$	TCD Acceptance
$Form_{purchase}^{ASUP}$	Purchase of inventory
$Form_{sale}^{ASUP}$	Sale of goods
$Form_{transfer}^{ASUP}$	Transfer to the warehouse
$Form_{reception}^{ASUP}$	Admission from the warehouse
$Form_{write\text{-}off}^{ASUP}$	Write-off of inventory
$Form_{write\text{-}off\_TMC}^{ASUP}$	Write-off of unusable inventory
$Form_{TMC}^{ASUP}$	Inventory guide
$Form_{directory\_CAD}^{ASUP}$	CDT guide
$Form_{contractors}^{ASUP}$	Guide of contractors
$Form_{techn}^{directory\_CAD}$	Part manufacturing technology

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

Therefore, all $Task_j$, Sub_S_k, $G(AEofS)_j$, which are not shown in the graphical structure model (fig. 3), will be implemented in the main GUI window "OSCEM" ($Form_{ASUP}^{master}$) according to the analytical-logical structure of relationships (fig. 1) using the following graphic elements, presented in table 4.

The graphical model of the Windows Forms relationship structure in "OSCEM" is presented in fig. 3.

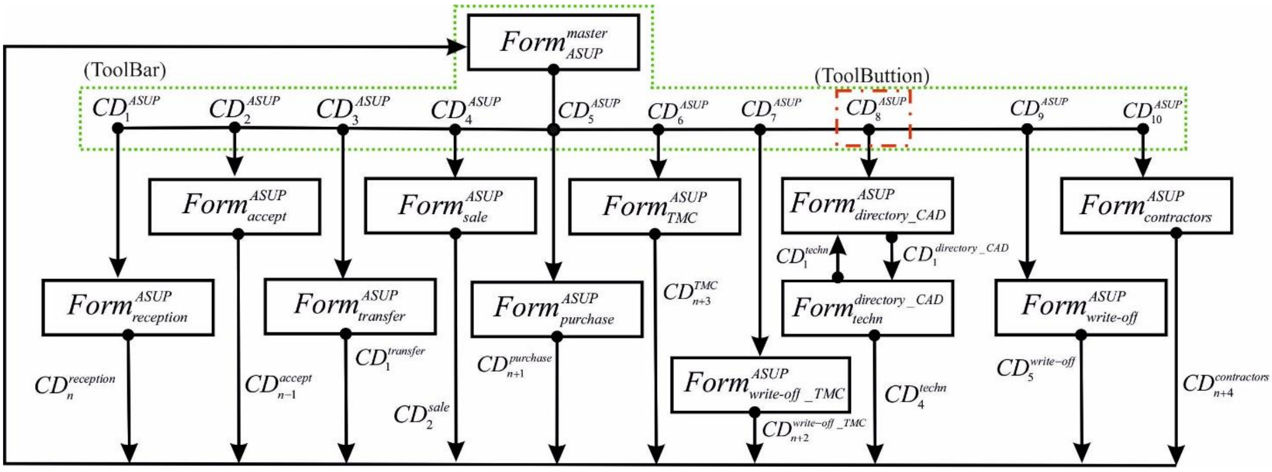


Fig. 3. The graphical model of the Windows Forms relationship structure in "OSCEM"

Table 4. *Selecting graphical GUI elements to implement user access to Taskj, Sub_Sk ma G(AEofS)j with the form* $Form_{ASUP}^{master}$

Marking	Name of the graphic element		Description
$Form_{ASUP}^{master}$	Windows Forms		Main GUI window "OSCEM"
$Task_j$	TabControl		The control is used to display multiple tabs (TabPage), similar to the separators in the notebook or labels in a set of folders of the file block Graphical user interface element designed to accommodate several other elements (buttons, menus) for quick access
Sub_S_k	ToolBar (ToolStrip)		Graphical user interface element designed to accommodate several other elements (buttons, menus) for quick access
$G(AEofS)_j$	ToolButton (ToolStripButton)		The child element ToolBar (ToolStrip) is highlighted as a button with an image
$AEofS_j$	Panel	Label	Displays text that cannot be modified by the user
		Edit	Designed to enter user data and is a single-line field
		DBGrid	Displays data from the database and allows to make and save changes
	GroupBox	DBMemo	Is a multi-line text editor that allows you to edit the text of the window, the information of which is stored in the database
		DBListBox	Allows the user to select one or more items from a predefined list of information stored in the database
$AEofS_j$	Button		Represents a standard button that the user can press to perform an action

Graphic element *Panel* serves as a container (parent component), which combines a group of controls, input / output and playback of information.

GroupBox is a container with a frame and an inscription, which unites a group of related controls.

Based on the developed analytical and logical structure of connections (fig. 1) and selected graphical elements of the GUI (table 4), we present the implementation of the GUI "Main Control Menu" ($Form_{ASUP}^{master} \rightarrow Task_j \rightarrow Sub\_S_k \rightarrow G(AEofS)_j \rightarrow AEofS_j$) in the form of a graph (fig. 4).

ImageList is a non-visual component that is a set of images of the same size that can be referenced by indexes to display them in ToolButton.

Based on the above solutions (fig. 1-2), as well as selected graphical elements (table 4) and the graph of the implementation of the GUI of the main window "OSCEM" (fig. 3), you can make a mathematical description of the structure of the main window "OSCEM" ($Form_{ASUP}^{master}$). A fragment of the mathematical representation of the implementation of Windows Forms ($Form_{ASUP}^{master}$) is presented in (1).

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

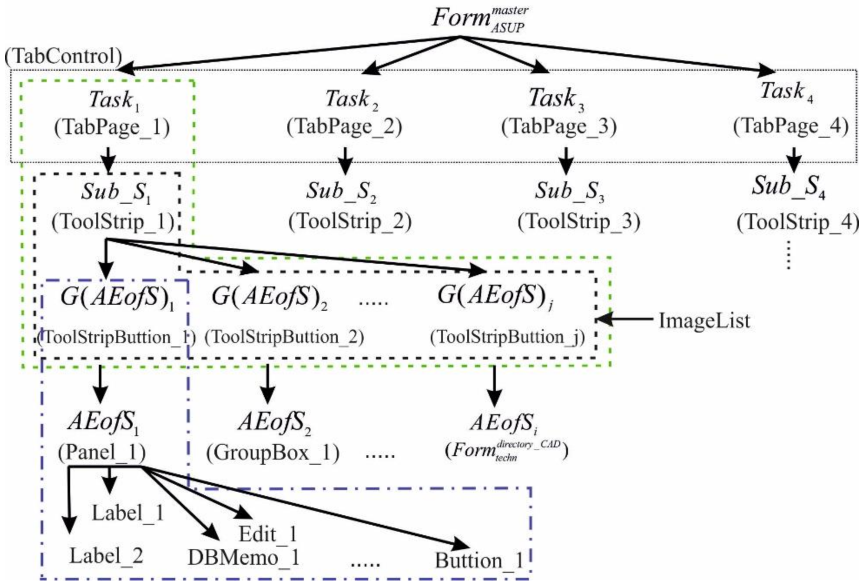


Fig. 4. Graph of implementation of GUI "Main control menu" of the main window "OSCEM" ($Form_{ASUP}^{master}$)

Based on MP_{ASUP}^{master} the developer sets the values that should belong to the parameters that specify all the necessary properties of the main GUI window "OSCEM" and specifies the name "*Linguistic Variable*" in (*Open_BD*, *Close_BD*), which allows to set the action on the event (*Events*) "*Load*" and "*Form Closed*", i.e. to connect to the database (DB) and disconnect from the database, respectively.

$$\begin{gathered}
Form_{ASUP}^{master}(Form_{ASUP}PE)[(MP_{ASUP}^{master})\xrightarrow{mp_3^{ASUP}=Form_ASUP;mp_4^{ASUP},mp_5^{ASUP},mp_8^{ASUP},}\wedge \\
\wedge\xrightarrow{mp_9^{ASUP},mp_{46}^{ASUP}=true;mp_6^{ASUP},mp_{10}^{ASUP},mp_{12}^{ASUP},mp_{13}^{ASUP}=false;mp_{32}^{ASUP}=./img/icon.png;mp_{62}^{ASUP},}\wedge \\
\wedge\xrightarrow{mp_{64}^{ASUP}=Default;mp_{14}^{ASUP}=100;mp_{63}^{ASUP}=708,582;mp_{71}^{ASUP}=ASUP;}(PP_{ASUP}^{master})] \\
[(ME_{ASUP}^{master})\xrightarrow{me_1^{ASUP}="Open_BD"me_{12}^{ASUP}=Close_BD}(EA_{ASUP}^{master})]
\end{gathered}. \qquad (1)$$

The next step is to add in (1) a mathematical description of the GUI parameters of the TabControl element (CD1ASUP) according to the graph of the implementation of the GUI "Main Control Menu" of the main window "OSCEM" (fig. 4).

$$\begin{gathered}
CF_{ASUP}[(CD_1^{ASUP})(PC_1^{ASUS})\xrightarrow{pc_2^1=TabControl_ASUP,pc_{14}^1,=Top;pc_{19}^1,pc_3^1,pc_{43}^1=false;}\wedge \\
\wedge\xrightarrow{pc_{13}^1,pc_{27}^1,pc_{41}^1=true;pc_{20}^1=81,25;pc_{51}^1=680,237;pc_{51}^1=Ilist_ASUP;}(PP_1^{ASUP})]
\end{gathered}. \qquad (2)$$

Based on the proposed example of a mathematical description [13-15] and similarly (1) and (2), the developer can specify all the parameters, values and events necessary for the implementation of the analytical-logical structure of relations "OSCEM" (fig.1) for all GUI elements are presented in table 4 according to the developed graph of implementation (fig. 4).

Let’s consider an example of the presentation of parameters, values and events $MP_{techn}^{directory\_CAD}, PP_{techn}^{directory\_CAD}$, for $ME_{techn}^{directory\_CAD}, EA_{techn}^{directory\_CAD}$ creation a visual window "Technology" ($Form_{techn}^{directory\_CAD}$) and all the necessary graphic objects $CD_1^{techn},\dots, CD_x^{techn}$ for input / output and display the necessary information in accordance with table 2 and fig. 2. Expression (3) describes the parameters for creating an empty visual window "Technology" ($Form_{techn}^{directory\_CAD}$) "OSCEM".

$$\begin{gathered}
Form_{techn}^{directory_CAD}(Form_{techn}PE)[(MP_{techn}^{directory_CAD})\xrightarrow{mp_3^{ASUP}=Form_ASUP;mp_4^{ASUP},}\wedge \\
\wedge\xrightarrow{mp_5^{ASUP},mp_8^{ASUP},mp_9^{ASUP},mp_{46}^{ASUP}=true;mp_6^{ASUP},mp_{10}^{ASUP},mp_{12}^{ASUP},mp_{13}^{ASUP}=false;mp_{32}^{ASUP}=./img/techn.png;}\wedge \\
\wedge\xrightarrow{mp_{62}^{ASUP},mp_{64}^{ASUP}=Default;mp_{14}^{ASUP}=100;mp_{63}^{ASUP}=708,582;mp_{71}^{ASUP}=\text{Деталь};}(PP_{techn}^{directory_CAD})] \\
[(ME_{techn}^{directory_CAD})\xrightarrow{me_1^{techn}="PostBD"}(EA_{techn}^{directory_CAD})]
\end{gathered}. \qquad (3)$$

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

Element $AEofS_j$ "General information" is a visual element which belongs to $Form_{techn}^{directory\_CAD}$, and contains a set of necessary interface elements ($CD_1^{techn},\ldots,\ CD_x^{techn}$) for data management. Let's add (3) a mathematical description of the element (4):

$$\begin{aligned}
&CF_{techn}[(CD_1^{techn})(PC_1^{techn})\xrightarrow{pc_2^1,pc_6^1,pc_{12}^1,pc_{14}^1,pc_{19}^1=\text{alNone};pc_3^1,pc_{43}^1,pc_{53}^1=\text{false};pc_7^1=\text{Close};pc_{10}^1=\text{crDefault};}\wedge\\
&\wedge\xrightarrow{pc_{13}^1,pc_{27}^1,pc_{41}^1,pc_{42}^1,pc_{46}^1=-1;pc_{20}^1,pc_{35}^1,pc_{36}^1,pc_{37}^1,pc_{38}^1,pc_{39}^1,pc_{48}^1,pc_{51}^1=\text{false};pc_{51}^1=\text{true};pc_{15}^1=\text{crDrag};pc_{16}^1=\text{dkDrag};}\wedge\\
&\wedge\xrightarrow{pc_{17}^1=\text{dmManual};pc_{44}^1=\textbf{'Copy';}\ pc_{50}^1=328;pc_{52}^1=75;pc_3^1=\text{button_copy}}(PP_1^{techn})\wedge\\
&\wedge(CE_1^{techn})\xrightarrow{ce_6^1=\text{"}\textbf{Copy_to_clipboard}\text{"}}(EA_1^{techn})
\end{aligned}\quad . \tag{4}$$

(4) describes the parameters (visualization) and events (the reaction of the graphic object to the user's interaction with it) of reaction to a single click on the Booton interface element, which initializes the "Linguistic variable" - *Copy_to_clipboard*, in the name of which in the knowledge base (KB) the search for a code fragment to implement the functions of copying data to the clipboard is done.

Thus, we can present the structure of any visual window and all the necessary graphical elements for the implementation of a full-featured interface developed by CPPS.

To simplify the manipulation of large volumes of records and connections of all GUI elements, all the logic and sequence of constructing an example of mathematical descriptions (1-4) including: parameters, structure and events of graphical interface elements hidden from the developer and implemented at the kernel level "Automation of CPPS development management process". Consequently, (1-2) can be represented as the following record, based on the mathematical model presented below.

```
<Form_ASUP>
{?** Creating the main form with the specified parameters and events for creating and closing the form **?
[Name=Form_ASUP; ControlBox, MaximizeBox, MinimizeBox, ShowIcon, ShowInTaskbar =true; TopMost, Locked, Localizable, AutoSize = false; Icon=../img/icon.png; Cursor, Language = Default;Opacity=100; Size=708,515; Text= ASUP] [Load= Open_BD; FormClosed=Close_BD]
}
# TabControl_ASUP
{?** Creating a TabControl GUI with the specified parameters using the non-visual ImageList component  **?
[Name=TabControl_ASUP; Alignment=top; AllowDrop, Locked, Multiline=false; Enabled, TabStop, Visible=true; ItemSize=81,25; Size=680,237, ImageList=Ilist_ASUP]}
…
#TabPage_directory
?** Description of bookmarks "Guides" **?
{[ImegeIndex=12;Text=Guides; Size=192,67;Locked=false]}
 # ToolStrip _CAD
 ?** Explanation **?
                    {[ ]}
                              # ToolStripButton _dir_CAD
?** Explanation **?
                              {[ ]  [ ]]}
}
…
#PictureBox_logo
{?** Explanation **?
[Name=PicBox_ OSCEM; BorderStyle=None, ImageLocation= ../img/logo.jpg; Location=10,98; Size= 200,200]
}
….
}
</ Form_ASUP>
```

The results of the compilation of the generated program code in Visual Studio 2019, based on the developed system "Automation of the CPPS development management process" of the main window "OSCEM", are presented in Fig. 5. As can be seen from fig. 5 this implementation of HMI on the basis of the selected GUI elements allows to implement the convenience of access to the required functionality, in accordance with the analytical and logical structure of connections "OSCEM" (fig. 1). Fig. 6 shows the use of GUI elements from table 4 to implement $Task_j$, Sub_S_k, $G(AEofS)_j$ of the access levels to the functionality "OSCEM".

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)
Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

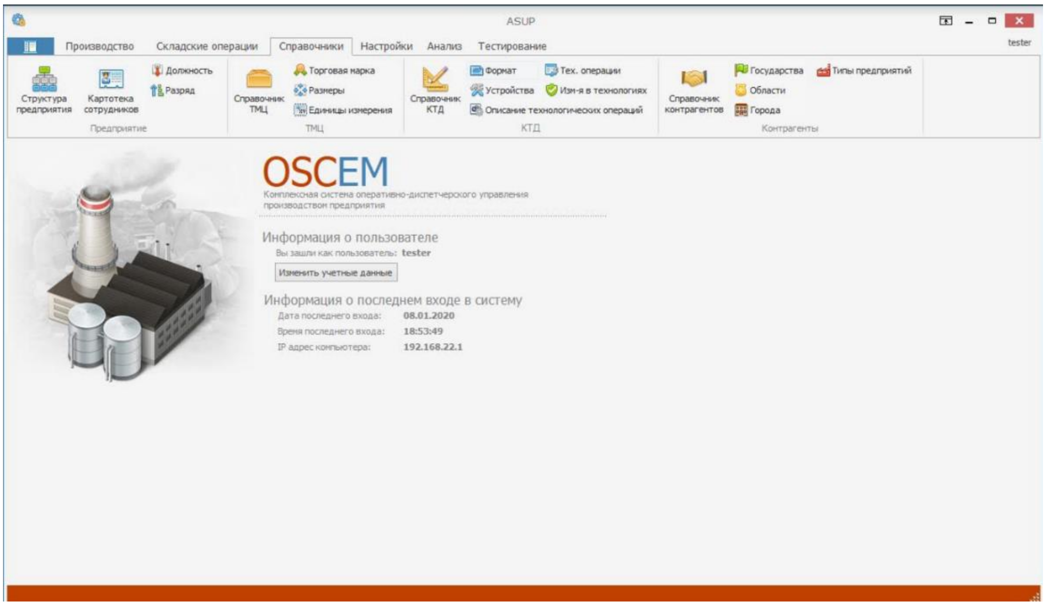


Fig. 5. Compiled result of main window generation $Form^{master}_{ASUP}$ "OSCEM"

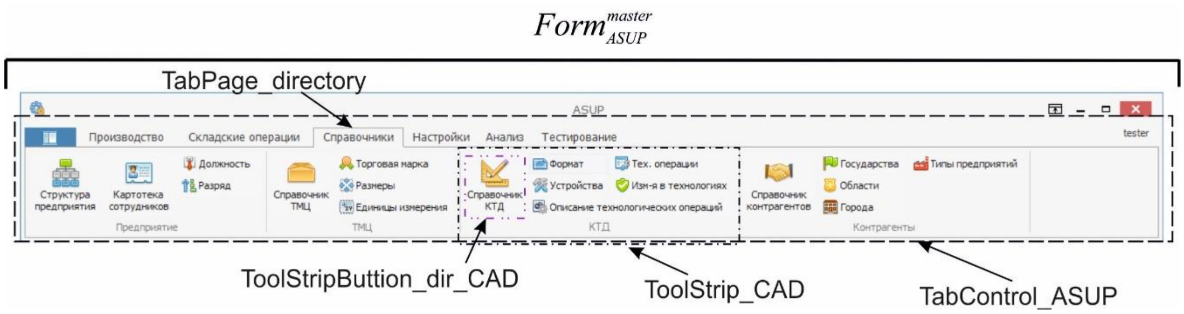


Fig.6. Fragment of implementation of $Task_j$, Sub_S_k, $G(AEofS)_j$ levels of access to the "OSCEM" functionality

Based on the results obtained (fig. 5) and the functionality requirements in TT, this implementation of the GUI "Main Control Menu" of the main window "OSCEM" ($Form^{master}_{ASUP}$) will be unchanged and fixed, and all other elements $AEofS_j$ will be placed on the *Panel* within the framework $Form^{master}_{ASUP}$, or called by separate Windows Form in accordance with the graphical model of the link structure (fig. 4).

Here are examples of implementing the HMI interface "OSCEM" "Guides"→"CDT Guide", based on the GUI element *Panel*, which contains all the visual elements in the framework $Form^{master}_{ASUP}$ (fig. 7).

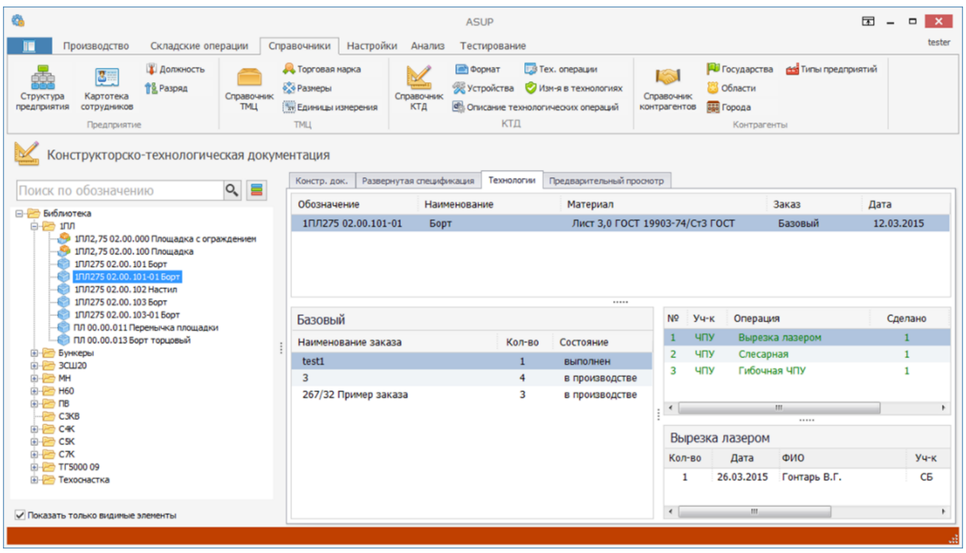


Fig. 7. Example of implementing the HMI interface "OSCEM" "Guides" → " CDT Guide"

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

Let's give, as an example, the result of a compiled window (Windows Form) implementation of an interface based on GUI elements (fig. 4, tables 2, 4) for "Technology" ($Form_{techn}^{directory\_CAD}$). For example (fig. 8) Windows with "CDT Guide" are called separately when the user selects TabControl "Technology" and information in DBGrid (table 4).

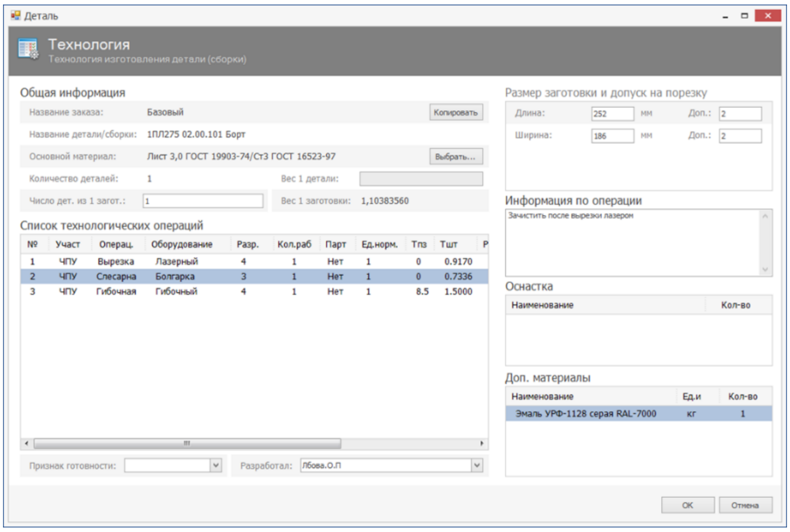


Fig. 8. Example of implementing the "Technology" window ($Form_{techn}^{directory\_CAD}$)

Based on the obtained scientific results, to check the correctness of the decisions made, studies of the development management process of the "Integrated System of operational dispatching control management of production of the enterprise" (OSCEM) were conducted on the basis of the system "automation of development management processes CPPS" and the classical method of the development management process, which were conducted in parallel with another group of developers, as part of the implementation of a scientific topic commissioned by the enterprise.

For clarity of the received results of the conducted experiment by classical process of management of development "OSCEM" the comparison table (table 5) on the following parameters and criteria was constructed:

- stages, sub-stages;
- time of the beginning of each substage (from the beginning of initialization of process of management of development);
- duration of each stage in days;
- the amount of work in hours, provided that the length of the working day is 8 hours.

Table 5. *Classic "OSCEM" development management process*

Project stages	Substages	Start time, days	Duration, days	Volume, hours
Initialization	General statement of project tasks	0	15	120
	Definition of requirements	0	10	80
	Definition of specification	3	15	120
	Definition of TT	4	40	320
Planning	Goal setting	15	30	240
	Clarification of results	25	34	272
	Determining the composition of works	32	40	320
	Formation of the calendar plan	40	47	376
	Risk assessment	5	70	560
Development	Configuration definition	40	64	512
	Technical ways to achieve the goal	53	20	160
Realization	Creating an interface	65	40	320
	Writing code	70	70	560
	Metric control	80	60	480
Testing	Testing	120	30	240
	Verification of compliance with TT requirements	140	34	272
	Correction of comments and errors	170	30	240
Monitoring and completion of the project	Implementation	200	23	184
	Correction of comments and errors	220	30	240
	Support of project results	240	40	320

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) *Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)*

Based on the obtained experimental data during the development of "OSCEM" by the classical method of the control process (table 5), a Gant chart was constructed, which is shown in fig. 9.

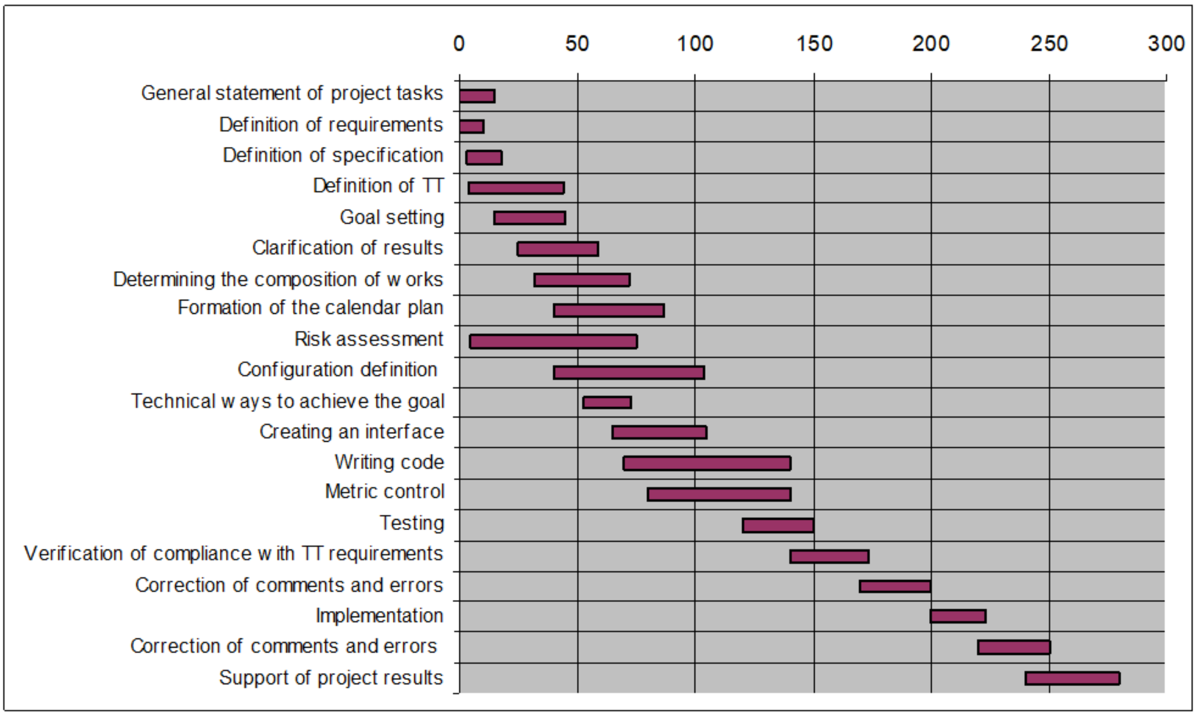


Fig. 9. The process of managing the development of "OSCEM" by the classical method

Accordingly, for the convenience of presenting the results, the process of managing the development of "Integrated system of operational and control of enterprise production" (OSCEM), based on the proposed models implemented in the system "Automation of CPPS development management processes", was built table 6 according to the following parameters and criteria:

- stages, sub-stages;
- time of the beginning of each substage (from the beginning of initialization of process of management of development);
- duration of each stage in days;
- the amount of work in hours, provided that the working day is 8 hours.

On the basis of the received experimental data (table 6) the Gant chart (fig. 10) of process of management of development "OSCEM" by means of the developed system is constructed.

Table 6. *"OSCEM" development management process based on the system "Automation of CPPS development management processes"*

Project stages	Substages	Start time, days	Duration, days	Volume, hours
Target	Setting the main goal	0	15	120
	Defining sub-goals	15	20	160
	Defining tasks for sub-goals	30	31	248
	Mathematical description of elementary problems	59	50	400
Physical	Defining the functions of each level	108	20	160
	Development of an organizational and technical structure	120	8	64
Cybernetic	Development of an infological structure	128	10	80
	Development of an information structure	138	14	112
	Development of control algorithms	149	19	152
Development	Developing a CPPS description in the modeling language	165	10	80
	Updating the code and HMI interface	173	30	240
	Checking whether the main goal has been achieved	200	5	40
Testing and monitoring	Testing	205	15	120
	Implementation and monitoring	219	10	80
	Support service	220	40	320

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

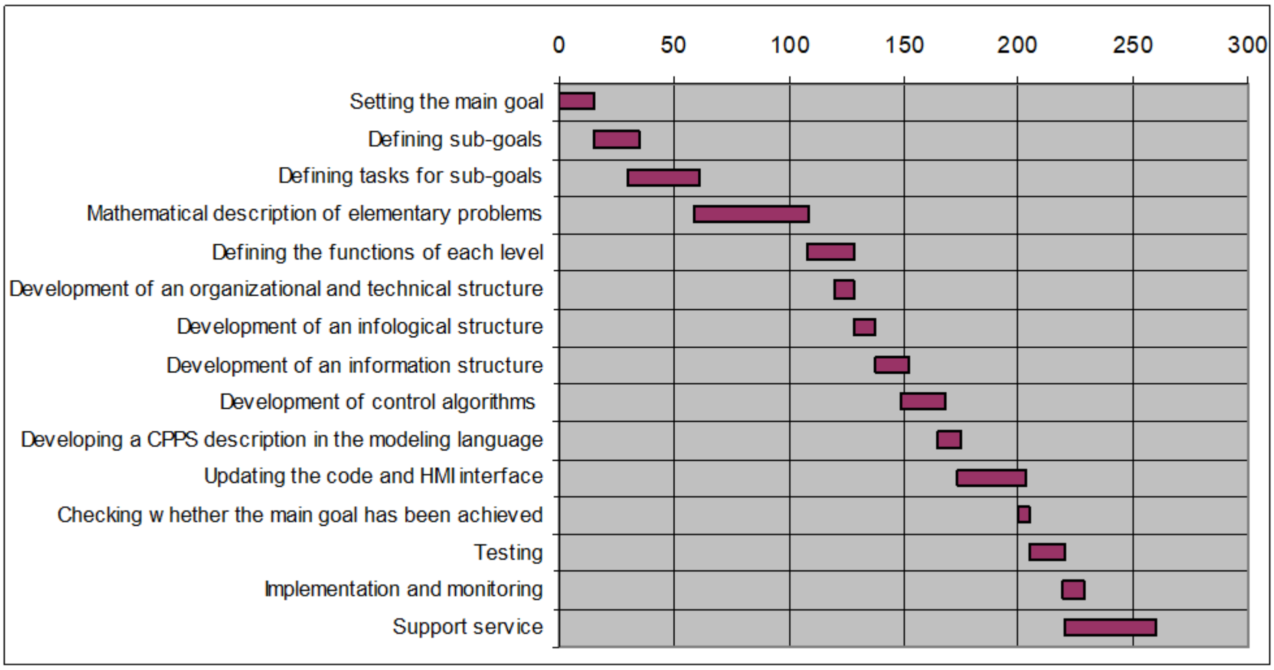


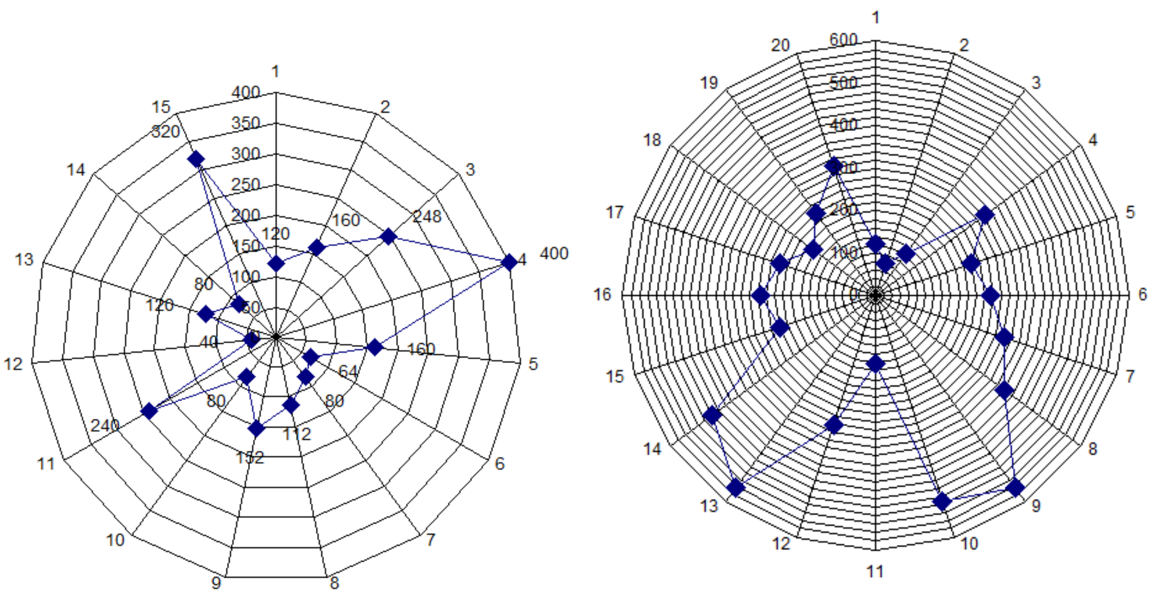
Fig. 10. "OSCEM" development management process based on the system "Automation of CPPS development management processes"

For convenience of comparison of the data received during experimental researches during OSCEM development we will construct the petal diagram in which we will designate through 1,2,…, n substages of development and volume of hours spent on each of them for the developed management process presented in fig. 11a, and the classical (fig. 11 b).

As can be seen from fig. 11 the developed automated control process, implemented in the system "Automation of control processes for the development of CPPS", has a number of advantages over the classical method of control, that is:

- the number of stages and sub-stages in the developed technological process of CPPS development management is less than in the classical method;
- the developed system "Automation of CPPS development management processes" can reach the maximum amount of time required to solve problems in the sub-stage "Mathematical description of elementary problems" - 400 hours.

We will combine the obtained experimental results for the classical and developed control method, by superimposing the obtained data in the form of a petal diagram presented in fig. 12.



a) b)

a) the developed CPPS development management process; b) the classic method of managing the development of CPPS
Fig. 11. The amount of hours spent at each sub-stage of the "OSCEM" development management process

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

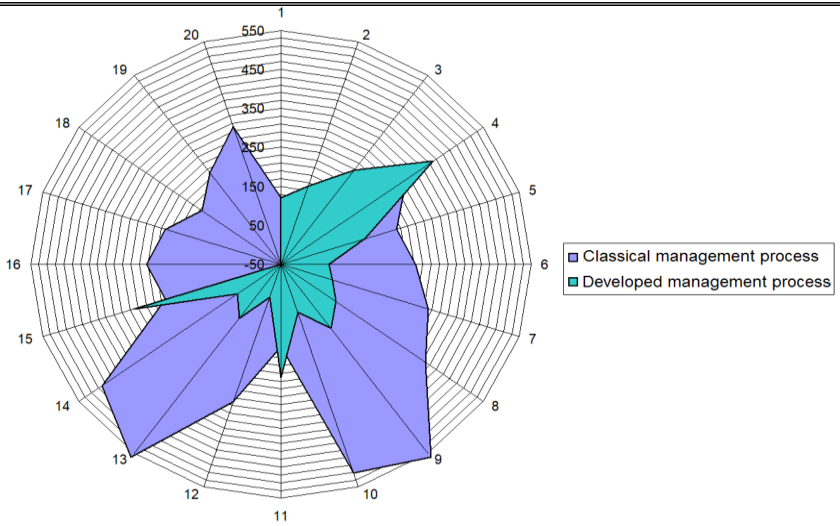


Fig. 12. Diagram of comparison of costs of volume of hours at use of classical and developed process of management of development "OSCEM"

Also, on the basis of the system "Automation of CPPS development management processes" the following solutions were developed for:

- automation of TP management in production:

1) "Voice control of the robot RM-01" (author's certificate №57666 dated 17.12.2014);

2) Programming and remote control of the mobile robot "Programming robots" (author's certificate №59439 dated 24.04.2015);

3) Automated system for designing the technological process of manufacturing accelerometers "AsSAM" ("AsSAM") (author's certificate № 65348 from 16.05.2016);

4) "Module of automated design of technological schemes of assembly of robots" Mach-CAM "" (author's certificate № 74619 from 13.11.2017);

5) "Automation of computer vision and video stream processing for mobile robots" (author's certificate № 80306 dated 16.07.18);

- automated systems of TP design and standardization: Standardization system "NORM" (author's certificate №57667 dated 17.12.2014);

- automated systems of design training: "Module of automated design of robots" Max-Robotics "(copyright certificate № 74642 from 13.11.2017);

- automated non-destructive testing systems: "Program for determining the synchronous control of temperature regimes of boards in the production of" QUAcontrol "(copyright certificate №59980 from 04.06.2015);

- software development system for computer-integrated system of technological preparation of production: "Automated software design system for corporate information systems of technological preparation of production" "CAD-Programming Code" (author's certificate № 74576 from 09.11.2017).

Conclusions

Based on the proposed models, in this work, to test and verify the correctness of research decisions, a system "Automation of CPPS development management processes" was developed. Given that the developed system allows not only to automate the process of managing the development of CPPS from scratch, but also allows you to automate the process of managing the development of the cyber component for the modernization and improvement of existing CPPS.

Introduction of technologies of automation of processes of management of development of CPPS will allow:

- to combine the target, physical and cybernetic components of the CPPS development management process in a single information space from the beginning of development to its implementation;

- automate the process of verifying the achievement of the main goal (TT requirements) of CPPS development, which allows to make changes and manage the process of CPPS development at any level and stage of the proposed technology;

- automate the process of managing the development of the cybernetic component (HMI) based on synthesized algorithms using GUI elements of object-oriented programming languages.

- increase the flexibility of the proposed architecture and technologies for automating the CPPS development process, which reduces the development time of the cybernetic component by expanding the database "ContainerSolutions", which contains ready-made program code.

During the study, a number of comparative experiments were conducted, which showed:

- time for system development, based on the system "Automation of CPPS development management processes", was reduced by 2.5 times compared to the classical method;

- the number of stages of the CPPS development management process based on the classical method is 25% more than in the proposed one;

- the amount of hours spent on the development of the system "Automation of CPPS development management processes" decreased by 2.4 times.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

The obtained scientific results can be useful to developers of CPPS, software and hardware modules in the field of SCADA, ERP, MES systems, departments of ACS of enterprises for modernization of existing CPPS, as well as specialists in automation of complex CPPS development management processes.

The results of scientific and theoretical research are implemented in the educational process, in the production process of a number of public and private enterprises, as well as the stated solutions are protected by copyright certificates.

References

1. Sony, M., Naik, S. (2019), "Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review", *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 27, No. 7, P. 2213–2232. DOI: https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284
2. Thoben, K. D., Wiesner, S., Wuest, T. (2017), "Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples", *International journal of automation technology*, Vol. 11, No.1, P. 4–16. DOI: https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004
3. Wagner, T., Herrmann, C., Thiede, S. (2017), "Industry 4.0 impacts on lean production systems", *Procedia Cirp*, No. 63, P. 125–131. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041
4. Perico, P., Arica, E., Powell, D. J., Gaiardelli, P. (2019), "MES as an Enabler of Lean Manufacturing", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 52, Issue 13, P. 48–53. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.306
5. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., Ayala, N. F. (2019), "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies", *International Journal of Production Economics*, Vol. 10, P. 15–26. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004
6. Oztemel, E., Gursev, S. (2020), "Literature review of Industry 4.0 and related technologies", Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 1(1), P. 127–182. DOI: https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8
7. Alcácer, V., Cruz-Machado, V. (2019), "Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Vol. 22, Issue 3, P. 899–919. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006
8. Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T. (2019), "Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union", *Computers in Industry*, Vol. 107, P. 22–32. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007
9. Liu, Y., Peng, Y., Wang, B., Yao, S., Liu, Z. (2017), "Review on cyber-physical systems", *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, Vol. 4, Issue 1, P. 27–40. DOI: 10.1109/JAS.2017.7510349
10. Zanero, S. (2017), "Cyber-physical systems", *Computer*, Vol. 50, Issue 4, P. 14–16. DOI: 10.1109/MC.2017.105
11. Hehenberger, P., Vogel-Heuser, B., Bradley, D., Eynard, B., Tomiyama, T., Achiche, S. (2016), "Design, modelling, simulation and integration of cyber physical systems: Methods and applications", *Computers in Industry*, Vol. 82, P. 273–289. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.05.006
12. Berger, C., Zipfel, A., Braunreuther, S., Reinhart, G. (2019), "Approach for an event-driven production control for cyber-physical production systems", *Procedia CIRP*, Vol. 79, P. 349–354. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.085
13. Yevsieiev, V. (2018), "Conceptual scheme and basic concepts graphic representation of software and modules visual elements description in CIS TPP design automation problem solution", *Mizhvuzivskyi zbirnyk "Naukovi notatky"*, Lutsk, No. 61. P. 40-47.
14. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Filippenko, I. (2020), "Development of an architectural-logical model to automate the management of the process of creating complex cyber-physical industrial systems", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, No. 3 (106). P. 44–52. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210761
15. Yevsieiev V. (2018), "Visual objects interaction mathematical presentation to solve the problem of software design automation for computer information systems of technological production preparation", *Zbirnyk Naukovykh prats Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriia: "Obchysliuvalna tekhnika ta avtomatyzatsiia"*, No. 1 (31), P. 24–31. DOI: 10.31474/2075-4272-2018-1-31-24-31

Received 19.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Невлюдов Ігор Шакирович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: igor.nevliudov@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9837-2309.

Невлюдов Игорь Шакирович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Nevliudov Igor – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Євсєєв Владислав В’ячеславович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; e-mail: vladyslav.yevsieiev@nure.ua; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2590-7085.

Евсеев Владислав Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Yevsieiev Vladyslav – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Демська Наталія Павлівна – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, м. Харків, Україна; email: demska.nataliia@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9931-9964.

Демская Наталия Павловна – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Demska Nataliia – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv National University of Radio Electronics, Senior Lecturer of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Новоселов Сергій Павлович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: sergiy.novoselov@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3190-0592.

Новоселов Сергей Павлович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Novoselov Sergiy – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЦТВА НА БАЗІ КІБЕР-ФІЗИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Предметом дослідження в статті є процеси керування виробництвом на базі кібер-фізичних систем. **Мета** роботи – автоматизація керування виробничими процесами за допомогою кібернетичної складової і аналіз отриманих результатів. Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення наступних **завдань**: розробити аналітично-логічну модель процесу управління розробкою CPPS з урахуванням вимог зазначених в технічному завданні на розроблювальний CPPS; представити аналітично-логічну структуру зв'язків у вигляді моделі взаємодії основних вікон і всіх необхідних графічних елементів для реалізації повнофункціонального інтерфейсу розроблюваної CPPS; провести експериментальні дослідження ефективності та практичну апробацію отриманих теоретичних результатів, шляхом порівняння класичних методів та розроблених. **Результати**: Об'єднано цільові, фізичні та кібернетичні складові процесу управління розробки CPPS в єдиному інформаційному просторі від початку розробки до його впровадження. Автоматизовано процес перевірки досягнення головної мети розробки CPPS, який дає можливість вносити зміни і керувати процесом розробки CPPS на будь-якому рівні і етапі запропонованої технології. Автоматизовано процес управління розробки кібернетичної складової на базі синтезованих алгоритмів функціонування з використанням GUI елементів об'єктно-орієнтованих мов програмування, що дало можливість збільшити гнучкість запропонованої архітектури і технологій автоматизації процесу розробки CPPS та скоротити час розробки кібернетичної складової. Результати наукових і теоретичних досліджень впроваджено в освітній процес, у виробничий процес ряду державних і приватних підприємств, також викладені рішення захищені авторськими свідоцтвами. **Висновки**: запропоновані моделі та методи дозволять не тільки автоматизувати процес управління розробкою CPPS з "нуля", а й дасть можливість автоматизувати процес управління розробкою кібернетичної складової для модернізації і удосконалення вже існуючих CPPS.

Ключові слова: Industry 4.0; Розумне виробництво; Cyber-physical Production Systems; технологічний процес; аналітично-логічна структура зв'язків; управління; "OSCEM".

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НА БАЗЕ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Предметом исследования в статье являются процессы управления производством на базе кибер-физических систем. **Цель** работы – автоматизация управления производственными процессами с помощью кибернетической составляющей и анализ полученных результатов. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих **задач**: разработать аналитически-логическую модель процесса управления разработкой CPPS с учетом требований указанных в техническом задании на разрабатываемый CPPS; представить аналитически-логическую структуру связей в виде модели взаимодействия основных окон и всех необходимых графических элементов для реализации полнофункционального интерфейса разрабатываемой CPPS; провести экспериментальные исследования эффективности и практической апробации полученных теоретических результатов, путем сравнения классических методов и разработанных. **Результаты**: Объединены целевые, физические и кибернетические составляющие процесса управления разработки CPPS в едином информационном пространстве от начала разработки до его внедрения. Автоматизирован процесс проверки достижения главной цели разработки CPPS, который дает возможность вносить изменения и управлять процессом разработки CPPS на любом уровне и этапе предлагаемой технологии. Автоматизирован процесс управления разработки кибернетической составляющей на базе синтезированных алгоритмов функционирования с использованием GUI элементов объектно-ориентированных языков программирования, что позволило увеличить гибкость предложенной архитектуры и технологий автоматизации процесса разработки CPPS и сократить время разработки кибернетической составляющей. **Выводы**: предложенные модели и методы позволят не только автоматизировать процесс управления разработкой CPPS с "нуля", но и даст возможность автоматизировать процесс управления разработкой кибернетической составляющей для модернизации и усовершенствования уже существующих CPPS.

Ключевые слова: Industry 4.0; Cyber-physical Production Systems; технологический процесс; аналитически-логическая структура свіязей; управление; "OSCEM".

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Невлюдов І. Ш., Євсєєв В. В., Демська Н. П., Новоселов С. П. Розробка програмного модуля оперативно-диспетчерського контролю виробництва на базі кібер-фізичних систем керування. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 155–168. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.155

Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Demska, N., Novoselov, S. (2020), "Development of a software module for operational dispatch control of production based on cyber-physical control systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 155–168. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.155

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

УДК 006.7/8 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.169

О. М. Черняк, Н. А. Сороколат, І. В. Каницька

ГРАФОАНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КВАЛІМЕТРІЇ

Предметом дослідження в статті є метод визначення комплексного показника якості об'єктів кваліметрії, які мають показники якості з різними одиницями вимірювання. **Мета** роботи – запропонування методу визначення комплексного показника якості багатокритеріальних об'єктів кваліметрії, застосовуючи методи інтегрування. В статті вирішується наступне **завдання**: дослідити можливість оцінювання якості об'єктів кваліметрії графоаналітичним методом, тобто застосувати принцип визначення площі та об'єму під криволінійними поверхнями як на площині, так і в просторі, які створені шляхом об'єднання оцінок одиничних показників якості на безрозмірній шкалі. Використовуються **методи**: математичної статистики; кваліметрії. Отримано наступні **результати**: проведено аналіз наукової літератури з питань оцінювання якості об'єктів кваліметрії в частині існуючих математичних залежностей між виміряними показниками якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі. Показано, що, як правило, математичні залежності мають нелінійний характер і їх дослідження зводяться до розроблення універсальних методик, які можна було би застосовувати до об'єктів кваліметрії незалежно від їх природи, складності, важливості та інше. Дослідження, які пов'язані з нелінійними залежностями між виміряними показниками якості та їх оцінками на безрозмірній шкалі повинні базуватися на ідеології якості та мати фізичне пояснення. Маючи одиничні показники якості у єдиній (безрозмірній) шкалі оцінювання, запропоновано визначати єдиний комплексний показник якості об'єкту кваліметрії із застосуванням методів інтегрування. Запропоновано знайти площу під ламаною кривою, яка будується внаслідок об'єднання оцінок показників якості на безрозмірній шкалі протягом певного часу спостережень. Так як обчислення визначених інтегралів за формулою Ньютона-Лейбніца не завжди можливо, то для вирішення практичних завдань, досить знати наближене значення певного інтегралу з заданим ступенем точності, тому пропонується застосовувати методи чисельного інтегрування, методи: прямокутників та трапецій. Запропоновано методику визначення узагальненого показника якості об'єкту кваліметрії, яку можна вважати універсальною, так як її можна застосовувати для багатокритеріального оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи. **Висновки:** Для визначення комплексного показника якості багатокритеріальних об'єктів кваліметрії пропонується застосувати інтегрування методом середніх прямокутників. Запропоновано методику визначення комплексного показника якості об'єкту кваліметрії з застосуванням інтегрування, яка враховує отримання оцінок одиничних показників якості.

Ключові слова: об'єкт кваліметрії; показник якості; математичні залежності; метод прямокутників; метод трапецій.

Вступ

Виробництво якісних товарів – актуальне завдання національної економіки України, так як це одна із умов забезпечення конкурентоспроможності продукції національних виробників на європейських та міжнародних ринках. Для забезпечення якості продукції на виробництві існує ряд завдань, для вирішення яких необхідно застосовувати сучасні методи вимірювання, оцінювання, аналізування з метою управління технологічними процесами.

Продукція характеризується набором показників якості, які мають різні одиниці та діапазони вимірювання, тому необхідно володіти або великою кількістю методів оцінювання їх якості, або один, універсальний, який міг би застосовуватися для об'єктів кваліметрії різної природи. В даному випадку під об'єктом кваліметрії різної природи розуміємо різні види продукції, які мають різні показники якості зі своїми одиницями та діапазонами вимірювання.

Для розроблення такого методу необхідно вирішити декілька важливих задач, серед яких:

- визначити вид залежності між виміряним значення показника якості об'єкту кваліметрії та його оцінкою на безрозмірній шкалі;
- запропонувати метод об'єднання оцінок виміряних показників якості у єдину (комплексну) оцінку.

Для ефективного застосування математичних залежностей при оцінюванні об'єктів кваліметрії необхідно проведення ряду наукових досліджень, з метою досягнення їх універсальності та можливості застосування для оцінювання якості об'єктів різної природи.

Для визначення методу об'єднання оцінок виміряних показників якості у єдину (комплексну) оцінку необхідно враховувати особливості поняття "якість". Якість – це властивість об'єкту відповідати установленим чи вимогам споживача. При чому споживач свої вимоги може представляти різними доступними способами (угода, конструкторська документація, та ін.) та може змінювати їх з часом. Показник якості може змінюватися від нуля до одиниці, при чому, якщо він дорівнює нулю, то продукція являється бракованою. Вважається, що показник якості не може рівнятися одиниці, а може приближуватися до неї максимально близько. Такі особливості поняття "якість" обумовлюють вибір математичного апарату при оцінюванні якості об'єктів кваліметрії різної природи.

Таким чином, для оцінювання якості об'єктів кваліметрії актуальним являється проведення комплексу наукових досліджень, пов'язаних з визначенням універсальної математичної залежності між виміряними показниками якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі, та використовуючи отримані оцінки, розроблення графоаналітичного методу отримання комплексної оцінки якості об'єкту.

Аналіз методів визначення комплексного показника якості

Результати аналізу наукової літератури з питань оцінювання якості об’єктів кваліметрії підтвердили, що для отримання комплексної оцінки якості об’єкту вирішується дві задачі, а саме, для отримання комплексного показника якості необхідно, щоб одиничні показники мали єдині одиниці вимірювання, а для їх отримання потрібні знання про нелінійність їх оцінок з одиницями вимірювання. Адже відомо, що виміряні показники якості об’єктів, як правило, мають різні шкали вимірювання і не лінійно пов’язані з їх безрозмірною оцінкою, що у свою чергу потребує наукових досліджень щодо виду математичних залежностей.

Дослідження, які пов’язані з нелінійними залежностями між виміряними показниками якості та їх оцінками на безрозмірній шкалі повинні базуватися на ідеології якості та повинні мати фізичне пояснення. Серед таких залежностей є відомі залежності, виведені Гнеденко [1], та мають відношення до екстремальних статистик. Використавши теорію екстремальних статистик і запропоновані математичні залежності Гнеденко, американський дослідник Харрінгтон запропонував методику багатокритеріального оцінювання об’єктів різної природи [2] яку у подальшому Г. Г. Азгальдов [3] застосовував у своїх дослідженнях в галузі кваліметрії. Отже, у методиці, розробленій Харрінгтоном, математична залежність оцінок якості від їх виміряних показників визначається моделлю експоненціального типу:

$$F(x) = exp\left(- exp\left(-x\right)\right) \qquad (-\infty < x < \infty) . \qquad (1)$$

Для отримання оцінок показників якості на безрозмірній шкалі, автори [4,5] використовували залежності:

$$\begin{aligned} &а) F\left(x\right) = exp(-exp(-x));\\ &б) F\left(x\right) = 1 - exp(-exp(x)); \qquad (2)\\ &в) F(x) = (exp(-exp(-x)) + 1 - exp(-exp(x)))/2. \end{aligned}$$

Ту, чи іншу залежність автори пропонували вибирати експертним методом. Вибір однієї із залежностей залежав від того, на скільки показник якості являвся важливим для отримання комплексного показника. Тобто, якщо показник якості був менш важливим, то застосовували залежність (2б), якщо значно важливим, то застосовували залежність (2а). Залежність (2в) являється середнім значенням між двома залежностями.

Це можливо було зробити через принцип симетрії, яким характеризується модель (1). Графічно математичні залежності показано на рис. 1, з якого видно, що вибір тієї чи іншої залежності зменшує, або збільшує оцінку якості на безрозмірній шкалі.

Використовуючи принцип симетрії, автори [6] запропонували отримати ще дві залежності та застосували їх для багатокритеріального оцінювання якості у навчальному закладі.

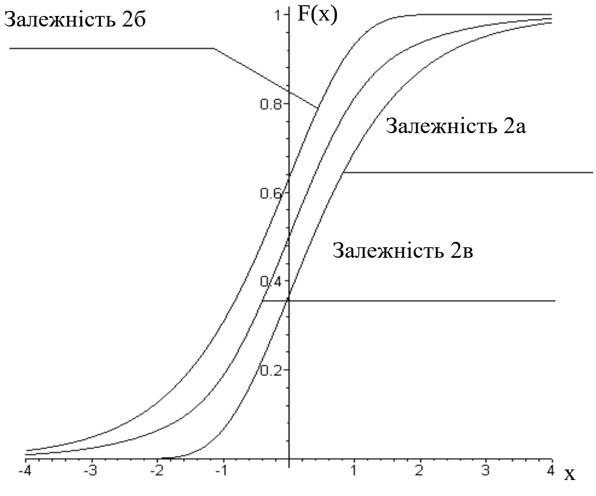


Рис. 1. Математичні залежності між виміряним значенням показника якості та його оцінкою

$$F(x) = \frac{3exp(-exp(-x)) + 1 - exp(-exp(x))}{4}, \qquad (3)$$

та

$$F_4(x) = \frac{exp(-exp(-x)) + 3(1 - exp(-exp(x)))}{4}. \qquad (4)$$

В результаті проведених досліджень, були отримані залежності, які давали можливість отримувати оцінки показників якості будь якого об’єкту кваліметрії на безрозмірній шкалі.

Автори [7,9] застосовували інший вид залежності для отримання оцінок показників якості на безрозмірній шкалі, яка має вид:

$$F_x = \left(\frac{x_i - x_{i\,min}}{x_{i\,max} - x_{i\,min}}\right)^k, x_{i\,min} \le x_i \le x_{i\,max}, \qquad (5)$$

де x_i – дійсне значення показника якості; $x_{i\,min}$ – мінімальне значення показника якості; $x_{i\,max}$ – максимальне значення показника якості; k – параметр форми, який визначається експертним методом. На рис. 2 показано вид залежностей в залежності від показника параметру форми, який назначається експертним методом в залежності від важливості одиничного показника якості.

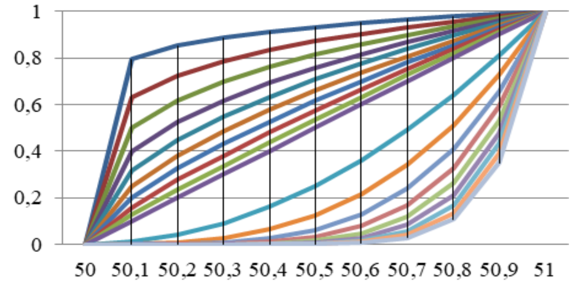


Рис. 2. Вид залежностей в залежності від показника параметру форми

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

Часто, для отримання оцінок показників якості на безрозмірній шкалі застосовують метод SAW (просте адитивне зважування) [10,11], при якому застосовують вагові коефіцієнти для одиничних показників якості, які теж назначаються експертним методом. Також застосовується метод багатокритеріального оцінювання, при якому застосовується еталонне значення якості – метод TOPSIS [12,13]. Його також застосовують для визначення комплексного показника якості об'єктів кваліметрії. [14,15]. Для оцінювання процесів у соціальних дослідженнях часто застосовуються методи: PROMETHEE (метод організації рейтингу переваг для оцінки збагачення); MOORA (багатоцільова оптимізація за допомогою аналізу відносин); WASPAS (Зважена сукупність оцінок показника якості)різних соціальних об'єктів [16-18]. Для отримання комплексної оцінки показників якості об'єктів кваліметрії застосовують середні значення їх показників, часто з використанням вагових коефіцієнтів. Такий підхід не завжди прийнятний для оцінювання якості об'єктів, тому не може розглядатися як єдиний можливий, тому є необхідність у розробці нових методів та методик отримання комплексного показника якості об'єктів кваліметрії, що характеризуються різноманітністю показників їх якості.

Метою роботи є запропонування графоаналітичного методу визначення комплексного показника якості багатокритеріальних об'єктів кваліметрії.

Вирішення завдання

Маючи одиничні показники якості у єдиній (безрозмірній) шкалі оцінювання, можемо визначити єдиний комплексний показник якості об'єкту кваліметрії, для чого пропонується застосувати метод інтегрування. Якщо вимірювати показник якості протягом певного часу, то отримаємо часовий ряд. Якщо об'єднати значення оцінок показника якості на часовому ряду, то отримаємо ламану лінію, як показано на рис. 3. Якщо вимірювати декілька показників якості протягом певного часу, то отримаємо декілька часових рядів і при об'єднанні їх значень отримаємо ламану поверхню, як показано на рис. 4.

Рис. 3. Часовий ряд оцінок показників якості

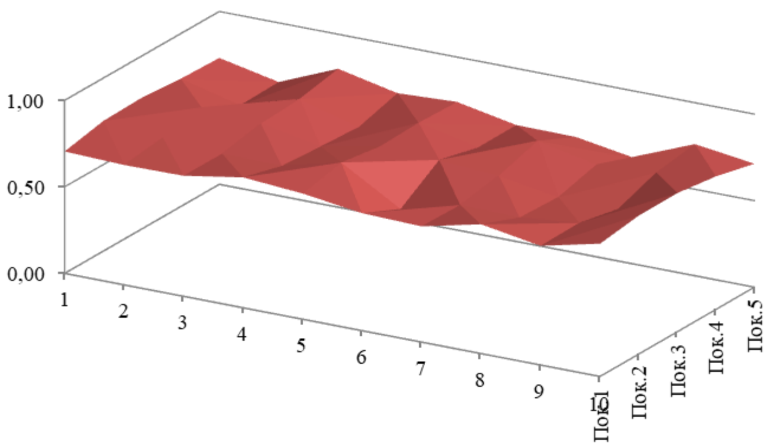


Рис. 4. Часовий ряд декількох оцінок показників якості

Тобто, пропонується знайти площу під ламаною кривою, яка будується внаслідок об'єднання оцінок показників якості на безрозмірній шкалі протягом певного часу спостережень. Для цього є одна важлива умова, а саме необхідно, щоби усі шкали мали єдину безрозмірну одиницю вимірювання. Одна із шкал (ОУ) характеризується безрозмірністю, так як оцінки отримали безрозмірну одиницю вимірювання, застосовуючи математичні залежності.

Для отримання безрозмірної шкали (ОХ) необхідно визначити крок інтегрування $h = \frac{1}{n}$, де n –

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

кількість виміряних значень одного показника якості об'єкту з часом. Для отримання безрозмірної шкали (OZ) необхідно визначити крок інтегрування, який залежить від кількості одиничних показників якості, тобто $k = \frac{1}{m}$, де m – кількість одиничних показників якості об'єкту кваліметрії. У результаті проведених перетворень шкал отримали систему координат з безрозмірними шкалами, тобто у сі шкали мають межі (0 – 1), що дає можливість зручно застосовувати існуючі спрощені методи інтегрування.

Обчислення визначених інтегралів за формулою Ньютона-Лейбніца не завжди можливо, так як. багато підінтегральних функції не мають похідних у вигляді елементарних функцій, тому в багатьох випадках важко знайти точне значення певного інтегралу. Але часто, для вирішення практичних завдань, досить знати наближене значення певного інтегралу з заданим ступенем точності. У такому випадку можна застосовувати методи чисельного інтегрування, методи прямокутників та трапецій, методи Сімпсона, парабол та ін.

Розглянемо докладно метод прямокутників для наближеного обчислення певного інтегралу [19]. Якщо відрізок інтегрування [a; b] розбити на рівні частини довжини h точками: $a = x_0$, $x_1 = x_0 + h$, $x_2 = x_0 + 2h$ x_2, ..., $x_{(n-1)} = x_0 + (n-1)h$, $x_n = x_0 + nh = b$, і в якості точок ξ_i вибрати середини елементарних відрізків ($h = x_{i-1}$; x_i), i = 1, 2, …, n, то можна записати інтеграл у вигляді:

$$\int_a^b f(x)dx \approx h\sum_{i=1}^{n} f(x_{i-1} + \frac{h}{2}). \qquad (6)$$

Формулу (6) називають формулою методу середніх прямокутників через спосіб вибору точок ξі з кроком розбиття відрізка [a;b] – $h = \frac{(b-a)}{n}$. Графічна ілюстрація методу середніх прямокутників показано на рис. 5.

Абсолютна похибка формули прямокутників на відрізку [a; b] дорівнює сумі похибок на кожному елементарному інтервалі, тому [19]:

$$\delta_n = \sum_{i=1}^{n} \int_{xi-1}^{xi} \left(f(x) - f\left(x_{i-1} + \frac{h}{2} \right) \right) dx. \qquad (7)$$

Розглянемо докладно метод трапецій для наближеного обчислення визначеного інтегралу. Формула для наближеного обчислення інтегралу методом трапецій має вид:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{x_i - x_{i-1}}{2} \cdot (f(x_0) + 2\sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n)). \qquad (8)$$

Похибка, при застосуванні методу трапецій складає:

$$|\sigma_n| \le \max_{x\in[a;b]} |f''(x)| \cdot \frac{(b-a)^3}{12n^2}. \qquad (9)$$

Графічна ілюстрація методу трапецій показано на рис. 6.

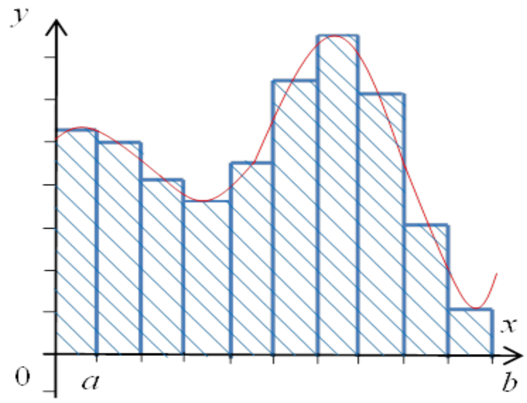


Рис. 5. Графічна ілюстрація методу середніх прямокутників

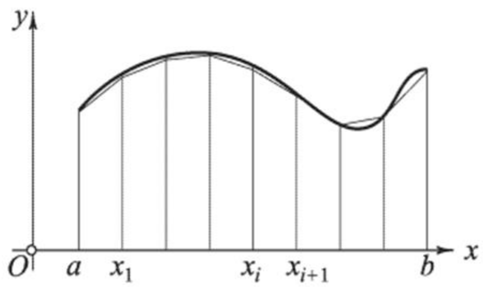


Рис. 6. Графічна ілюстрація методу трапецій

Той, чи інший метод інтегрування може мати місце для визначення комплексного показника якості в залежності від ступеню розсіювання оцінок одиничних показників якості, тобто від їх дисперсії. Чим більше ступінь їх розсіювання, тим більша похибка при застосуванні методу прямокутників. Тому вибір того чи іншого методу інтегрування здійснюється у кожному випадку окремо експертом-дослідником.

Для інтегрування часового ряду пропонується використовувати формулу, застосовуючи метод середніх прямокутників:

$$S = \sum_{i=1}^{n} f(x_i) \int_{x_{i-\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{1}{2}}} dx. \qquad (10)$$

Для об'єктів кваліметрії, які характеризуються декількома показниками якості для визначення їх комплексного показника протягом певного періоду часу вимірювання їх одиничних показників пропонується застосувати формулу:

$$V = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} f(x_i y_j) \int_{x_{i-\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{1}{2}}} dx \int_{y_{j-\frac{1}{2}}}^{y_{j+\frac{1}{2}}} dy, \qquad (11)$$

де i = 1, 2,…n; j = 1, 2, …m.

В такому випадку отримаємо об'єм під криволінійною поверхнею, що і буде являтися комплексним показником якості об'єкту кваліметрії.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

Наукова новизна запропонованого методу полягає у тому, що вперше пропонується визначати комплексний показник якості при оцінюванні якості багатокритеріальних об’єктів кваліметрії графоаналітичним методом. Запропонований метод має такі переваги над існуючими:

- висока точність, так як похибкою методу являється похибка визначення інтегралу. Зменшуючи крок інтегрування можна зменшувати похибку методу;
- універсальність, адже можна застосовувати для багатокритеріального оцінювання об’єктів кваліметрії різної природи.
- простота у застосуванні та програмуванні з метою автоматизації розрахунків.

Пропонується метод визначення комплексного показника якості об’єкту кваліметрії, який складається з ряду кроків:

Крок 1. Вимірюються дійсні показники якості об’єкту кваліметрії в одиницях його вимірювання.

Крок 2. Використовуючи одну із залежностей (1-4) або (5) визначають оцінки кожного показника якості на безрозмірній шкалі.

Крок 3. Будують часовий ряд зміни оцінки кожного показника якості з часом у вигляді, показаному на рис. 3.

Крок 4. Використовуючи формулу (10) визначають площу під ламаною лінією, яка будується в результаті об’єднання оцінок протягом певного проміжку часу.

Крок 5. Використовуючи формулу (11) визначають об’єм під ламаною площиною, яка будується в результаті об’єднання усіх оцінок усіх показників якості протягом певного проміжку часу.

Величина об’єму під ламаною площиною буде являтися комплексною оцінкою якості об’єкту кваліметрії з часом.

Таку методику можна застосовувати для багатокритеріального оцінювання якості об’єктів кваліметрії різної природи.

Висновки

Для визначення комплексного показника якості багатокритеріальних об’єктів кваліметрії пропонується застосувати інтегрування методом середніх прямокутників.

Запропоновано метод визначення комплексного показника якості об’єкту кваліметрії з застосуванням інтегрування, який враховує отримання оцінок одиничних показників якості.

Запропонований метод можна вважати універсальним, оскільки його можна застосовувати для багатокритеріального оцінювання якості об’єктів кваліметрії різної природи.

Список літератури

1. Александров П. С. Лекции по аналитической геометрии. М. : Наука. 1968. 912 с.
2. Harrington E. C. Jr. The desirability Function. Industr. Quality Control. 1965. April. P. 2–9.
3. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. М. : Издательство стандартов, 1972. 172 с.
4. Трищ Р. М., Слитюк Е. А. Обобщённая точечная и интервальная оценки качества изготовления детали ДВС. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2006. № 1/2 (19). С. 63–67.
5. Трищ Р. М., Слитюк Е. А. Точечная и интервальная оценки качества изделий. *Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць*. НТУ "ХПІ". 2006. № 27. С. 96–102.
6. Ginevičius R., Trishch H., Petraškevičius V. Quantitative assessment of quality management systems’ processes. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2015. № 28:1, P. 1096-1110. DOI: https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1087676
7. Trishch R., Maletska O., Cherniak O., Semionova Ju., Jancis V. Analysis of the requirements of international and national standards for measure-ment methods and metrological equipment. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. № 1 (11). P. 156–162. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.156
8. Cherniak O., Trishch R., Kim N., Ratajczak S. Quantitative assessment of working conditions in the workplace. *Engineering Management in Production and Services*. 2020. № 12 (2). P. 99–106. DOI: https://doi.org/10.2478/emj-2020-0014
9. Trisch R., Gorbenko E., Dotsenko N., Kim N., Kiporenko A. Development of qualimetric approaches to the processes of quality management system at enterprises ac-cording to international standards of the ISO 9000 series. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 4/3 (82). P. 18–24. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75503
10. Ginevičius R., Podvezko V. Complex assessment of sustainable development of state regions with emphasis on ecological and dwelling conditions. *Ekologija*. 2007. № 53. P. 41–48.
11. Ginevičius R., Podvezko V. A feasibility study of multicriteria methods application to quantitative evaluation of social phenomena. *Business: Theory and Practice*. 2008. №9. P. 81–87. DOI: https://doi.org/10.3846/1648-0627.2008.9.81-87
12. Ginevičius R., Podviezko A. The evaluation of financial stability and soundness of Lithuanian Banks. *Ekonomska istraživanja: znanstveno stručni časopis*. 2013. № 26. P. 191–208.
13. Ginevičius R., Suhajda K., Šimkūnaitė J. Lithuanian experience of quantitative evaluation of socioeconomic system position by multicriteria methods. Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2014. № 110. P. 952–960. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.941
14. Šimelytė A., Antanavičienė J. The effect of investment promotion on FDI flows: A case of the Baltic States. *Business: Theory and Practice*. 2013. № 14. P. 200–208. DOI: https://doi.org/10.3846/btp.2013.21
15. Beinoraitė Š., Drejeris R. Population entrepreneurship measurement model. *Business: Theory and Practice*. 2014. № 15. P. 199–209. DOI: https://doi.org/10.3846/btp.2014.20
16. Krivka A. Complex evaluation of the economic crisis impact on Lithuanian industries. *Journal of Business Economics and Management*. 2014. № 15. P. 299–315. DOI: https://doi.org/10.3846/16111699.2013.867277
17. Brauers W., Ginevičius R., Podviezko A. Development of a methodology of evaluation of financial stability of commercial banks. *Panoeconomicus*. 2014. № 61. P. 349–367. DOI: https://doi.org/10.2298/PAN1403349B
18. Hashemkhani Zolfanir S., Maknoon E., Zavadskas K. Multiple Nash equilibriums and evaluation of strategies. New application of MCDM methods. *Journal of Business Economics and Management*. 2015. № 16. P. 290–305. DOI: https://doi.org/10.3846 / 16111699.2014.967715

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

19. Метод прямоугольников. веб-сайт. URL: http://mathprofi.ru/metod_prjamougolnikov.html (дата звернення: 28.11.2020).

References

1. Aleksandrov, P. S. (1968), Analytical Geometry Lectures [Lektsii po analiticheskoy geometrii], Nauka, Moscow, 912 p.
2. Harrington, E. C. Jr. (1965), "The desirability Function", *Industr. Quality Control*, April, P. 2–9.
3. Azgal'dov, G. G., Rajhman, Je. P. (1972), *About kvalimetriia* [*O kvalimetrii*], Izdatel'stvo standartov, Moscow, 172 p.
4. Trishch, R. M., Slityuk, E. A. (2006), "Generalized point and interval evaluation items ICE workmanship" ["Obobshchonnaya tochechnaya i interval'naya otsenki kachestva izgotovleniya detali DVS"], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 1/2 (19), P. 63–67.
5. Trishch, R. M., Slityuk, E. A. (2006), "Spot and interval evaluation of product quality" ["Tochechnaja i interval'naja ocenki kachestva izdelij"], *Bulletin of the NTU "KhPI". Collection of scientific works*, No. 27, P. 96–102.
6. Ginevičius, R., Trishch, H. Petraškevičius, V. (2015), "Quantitative assessment of quality management systems’ processes", *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, No. 28:1, P. 1096–1110. DOI: https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1087676
7. Trishch, R., Maletska, O., Cherniak, O., Semionova, Ju., Jancis, V. (2020), "Analysis of the requirements of international and national standards for measure-ment methods and metrological equipment", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (11), P. 156–162. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.156
8. Cherniak, O., Trishch, R., Kim, N., Ratajczak, S. (2020), "Quantitative assessment of working conditions in the workplace", *Engineering Management in Production and Services*, No. 12 (2), P. 99–106. DOI: https://doi.org/10.2478/emj-2020-0014
9. Trisch, R., Gorbenko, E., Dotsenko, N., Kim, N., Kiporenko, A. (2016), "Development of qualimetric approaches to the processes of quality management system at enterprises ac-cording to international standards of the ISO 9000 series", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 4/3 (82), P. 18–24. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75503.
10. Ginevičius, R., Podvezko, V. (2007), "Complex assessment of sustainable development of state regions with emphasis on ecological and dwelling conditions", *Ekologija*, No. 53, P. 41–48.
11. Ginevičius, R., Podvezko, V. (2008), "A feasibility study of multicriteria methods application to quantitative evaluation of social phenomena", *Business: Theory and Practice*, No. 9, P. 81–87. DOI: https://doi.org/10.3846/1648-0627.2008.9.81-87
12. Ginevičius, R., Podviezko, A. (2013), "The evaluation of financial stability and soundness of Lithuanian Banks", *Ekonomska istraživanja: znanstveno stručni časopis*, No. 26, P. 191–208.
13. Ginevičius, R., Suhajda, K., Šimkūnaitė, J. (2014), "Lithuanian experience of quantitative evaluation of socioeconomic system position by multicriteria methods", *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, No. 110, P. 952–960. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.941
14. Šimelytė, A., Antanavičienė, J. (2013), "The effect of investment promotion on FDI flows: A case of the Baltic States", *Business: Theory and Practice*, No. 14, P. 200–208. DOI: https://doi.org/10.3846/btp.2013.21
15. Beinoraitė, Š., Drejeris, R. (2014), "Population entrepreneurship measurement model", *Business: Theory and Practice*, No. 15, P. 199–209. DOI: https://doi.org/10.3846/btp.2014.20
16. Krivka, A. (2014), "Complex evaluation of the economic crisis impact on Lithuanian industries", *Journal of Business Economics and Management*, No. 15, P. 299–315. DOI: https://doi.org/10.3846/16111699.2013.867277
17. Brauers, W., Ginevičius, R., Podviezko, A. (2014), "Development of a methodology of evaluation of financial stability of commercial banks", *Panoeconomicus*, No. 61, P. 349–367. DOI: https://doi.org/10.2298/PAN1403349B
18. Hashemkhani Zolfanir, S., Maknoon, E., Zavadskas, K. (2015), "Multiple Nash equilibriums and evaluation of strategies. New application of MCDM methods", *Journal of Business Economics and Management*, No. 16, P. 290–305. DOI: https://doi.org/10.3846/16111699.2014.967715
19. "Method of rectangles" ["Metod prjamougol'nikov"], available at: http://mathprofi.ru/metod_prjamougolnikov.html (last accessed 28.11.2020).

Надійшла (Received) 30.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Черняк Олена Миколаївна – кандидат технічних наук, Українська інженерно-педагогічна академія, старший викладач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації, Харків, Україна; email: olena-cherniak@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6167-8809.

Черняк Елена Николаевна – кандидат технических наук, Украинская инженерно-педагогическая академия, старший преподаватель кафедры охраны труда, стандартизации и сертификации, Харьков, Украина.

Cherniak Olena – PhD (Engineering Sciences), Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Senior Lecturer of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification, Kharkiv, Ukraine.

Сороколат Наталія Андріївна – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Харків, Україна; email: n.a.sorokolat@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0140-9364.

Сороколат Наталия Андреевна – Украинская инженерно-педагогическая академия, аспирантка кафедры охраны труда, стандартизации и сертификации, Харьков, Украина.

Sorocolat Nataliia – Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Graduate Student of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification, Kharkiv, Ukraine.

Каницька Ірина Вікторівна – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Харків, Україна; email: irinadovgopolaya@icloud.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7001-8340.

Каницкая Ирина Викторовна – Украинская инженерно-педагогическая академия, аспирантка кафедры охраны труда, стандартизации и сертификации, Харьков, Украина.

Kanytska Iryna – Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Graduate Student of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification, Kharkiv, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ КВАЛИМЕТРИИ

Предметом исследования в статье является метод определения комплексного показателя качества объектов квалиметрии, которые имеют показатели качества с различными единицами измерения. **Цель** работы – предложить метод определения комплексного показателя качества многокритериальных объектов квалиметрии, применяя методы интегрирования. В статье решается следующая **задача**: исследовать возможность оценивания качества объектов квалиметрии графоаналитическим методом, то есть применить принцип определения площади и объема под криволинейными поверхностями, как на плоскости, так и в пространстве, созданных путем объединения оценок единичных показателей качества на безразмерной шкале. Используются **методы**: математической статистики; квалиметрии. Получены следующие **результаты**: проведен анализ научной литературы по вопросам оценки качества объектов квалиметрии в части существующих математических зависимостей между измеренным показателям качества и их оценке на безразмерной шкале. Показано, что, как правило, математические зависимости имеют не линейный характер и их исследования сводятся к разработке универсальных методик, которые можно было бы применять к объектам квалиметрии независимо от их природы, сложности, важности и прочее. Исследования, связанные с нелинейными зависимостями между измеренным показателям качества и их оценками на безразмерной шкале должны базироваться на идеологии качества и иметь физическое объяснение. Имея единичные показатели качества в единой (безразмерной) шкале оценивания, предложено определять единый комплексный показатель качества объекта квалиметрии с применением методов интегрирования. Предложено найти площадь под ломаной кривой, которая строится в результате объединения оценок показателей качества на безразмерной шкале в течение определенного времени наблюдений. Так как вычисление определенных интегралов по формуле Ньютона-Лейбница не всегда возможно, и часто, для решения практических задач, достаточно знать приближенное значение определенного интеграла с заданной степенью точности, поэтому предлагается применять методы численного интегрирования, методы: прямоугольников и трапеций. Предложена методика определения обобщенного показателя качества объекта квалиметрии, которую можно считать универсальной, так как ее можно применять для многокритериального оценивания качества объектов квалиметрии различной природы. **Выводы**: Для определения комплексного показателя качества многокритериальных объектов квалиметрии предлагается применить интегрирование методом средних прямоугольников. Предложена методика определения комплексного показателя качества объекта квалиметрии с применением интегрирования, которая учитывает получения оценок единичных показателей качества.

Ключевые слова: объект квалиметрии; показатель качества; математические зависимости; метод прямоугольников; метод трапеций.

GRAPH ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE COMPLEX QUALITY INDICATOR OF QUALIMETRY OBJECTS

The **subject** of research in the article is a method for determining a complex quality indicator of qualimetry objects that have quality indicators with different units of measurement. The **purpose** of the work is proposing a method for determining a complex quality indicator of multicriteria objects of qualimetry, using integration methods. The article solves the following task: to investigate the possibility of assessing the quality of qualimetry objects by graph analytical method, ie to apply the principle of determining the area and volume under curved surfaces both on the plane and in space, created by combining estimates of unit quality indicators on dimensionless scale. The following **methods** are used: mathematical statistics; qualimetry. The following **results** were obtained: the analysis of scientific literature on quality assessment of qualimetry objects in terms of existing mathematical relationships between the measured quality indicators and their assessment on a dimensionless scale was carried out. It was shown that, as a rule, mathematical dependences are nonlinear and their research is reduced to the development of universal methods that could be applied to objects of qualimetry, regardless of their nature, complexity, importance, etc. Research that involves nonlinear relationships between measured quality scores and their estimates on a dimensionless scale should be based on quality ideology and have a physical explanation. Having single quality indicators in a single (dimensionless) rating scale, it is proposed to determine a single comprehensive quality indicator of the object of qualimetry using integration methods. It is proposed to find the area under the broken curve, which is built as a result of combining estimates of quality indicators on a dimensionless scale over a period of observations. Since the calculation of definite integrals by the Newton-Leibniz formula is not always possible, to solve practical problems, it is enough to know the approximate value of a certain integral with a given degree of accuracy, so it is proposed to use methods of numerical integration, methods: rectangles and trapezoids. A method for determining a generalized indicator of the quality of the object of qualimetry, which can be considered universal, as it can be used for multi-criteria assessment of the quality of objects of qualimetry of different nature. **Conclusions**: To determine the complex quality indicator of multicriteria qualimetry objects, it is proposed to apply integration by the method of average rectangles. The method of definition of a complex indicator of quality of object of qualimetry with application of integration which considers receipt of estimations of unit indicators of quality is proposed.

Keywords: qualimetry object; quality indicator; mathematical dependencies; rectangle method; trapezoid method.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Черняк О. М., Сороколат Н. А., Каницька І. В. Графоаналітичний метод визначення комплексного показника якості об'єктів кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 169–175. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.169

Cherniak, O., Sorocolat, N., Kanytska, I. (2020), "Graph analytical method for determining the complex quality indicator of qualimetry objects", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 169–175. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.169

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

UDC 621.373.826 DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.176

A. PASHCHENKO, O. GRITSUNOV, O. BABICHENKO

ENERGY STATES OF PARTICLES IN A QUANTUM SIZED STRUCTURE WITH A COMPLEX SHAPED BAND DIAGRAM

The **subject** of research in the article is the energy spectrum of a multilayer quantum sized structure with an energy profile of a complex shape. The **goal** of this work is to study the interaction of quantum-confined and quasi- continuum energy states of particles under the action of an external stationary electric field applied perpendicular to the planes of quantum confinement. The following **tasks** were solved in the article: The spectrum of eigenfunctions and eigenvalues of particle energy is determined, both in the area of the quantum confinement and in the area of the quasi-continuum. The definition of the eigenfunctions takes into account the fact that the phase of the eigenfunctions changes due to the motion of particles over the quantum well. The following **methods** were used to solve the set tasks: quantum mechanical modeling of stationary states in a structure with an energy profile of a complex shape; methods of the theory of small perturbations for describing the interaction of particles in such a structure. The following **results** were obtained: the basic calculation relations of the mathematical model of the energy states of particles and quasiparticles in quantum-limited and quasi-continuum states were obtained within the framework of the quantum-mechanical approach. The interaction of energy states of particles and quasiparticles in each of the bands between quantum-confined and quasi-continuum states is described depending on the external influence. The theory of small perturbations is applied in the paper to assess the degree of interaction. **Conclusions**: Analysis of the results of modeling the energy spectrum of a structure with two quantum wells, calculated for an unperturbed state and for the case of external action in the form of a stationary electric field, leads to the following conclusions: in the absence of an external field acting on the considered quantum well structure, electrons and holes located above the separation barrier are characterized by a non-monotonically increasing spectrum of energy states. In this case, the particles are predominantly localized above the quantum wells; the action of a constant external electric field on the structure under consideration leads to the manifestation of the quantum-limited Stark effect both for solitary and for multilayer periodic quantum well structures. In this case, the delocalization of the wave functions and the shift of the corresponding energy levels (the lowest energy levels in the structure under consideration) is expressed as strongly as in multilayer symmetric structures. At the same time, the effect is almost invisible for the higher levels. This is especially pronounced for the energy levels lying above the separation barrier. Thus, it can be expected that an equidistant energy spectrum can be realized at a certain external field strength, which in turn should simplify significantly the attainment of the second harmonic generation mode if the structure under consideration is used in the active region of a semiconductor laser.

Keywords: energy spectrum; quantum limitation; wave function; electron; heavy hole; easy hole; quasi-continuum.

Introduction

Optical nonlinearity in superlattices becomes pronounced when the so-called resonance condition is satisfied, when the energy levels of the spectrum of the system are located equidistantly and the difference in their energies is a multiple of the photon energy of the primary radiation. The problem of finding the limiting potential that ensures the equidistance of several energy levels is a complex variational problem, which, even with a fixed form of the potential, does not have an unambiguous solution. The potential parameters can be varied in such a way that when the positions of the levels change, the equidistance between them is preserved. In turn, the variation of the parameters, without violating the resonance conditions, strongly affects the values of the dipole matrix elements, which in turn can lead to a significant change in the values of the optical characteristics of the system. Thus, by changing the parameters of the structure, a large value of the second harmonic generation (SHG) coefficient can be achieved. At the same time, the maximum SHG coefficient does not mean at all that the observed intensity of the generated radiation at the doubled frequency will necessarily be maximum. Indeed, in the double resonance regime, both lasing and generated radiation can be strongly absorbed, i.e., resonant optical transitions can lead to strong lasing at the frequency 2ω, but at the same time to strong absorption at frequencies ω and 2ω [1-6].

From what has been said, in particular, it follows that the problem of finding the conditions for optimal generation for the second harmonic cannot be completely solved within the framework of microscopic theory, i.e. by revealing the parameters of a nanostructure with a maximum SHG coefficient or a minimum value of the absorption coefficient at a doubled frequency. The complete optimization theory, along with the determination of the optical characteristics of the system, should also consider the solutions of the equations of macroscopic fields that determine the intensities of the main and generated radiation at different values of the optical characteristics of the system.

In connection with the problem of SHG radiation in the infrared region of wavelengths due to both interband and intersubband optical transitions, there are numerous asymmetric low-dimensional structures with several equidistantly spaced energy levels. Such as quantum wells with a complex structure or simple wells located in a built-in or external electric field. Nonlinear optical properties of asymmetric quantum-well semiconductor structures are applicable to heterosystems GaAs/AlGaAs, Si/SiGe, AlInAs/GaInAs, GaN/AlGaN [5, 8-13].

Analysis of the problem and existing methods

With the development of nanoelectronics and its semiconductor element base, researchers are paying more and more attention to the creation of semiconductor nanoelectronic devices for both optoelectronic and non-optoelectronic applications. In the production of

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

nanoelectronic devices, a number of technological problems arise: the integration of discrete nanoelectronic devices and their simplest assemblies into standard microelectronic circuits with a well-established technological implementation. The creation of purely nanoelectronic circuits is still a serious problem; creation of reliable electrical connections both between nano-sized circuit elements and between nano- and microelectronic components; temperature stability of nanoelectronic elements; bringing the parameters of the newly created nanoelectronic element base to existing standards for one or another type of equipment, or creating new standards; suppression of undesirable effects in the operation of a new element base, the occurrence of which is associated with the quantum nature of physical processes occurring in the active regions of nanoelectronic devices, etc.

The greatest interest in the creation and modernization of the element base of nanoelectronics is the production of discrete elements for optoelectronic and non-optoelectronic applications, such as injection semiconductor lasers and highly directional high-power LEDs, amplifiers and modulators of optical radiation, as well as field-effect transistors with a nanochannel, resonant tunneling diodes, resonant-tunnel transistors, bipolar transistors with nanoscale base. With the development of technological methods of nanoelectronics, special attention is paid to the creation of semiconductor devices with superlattices [7-10].

As the main materials for the creation of semiconductor nanoelectronic devices, double AIIIBV compounds and their ternary and quaternary solid solutions were most often used. The choice of this group of materials is based on their wide use in microwave semiconductor electronics. In the last five to six years, the attention of researchers has been attracted by AIIBVI semiconductor compounds and their ternary and quaternary compounds. This group of materials was also used to create devices for semiconductor microwave electronics and optoelectronics, however, since this group of materials contains a large number of volatile compounds, the temperature instability of which manifests itself in technologically used temperature ranges, it was difficult to create high-quality and sharp p-n junctions based on materials of this group. For this reason, devices based on AIIIBV compounds, and especially AIIBVI compounds, have not become widespread, except for individual samples and series of devices.

With the development of epitaxial technologies, a previously inaccessible opportunity has appeared to vary the energy diagram of semiconductor structures both in the width of the regions and the height of potential barriers, and in the directions of crystal growth. It became possible to create structures with alternating materials in a given order with different electrophysical and crystallographic properties. The concept of "zone engineering" appeared, which implies the artificial production of materials with electrophysical properties that do not exist in nature.

This work is devoted to the study of quasicontinuous states that arise in multilayer quantum-dimensional structures in the case when the internal potential barriers are lower than the external ones, between which the energy states of particles arise, much higher than the ground states in individual quantum-limited regions and also experiencing quantum confinement.

Highlighting previously unsolved parts of a common problem. Purpose of the work

The possibility of obtaining layers with an arbitrary profile of changing the composition made it possible to use structures with quantum wells (QWs) of complex shapes to improve the characteristics of devices. Thus, to create a new generation of resonant tunneling diodes and heterolasers with separate electronic and optical confinement, structures with rectangular QWs are used, in the center of which there is an additional dip (fig. 1).

Varying the structural parameters of the double quantum well makes it possible, at the design stage of the structure, to "tune" the semiconductor laser or optical amplifier to a given frequency (wavelength) of an external source.

A change in the width of the separating barrier for a given thickness of the entire structure and the position of the barrier in the structure can maintain a given energy distance between the levels within a fairly wide range.

Changing the height of the limiting barriers of the structure allows you to plan frequency doubling in the direction of increasing the frequency of the external signal.

The growth of semiconductor nanostructures with almost arbitrary, predetermined, structural and compositional characteristics using modern technologies does not pose significant difficulties. Thanks to this, at present, it has become possible to implement low-dimensional systems with the required properties of the energy spectrum, as well as the degree of overlap of the wave functions of various energy levels of dimensional quantization. This capability, in turn, makes it possible not only to design and create various highly efficient optical devices with active elements based on quantum objects, but also on the basis of appropriate calculations of the parameters of these objects to optimize their performance. [1, 2, 17].

The problem of finding the conditions for optimal generation for the second harmonic cannot be completely solved within the framework of microscopic theory, i.e. revealing the parameters of the nanostructure with the maximum SHG coefficient or the minimum value of the absorption coefficient at the doubled frequency. The complete optimization theory, along with the determination of the optical characteristics of the system, should also consider the solutions of the equations of macroscopic fields that determine the intensities of the main and generated radiation at various values of the optical characteristics of the system.

In connection with the problem of SHG radiation in the infrared region of wavelengths caused by both interband and intersubband optical transitions, numerous asymmetric low-dimensional structures with several equidistantly spaced energy levels were considered. Thus, quantum wells with a complex structure or simple wells

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

located in a built-in or external electric field were considered [7, 8, 10, 13, 16].

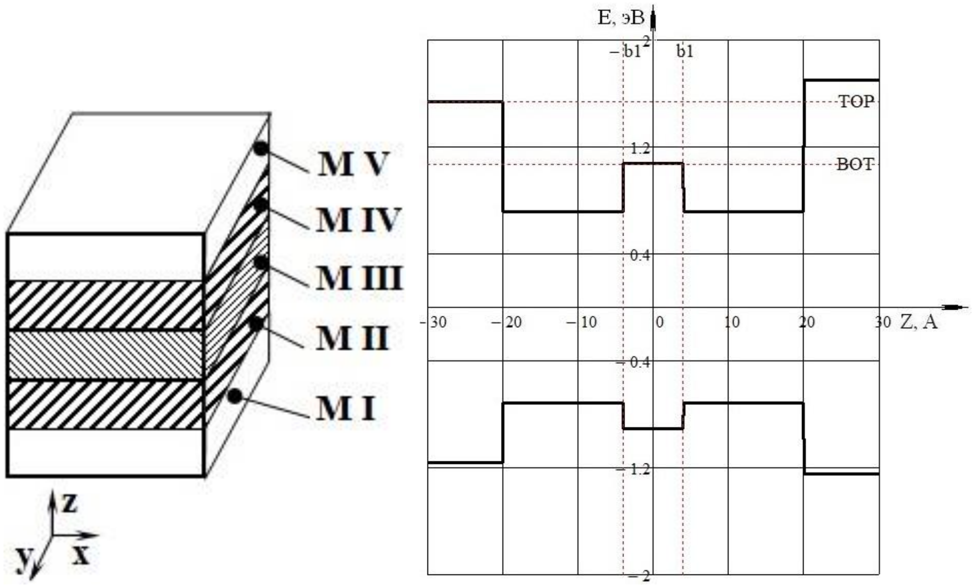
The **aim** of this work is to study the interaction of quantum-confined and quasicontinuum energy states of particles under the action of an external stationary electric field applied perpendicular to the planes of quantum confinement.

Materials and methods

One of the most common quantum dimensional structures with a complex energy profile is shown in fig. 1, general view - fig. 1a, and the energy diagram is shown in fig. 1b. Moreover, the shown structure can be used both by itself and as part of a repeating construct - as an element of a complex superlattice.

The structure considered in this work is based on GaAs/AlXGa1-XAs materials and is five-layer. The materials of the first and fifth layers MI, MV, consist of the AlXGa1-XAs solid solution with the maximum aluminum content, which provides the largest band gap in these layers, and, as a consequence, the highest potential barriers for carriers of both types throughout the structure.

The materials of the second and fourth layers - M II, M IV, on the contrary, have a minimum aluminum content or completely consist of gallium arsenide. This ensures the formation of rectangular quantum wells in the second and fourth layers for carriers of both types. In the material of the third layer - M III, the aluminum content is higher than in the materials of the second and fourth layers, but less than in the materials of the first and fifth layers of the structure. Thus, in the second, third, and fourth layers above the potential barrier of the third layer and between the potential barriers of the first and fifth layers, a quasi-continuum zone is formed, since the carriers in the second and fourth layers experience quantum confinement, their thickness does not exceed the de Broglie wavelength, the thickness of the separation barrier is also small since the barrier is considered to be permeable; however, the total distance between the barriers of the first and fifth layers, in the general case, can approach the values of a bulk sample [5–7].



a) *b)*

M I - M V - designations of materials of layers of a quantum dimensional structure; Ec and Ev are the boundaries of the conduction and valence bands, respectively; -b, b - boundaries of the central part of the structure - the barrier above which the state of the quasi-continuum is formed; markers "TOP" and "BOT" - the upper and lower boundaries of the quasi-continuum region for electrons in the conduction band

Fig. 1. Five-layer structure of an asymmetric superlattice

In fig. 1b: (-b), (b) are shown boundaries of the central part of the five-layer nanostructure, a similar region exists for heavy and light holes in the valence band (not shown in the figure).

The energy diagram of the structure shown in fig. 1b was calculated based on the electrophysical parameters of the ternary substitutional solid solution GaAs/AlXGa1-XAs given in table 1.

Table 1. *Physical parameters of ternary substitutional solid solution GaAs/AlXGa1-XAs*

Parameter	GaAs	AlAs	$Al_XGa_{1-X}As$
Eg, eV	1,424	3,018	1,424+1,247·X, 0 < X < 0,45 1,424+1,247·X+1,147·(X - 0,45), 0,45 < X < 1,0
m_C^* / m_0	0,067	0,124	0,067+0,057·X
γ_1	6,85	3,45	6,85 – 3,4·X
γ_2	2,1	0,68	2,1 – 1,42·X

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)

The effective masses of heavy and easy holes are calculated according to the formulas:

$$m_{hh}^{*}=\frac{m_0}{\gamma_1-2\cdot\gamma_2}, \quad (1)$$

$$m_{lh}^{*}=\frac{m_0}{\gamma_1+2\cdot\gamma_2}, \quad (2)$$

where m_{hh}^{*} is an effective mass of a heavy hole; m_{lh}^{*} is an effective mass of an easy hole; m_0 - free electron mass; γ_1 i γ_2 - Luttinger's material constants.

The law of dispersion of the valence band of double semiconductor compounds is approximated using Luttinger constants. Luttinger constants uniquely characterize the effective masses of heavy and light holes near the extremes of the band diagrams of homogeneous semiconductor materials and semiconductor compounds constructed in the space of wave vectors (inverse lattice) [23-25]. This approach is also applicable for triple and quadruple solid solutions of substitution. Formulas (1) and (2) allow us to determine the effective masses of light and heavy holes of a triple solid solution of AlxGa1-xAs substitution. For this solid solution, the main electrophysical parameters are given in table 1 and are semi-empirical. The convenience of this approach allows to consider the change of electrophysical constant throughout the range of variation of the chemical composition of a ternary solid solution. I.e. to take into account the influence of the material at the transition from layer to layer in the nanostructure. Thus, formulas (1) and (2), as well as those given in table 1, can serve as an acceptable basis for determining the input parameters of the model of the nanostructure under consideration.

The determination of the energy eigenvalues and the eigenfunctions of the carriers is carried out within the framework of the quantum mechanical approach based on the solution of the stationary Schrödinger equation:

$$\hat{H}\Psi=E\cdot\Psi. \quad (3)$$

In this paper, to solve equation (3), we used the standard procedure for determining the eigenvalues of the Hamilton operator using the conditions of continuity and smoothness of the eigenfunction. The solution to equation (3) for the energy eigenvalues in the region below the quasi-continuum - in the region of separation of quantum wells (quantum confinement), is written as:

$$\begin{gathered}\frac{1}{2}\cdot\left(arctg\left(\frac{k_1\cdot m_2^*}{k_2\cdot m_1^*}\right)+arctg\left(\frac{k_5\cdot m_2^*}{k_2\cdot m_5^*}\right)\right)-\\-arctg\left(-\frac{k_3\cdot m_2^*}{k_2\cdot m_3^*}\cdot th\left(k_3\cdot b\right)\right)-k_2\cdot\left(a-b\right)+n\cdot\pi=0\end{gathered}; \quad (4)$$

- for even solutions,

$$\begin{gathered}\frac{1}{2}\cdot\left(arctg\left(-\frac{k_2\cdot m_1^*}{k_1\cdot m_2^*}\right)+arctg\left(-\frac{k_2\cdot m_5^*}{k_5\cdot m_2^*}\right)\right)-\\-arctg\left(\frac{k_2\cdot m_3^*}{k_3\cdot m_2^*}\cdot th\left(k_3\cdot b\right)\right)-k_2\cdot\left(a-b\right)+n\cdot\pi=0\end{gathered}; \quad (5)$$

- for odd solutions.

The solution to equation (3) for the energy eigenvalues in the quasi-continuum region can be written as:

$$\begin{gathered}\frac{1}{2}\cdot\left(arctg\left(\frac{k_1\cdot m_2^*}{k_2'\cdot m_1^*}\right)+arctg\left(\frac{k_5\cdot m_2^*}{k_2'\cdot m_5^*}\right)\right)-\\-arctg\left(-\frac{k_3'\cdot m_2^*}{k_2'\cdot m_3^*}\cdot tg\left(k_3'\cdot b\right)\right)-k_2'\cdot\left(a-b\right)+n\cdot\pi=0\end{gathered}; \quad (6)$$

- for even solutions,

$$\begin{gathered}\frac{1}{2}\cdot\left(arctg\left(-\frac{k_2'\cdot m_1^*}{k_1\cdot m_2^*}\right)+arctg\left(-\frac{k_2'\cdot m_5^*}{k_5\cdot m_2^*}\right)\right)-\\-arctg\left(\frac{k_2'\cdot m_3^*}{k_3'\cdot m_2^*}\cdot tg\left(k_3'\cdot b\right)\right)-k_2'\cdot\left(a-b\right)+n\cdot\pi=0\end{gathered}; \quad (7)$$

- for odd solutions.

Equations (4) - (7) are transcendental equations for the eigenvalues of the carrier energy. The eigenfunctions of the Hamilton operator from relation (3), the wave functions of particles corresponding to the eigenvalues determined by expressions (4) - (7), are given by the relations:

$$\Psi_{1e}(z)=A_3\cdot\frac{ch\left(k_3\cdot b\right)\cdot\cos\left(k_2\cdot a+\varphi_e\right)}{\cos\left(k_2\cdot b+\varphi_e\right)}\cdot\exp\left(k_1\cdot\left(z+a\right)\right),\ -\infty<z<-a, \quad (8\ a)$$

$$\Psi_{2e}(z)=A_3\cdot\frac{ch\left(k_3\cdot b\right)}{\cos\left(k_2\cdot b+\varphi_e\right)}\cdot\cos\left(k_2\cdot z-\varphi_e\right),\ -a\le z\le -b, \quad (8\ b)$$

$$\Psi_{3e}(z)=A_3\cdot ch\left(k_3\cdot z\right),\ -a\le z\le -b, \quad (8\ c)$$

$$\Psi_{4e}(z)=A_3\cdot\frac{ch\left(k_3\cdot b\right)}{\cos\left(k_2\cdot b+\varphi_e\right)}\cdot\cos\left(k_2\cdot z+\varphi_e\right),\ b\le z\le a, \quad (8\ d)$$

$$\Psi_{5e}(z)=A_3\cdot\frac{ch\left(k_3\cdot b\right)\cdot\cos\left(k_2\cdot a+\varphi_e\right)}{\cos\left(k_2\cdot b+\varphi_e\right)}\cdot\exp\left(k_1\cdot\left(z-a\right)\right),\ a<z<+\infty \quad (8\ e)$$

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

- for even solutions in the area below the separation barrier;

$$\Psi_{1o}(z) = -B_3 \cdot \frac{sh(k_3 \cdot b) \cdot \sin(k_2 \cdot a + \varphi_o)}{\sin(k_2 \cdot b + \varphi_o)} \cdot \exp(k_1 \cdot (z + a)), \ -\infty < z < -a, \quad (9\ a)$$

$$\Psi_{2o}(z) = B_3 \cdot \frac{sh(k_3 \cdot b)}{\sin(k_2 \cdot b + \varphi_o)} \cdot \sin(k_2 \cdot z - \varphi_o), \ -a \le z \le -b, \quad (9\ b)$$

$$\Psi_{3o}(z) = B_3 \cdot sh(k_3 \cdot z), \ -a \le z \le -b, \quad (9\ c)$$

$$\Psi_{4o}(z) = B_3 \cdot \frac{sh(k_3 \cdot b)}{\sin(k_2 \cdot b + \varphi_o)} \cdot \sin(k_2 \cdot z + \varphi_o), \ b \le z \le a, \quad (9\ d)$$

$$\Psi_{5o}(z) = B_3 \cdot \frac{sh(k_3 \cdot b) \cdot \sin(k_2 \cdot a + \varphi_o)}{\sin(k_2 \cdot b + \varphi_o)} \cdot \exp(k_1 \cdot (z - a)), \ a < z < +\infty \quad (9\ e)$$

- for odd solutions in the region below the separation barrier.

$$\Psi'_{1e}(z) = A'_3 \cdot \frac{\cos(k'_3 \cdot b) \cdot \cos(k'_2 \cdot a + \varphi'_e)}{\cos(k'_2 \cdot b + \varphi'_e)} \cdot \exp(k_1 \cdot (z + a)), \ -\infty < z < -a, \quad (10\ a)$$

$$\Psi'_{2e}(z) = A'_3 \cdot \frac{\cos(k'_3 \cdot b)}{\cos(k'_2 \cdot b + \varphi'_e)} \cdot \cos(k'_2 \cdot z - \varphi'_e), \ -a \le z \le -b, \quad (10\ b)$$

$$\Psi'_{3e}(z) = A'_3 \cdot \cos(k'_3 \cdot z), \ -a \le z \le -b, \quad (10\ c)$$

$$\Psi'_{4e}(z) = A'_3 \cdot \frac{\cos(k'_3 \cdot b)}{\cos(k'_2 \cdot b + \varphi'_e)} \cdot \cos(k'_2 \cdot z + \varphi'_e), \ b \le z \le a, \quad (10\ d)$$

$$\Psi'_{5e}(z) = A_3 \cdot \frac{\cos(k'_3 \cdot b) \cdot \cos(k'_2 \cdot a + \varphi'_e)}{\cos(k'_2 \cdot b + \varphi'_e)} \cdot \exp(k_1 \cdot (z - a)), \ a < z < +\infty \quad (10\ e)$$

- for even solutions in the field of the separation barrier;

$$\Psi'_{1o}(z) = -B'_3 \cdot \frac{\sin(k'_3 \cdot b) \cdot \sin(k'_2 \cdot a + \varphi'_o)}{\sin(k'_2 \cdot b + \varphi'_o)} \cdot \exp(k_1 \cdot (z + a)), \ -\infty < z < -a, \quad (11\ a)$$

$$\Psi'_{2o}(z) = B'_3 \cdot \frac{\sin(k'_3 \cdot b)}{\sin(k'_2 \cdot b + \varphi'_o)} \cdot \sin(k'_2 \cdot z - \varphi'_o), \ -a \le z \le -b, \quad (11\ b)$$

$$\Psi'_{3o}(z) = B'_3 \cdot \sin(k'_3 \cdot z), \ -a \le z \le -b, \quad (11\ c)$$

$$\Psi'_{4o}(z) = B'_3 \cdot \frac{\sin(k'_3 \cdot b)}{\sin(k'_2 \cdot b + \varphi'_o)} \cdot \sin(k'_2 \cdot z + \varphi'_o), \ b \le z \le a, \quad (11\ d)$$

$$\Psi'_{5o}(z) = B'_3 \cdot \frac{\sin(k'_3 \cdot b) \cdot \sin(k'_2 \cdot a + \varphi'_o)}{\sin(k'_2 \cdot b + \varphi'_o)} \cdot \exp(k_1 \cdot (z - a)), \ a < z < +\infty \quad (11\ e)$$

- for odd solutions in the field of the separation barrier.
Here

$$\varphi_e = \frac{1}{4} \cdot \left(arctg\left(\frac{k_1 \cdot m_2^*}{k_2 \cdot m_1^*} \right) + arctg\left(\frac{k_5 \cdot m_2^*}{k_2 \cdot m_5^*} \right) \right) + \\ + \frac{1}{2} \cdot \left(arctg\left(-\frac{k_3 \cdot m_2^*}{k_2 \cdot m_3^*} \cdot th(k_3 \cdot b) \right) - k_2 \cdot (a + b) \right) + n \cdot \pi \quad (12)$$

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14)
ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online)

- phase of the wave function for even solutions in the region below the separation barrier,

$$\varphi_o = \frac{1}{4}\cdot\left(arctg\left(-\frac{k_2\cdot m_1^*}{k_1\cdot m_2^*}\right)+arctg\left(-\frac{k_2\cdot m_5^*}{k_5\cdot m_2^*}\right)\right)+ \\ +\frac{1}{2}\cdot\left(arctg\left(\frac{k_2\cdot m_3^*}{k_3\cdot m_2^*}\cdot th\left(k_3\cdot b\right)\right)-k_2\cdot\left(a-b\right)\right)+n\cdot\pi \quad (13)$$

- phase of the wave function for odd solutions in the region below the separation barrier,

$$\varphi_e' = \frac{1}{4}\cdot\left(arctg\left(\frac{k_1\cdot m_2^*}{k_2'\cdot m_1^*}\right)+arctg\left(\frac{k_5\cdot m_2^*}{k_2'\cdot m_5^*}\right)\right)+ \\ +\frac{1}{2}\cdot\left(arctg\left(-\frac{k_3'\cdot m_2^*}{k_2'\cdot m_3^*}\cdot tg\left(k_3'\cdot b\right)\right)-k_2'\cdot\left(a+b\right)\right)+n\cdot\pi \quad (14)$$

- phase of the wave function for even solutions in the region of the separation barrier,

$$\varphi_o' = \frac{1}{4}\cdot\left(arctg\left(-\frac{k_2'\cdot m_1^*}{k_1\cdot m_2^*}\right)+arctg\left(-\frac{k_2'\cdot m_5^*}{k_5\cdot m_2^*}\right)\right)+ \\ +\frac{1}{2}\cdot\left(arctg\left(\frac{k_2'\cdot m_3^*}{k_3'\cdot m_2^*}\cdot tg\left(k_3'\cdot b\right)\right)-k_2'\cdot\left(a-b\right)\right)+n\cdot\pi \quad (15)$$

- phase of the wave function for odd solutions in the region of the separation barrier.

Expressions (12) - (15) were obtained taking into account relations (4) - (7). The dash in expressions (6), (7), (10), (11), (14) and (15) denotes that the expression belongs to the description of the solution in the region of the separation barrier.

The amplitude coefficients of the wave function in expressions (8) - (11) are determined by the relations:

$$A_3 = \frac{1}{\sqrt{IA_1+IA_2+IA_3+IA_4+IA_5}}, \quad (16\ a)$$

where

$$IA_1 = \frac{ch^2\left(k_3\cdot b\right)\cdot\cos^2\left(k_2\cdot a+\varphi_e\right)}{2\cdot k_1\cdot\cos^2\left(k_2\cdot b+\varphi_e\right)}, \quad (16\ b)$$

$$IA_2 = \frac{ch^2\left(k_3\cdot b\right)}{\cos^2\left(k_2\cdot b+\varphi_e\right)}\cdot\left(\frac{a-b}{2}+\frac{1}{2\cdot k_2}\cdot\sin\left(k_2\cdot\left(a-b\right)\right)\cdot\cos\left(k_2\cdot\left(a+b\right)+2\cdot\varphi_e\right)\right), \quad (16\ c)$$

$$IA_3 = \frac{sh^2\left(2\cdot k_3\cdot b\right)}{2\cdot k_3}+b, \quad (16\ d)$$

$$IA_4 = \frac{ch^2\left(k_3\cdot b\right)}{\cos^2\left(k_2\cdot b+\varphi_e\right)}\cdot\left(\frac{a-b}{2}+\frac{1}{2\cdot k_2}\cdot\sin\left(k_2\cdot\left(a-b\right)\right)\cdot\cos\left(k_2\cdot\left(a+b\right)+2\cdot\varphi_e\right)\right), \quad (16\ e)$$

$$IA_5 = \frac{ch^2\left(k_3\cdot b\right)\cdot\cos^2\left(k_2\cdot a+\varphi_e\right)}{2\cdot k_1\cdot\cos^2\left(k_2\cdot b+\varphi_e\right)}, \quad (16\ f)$$

- for even solutions in the area below the separation barrier;

$$B_3 = \frac{1}{\sqrt{IB_1+IB_2+IB_3+IB_4+IB_5}}, \quad (17\ a)$$

where

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

$$IB_1 = \frac{sh^2(k_3 \cdot b) \cdot \sin^2(k_2 \cdot a + \varphi_e)}{2 \cdot k_1 \cdot \sin^2(k_2 \cdot b + \varphi_e)}, \tag{17 b}$$

$$IB_2 = \frac{sh^2(k_3 \cdot b)}{\sin^2(k_2 \cdot b + \varphi_e)} \cdot \left(\frac{a-b}{2} - \frac{1}{2 \cdot k_2} \cdot \sin(k_2 \cdot (a-b)) \cdot \cos(k_2 \cdot (a+b) + 2 \cdot \varphi_e) \right), \tag{17 c}$$

$$IB_3 = \frac{sh^2(2 \cdot k_3 \cdot b)}{2 \cdot k_3} - b, \tag{17 d}$$

$$IB_4 = \frac{sh^2(k_3 \cdot b)}{\sin^2(k_2 \cdot b + \varphi_e)} \cdot \left(\frac{a-b}{2} - \frac{1}{2 \cdot k_2} \cdot \sin(k_2 \cdot (a-b)) \cdot \cos(k_2 \cdot (a+b) + 2 \cdot \varphi_e) \right), \tag{17 e}$$

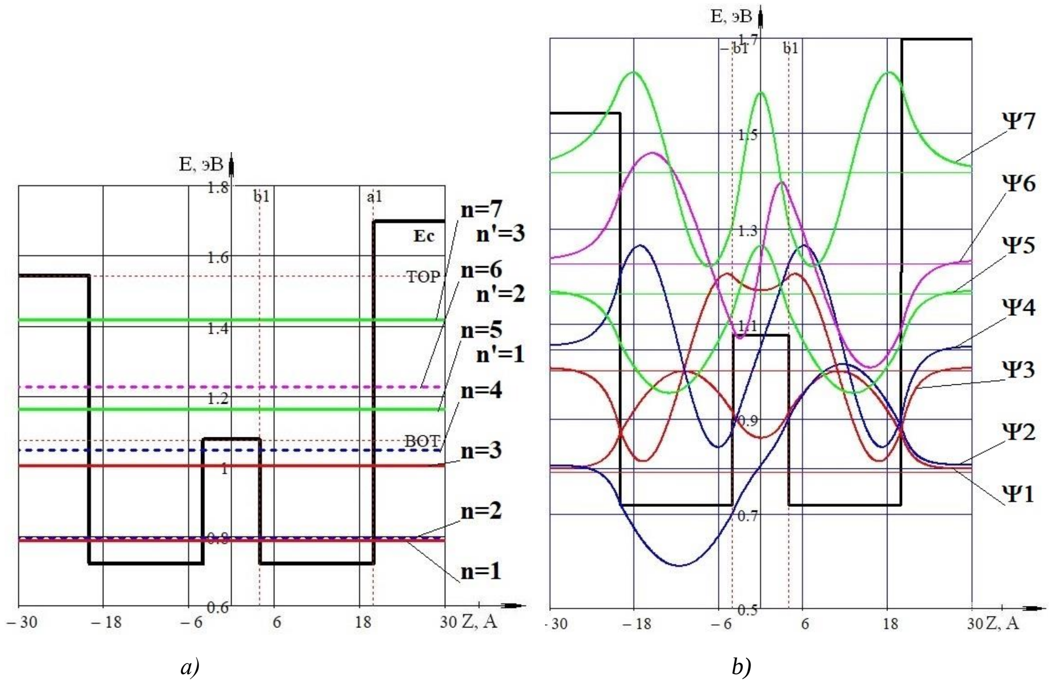
$$IB_5 = \frac{sh^2(k_3 \cdot b) \cdot \sin^2(k_2 \cdot a + \varphi_e)}{2 \cdot k_1 \cdot \sin^2(k_2 \cdot b + \varphi_e)}, \tag{17 f}$$

- for odd solutions in the region below the separation barrier.

A feature of the presented solution is the presence of a phase term that takes into account the effect of multiple reflection processes of the wave function at the "barrier - well" and "well - barrier" boundaries in the region above the separation barrier.

Research results and discussion

Mathematical modeling of the energy states of carriers and the corresponding wave functions, both in stationary and in perturbed states, are shown in figs. 2 and 3 respectively. The energy eigenvalues for electrons in the conduction band are shown in fig. 2(a). In fig. 2(b), the eigenfunctions of electrons in a stationary state are shown.

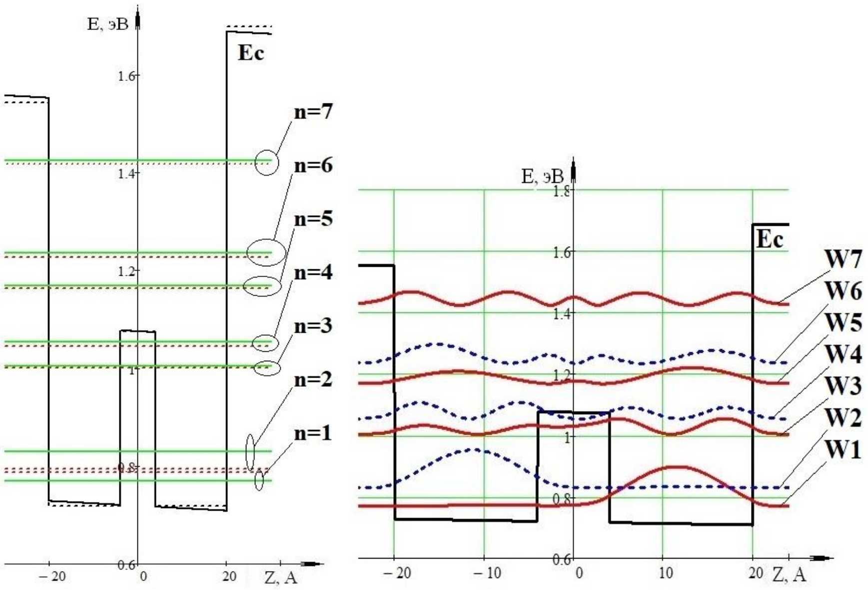


a) *b)*

Fig. 2. Energy eigenvalues and eigenfunctions of the Hamilton operator for electrons in the conduction band

Energy states of carriers under the action of an external constant electric field. When a quantum-dimensional structure with an energy profile of a complex external electric field is exposed, the state of particles in the region above the separation barrier undergoes significant changes caused, on the one hand, by the action of the external field strength, and on the other, by the presence of additional potential energy in particles in this region. In addition, particles located above the separation barrier interact with particles located in quantum wells under the action of an external field. The changes caused in the structure by an external electric field can be relatively easily traced using the second approximation of perturbation theory. Figs. 3(a) and 3(b), respectively, show the eigenvalues of the energy and distribution density of the probability of finding electrons in the conduction band, calculated for the case of the action of an external stationary electric field. Fig. 3(a), for comparison, shows the unperturbed energy states of electrons by dashed lines.

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2522-9818 (print) ISSN 2524-2296 (online)



a) *b)*

Fig. 3. Effect of an external electric field on the states of carriers

Conclusions and prospects for further development

Modeling the spectrum of energy eigenvalues and carrier eigenfunctions in a quantum dimensional structure with an energy profile of a complex shape reveals a number of essential regularities. A quantum dimensional structure consisting of two quantum wells separated by a barrier, nevertheless, is a single structure. Since the external barriers are energetically higher than the separation one, the space above the separation barrier and adjacent quantum wells is a separate quantum-limited region.

Analysis of the results of modeling the energy spectrum of a structure with two quantum wells, calculated for the unperturbed state (fig. 2), and for the case of an external action in the form of a stationary electric field (fig. 3), leads to the following conclusions:

- in the absence of an external field acting on the considered quantum dimensional structure, the electrons and holes located above the separation barrier are characterized by a nonmonotonically increasing spectrum of energy states. In this case, the particles are predominantly localized above the quantum wells;

- as well as for solitary and for multilayer periodic quantum dimensional structures, the action of a constant external electric field on the structure under consideration leads to the manifestation of the quantum-limited Stark effect. In this case, the delocalization of the wave functions and the shift of the corresponding energy levels - the lowest energy levels in the structure under consideration, are expressed as strongly as in multilayer symmetric structures. At the same time, the effect is almost invisible for the higher levels. This is especially pronounced for energy levels lying above the separation barrier.

Thus, it can be expected that an equidistant energy spectrum can be realized at a certain external field strength, which in turn should significantly simplify the attainment of the second harmonic generation mode if the considered structure is used in the active region of a semiconductor laser.

References

1. Abramov, I. I., Goncharenko, I. A., Kolomeitseva, N. V. (2007), "Combined two-zone model of a resonant tunneling diode" ["Kombinirovannaya dvukhzonnaya model' rezonansno-tunnel'nogo dioda Fizika i tekhnika poluprovodnikov"], *Physics and technology of semiconductors*, Vol. 41, No. 11, P. 1395–1400.
2. Xue, D., Lai, J., Tu, W., Zhang, W., Seng, Y., Guo, T. (2016), "2D-simulation of Inverted Metamorphic GaInP/GaAs/In0.3Ga0.7As/In0.58 Ga0.42As", *Four-junction Solar Cell. Proc. Int. Conf. on Power Engineering \& Energy, Environment (PEEE 2016)*, ShangHai, China.
3. Pashchenko, A. G., Vantsans, V. M. (2012), "Carriers localization in the multilayered nanostructures stipulated by interference redislocation of wave functions", *Telecommunications and Radio Engineering*, Vol. 71, No. 17, P. 1599–1604. DOI: https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v71.i17.70
4. Galiev, G. B., Klimov, E. A., Klochkov, A. N., Kopylov, V. B., Pushkarev, S. S. (2019), "Electrophysical and photoluminescent study of epitaxial superlattices {LT-GaAs/GaAs : Si} on GaAs (100) and (111)A substrates", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 53, No. 2, P. 258–267. DOI: https://doi.org/10.21883/FTP.2019.02.47110.8918
5. Mamutin, V. V., Maleev, N. A., Vasilyev, A. P., Ilyinskaya, N. D., Zadiranov, Yu. M., Usikova, A. A, Yagovkina, M. A., Shernyakov, Yu. M., Ustinov, V. M. (2018), "Investigation of modified structure for quantum cascade lasers", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 52, No. 1, P. 133–138. DOI: https://doi.org/10.21883/FTP.2018.01.45332.8630
6. Herbert, Li E. (1997), "Optical Properties of an InGaAs-InP Interdiffused Quantum Wells", *IEEE J. Quantum Electronics*, Vol. 34, No. 6, P. 1422–1431.
7. Lawaetz, P. (1971), "Valence - band parameter in cubic semiconductors", *Phys. Rev. B.*, Vol. 4, No. 10, P. 3460–3467.

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

8. Manyakhin, F. I. (2018), "The mechanism and regularity of decrease in the light stream of light-emitting diodes on the bases of structures AlGaN/InGaN/GaN with quantum wells at long courese of derect current of various density", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 52, No. 3, P. 378–385. DOI: https://doi.org/10.21883/FTP.2018.03.45625.8341
9. Altukhov I.V., Dizhur S.E., Kagan M.S., Khvalkovskiy N.A., Paprotskiy S.K., Vasil'evskii I.S., Vinichenko A.N. Transport in Short-Period GaAs/AlAs Superlattices with Electric Domains. *Semiconductor physics and technology* 2018. т. 52. № 4, С. 472 – 473. DOI: https://doi.org/10.21883/FTP.2018.04.45821.10
10. Shashkin, I. S., Leshko, A. Y., Nikolaev, D. N., et al (2020), "Light characteristics of narrow-stripe high-power semiconductor lasers (1060 nm) based on asymmetric AlGaAs/GaAs heterostructures with a broad waveguide", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 54, No. 4, P. 408–413. DOI: https://doi.org/10.21883/FTP.2020.04.49149.9333
11. Slipchenko, S. O., Podoskin, A. A., Soboleva, O. S., et al (2020), "Investigations of the processes of charge carrier transport in isotype heterostructures of the n +-GaAs/n 0 -GaAs/n +-GaAs type with a thin wide-gap AlGaAs barrier", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 54, No. 5, P. 452–457. DOI: https://doi.org/10.21883/FTP.2020.05.49258.9344
12. Sobolev, M. M., Soldatenkov, F. Y. (2020), "Capacitance spectroscopy of heteroepitaxial AlGaAs/GaAs p−i−n structures", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 54, No. 10, P. 1072–1078. DOI: https://doi.org/10.21883/FTP.2020.10.49945.9419
13. Kurdyubov, A. S., Gribakin, B. F., Mikhailov, A. V., Trifonov, A. V., Efimov, Yu. P., Eliseev, S. A., Lovtcius, V. A., Ignatiev, I. V. (2020), "Energy spectrum in a shallow GaAs/AlGaAs quantum well probed by spectroscopy of nonradiative broadening of exciton resonances", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 54, No. 11, P. 1261–1262. DOI: https://doi.org/10.1134/S1063782620110172
14. Miyazawa, T. (2008), "Electric field modulation of exciton recombination in InAs/GaAs quantum dots emitting at 1.3 μm.", *J. Appl. Phys.*, No. 104, P. 013504.
15. Tsu, R., Esaki, L. (1973), "Tunneling in a finite superlattice", *Appl.Phys. Lett*, Vol. 22, No. 11, P. 562–564.
16. Chang, L., Eski, L., Tsu, R. (1974), "Resonant tunneling in semiconductors double barrier", *Appl. Phys. Lett*, Vol. 24, No. 12, P. 593–595.
17. Balagula, R. M., Vinnichenko, M. Ya., Makhov, I. S., Firsov, D. A., Vorobjev, L. E. (2016), "Modulation of intersubband light absorption and interband photoluminescence in double GaAs/AlGaAs quantum wells under lateral electric field", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 50, No. 11, P. 1445–1462. DOI: https://doi.org/10.21883/ftp.2016.11.43770.2
18. Spirin, K. E., Gaponova, D. M., Maremyanin, K. V., et al (2018), "Bipolar persistent photoconductivity effects in HgTe/CdHgTe (013) double quantum well heterostructures", *Semiconductor physics and technology*, Vol. 52, No. 12, P. 1482–1485. DOI: https://doi.org/10.21883/FTP.2018.12.46761.41
19. Ferreira, R., Rolland, P., Roussignol, Ph., Delalande, C., Vinattieri, A., Carraresi, L., Colocci, M., Roy, N., Sermage, B., Palmer, J. F., Etienne, B. (1992), "Time-resolved exciton transfer in GaAs/AlxGa1-xAs double-quantumwell structures", *Phys. Rev. B.*, Vol. 45, No. 20, P. 11782–11794.
20. Miller, D. A. B., Chemla, D. S., Damen, T. C., Gossard, A. C., Wiegmann, W., Wood, T. H., Burrus, C. A. (1984), "Band-Edge Electroabsorption in Quantum Well Structures: The Quantum-Confined Stark Effect", *Phys. Rev. Letters B.*, Vol. 53, No. 22, P. 2173–2176.
21. Miller, D. A. B., Chemla, D. S., Damen, T. C., Gossard, A. C., Wiegmann, W., Wood, T. H., Burrus, C. A. (1985), "Electric field dependence of optical absorption near the band gap of quantum-well structures", *Phys. Rev. B.*, Vol. 32, No. 2, P. 1043–1060.
22. Mitsuru Matsuura, Tsuneo Kamizato (1986), "Subbands and excitons in a quantum-well in an electric field" *Phys. Rev. B*, Vol. 33, No. 12, P. 8385–8389.
23. Anemogiannis, E., Glytsis, E. N., Gaylord, T. V. (1998), "Quasi - Bound States Determination Using a Perturbed Wavenumbers Method in a Large Quantum Box", *IEEE J. Quantum Electronics*, Vol. 33, No. 5, P. 742–752.
24. Luttinger, J. M., Kohn, W. (1955), "Motion of Electrons and Holes in Perturbed Periodic Fields", *Phys. Rev. Ser. B.*, Vol. 97, No. 4. P. 869–883.
25. Tung Sun Koh, Yan Ping Feng, Harold, N. (1997), "Spector. Effects of Electric Field on the Exciton Linewidth Broadening Due to Scattering by Free Carriers in Semiconducting Quantum Well Structurez", *IEEE J Quant. Electron*, Vol. 33, No. 10, P.1567–1572.

Received 17.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Пащенко Олексій Георгійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри мікроелектроніки електронних приладів та пристроїв, Харків, Україна; email: olexiy.pashchenko@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8927-3811.

Пащенко Алексей Георгиевич – кандидат физико-математических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры микроэлектроники электронных приборов и устройств, Харьков, Украина.

Pashchenko Alexey – PhD (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Microelectronics Electronic Devices and Appliances, Kharkiv, Ukraine.

Грицунов Олександр Валентинович – доктор фізико-математичних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри МЕЕПП, Харків, Україна; email: alexander.gritsunov@nure.ua; ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2258-4006.

Грицунов Александр Валентинович – доктор физико-математических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры МЭПУ, Харьков, Украина.

Gritsunov Oleksandr – Doctor of Sciences (Physical and Mathematical), Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Microelectronics Electronic Devices and Appliances, Kharkiv, Ukraine.

Бабіченко Оксана Юріївна – кандидат фізико-математичних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри мікроелектроніки електронних приладів та пристроїв, Харків, Україна; email: oksana.babychenko@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4806-6549.

Бабыченко Оксана Юрьевна – кандидат физико-математических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры микроэлектроники электронных приборов и устройств, Харьков, Украина.

Babichenko Oksana – PhD (Physical and Mathematical Sciences), Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant Professor of the Department of Microelectronics Electronic Devices and Appliances, Kharkiv, Ukraine.

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

ЕНЕРГЕТИЧНІ СТАНИ ЧАСТИНОК У КВАНТОВІЙ РОЗМІРНІЙ СТРУКТУРІ ІЗ ЗОННОЮ ДІАГРАМОЮ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Предметом дослідження в статті є енергетичний спектр багатошарової квантової розмірної структури з енергетичним профілем складної форми. **Мета** роботи - дослідження взаємодії квантово-обмежених і квазіконтінуумних енергетичних станів частинок під дією зовнішнього стаціонарного електричного поля, прикладеного перпендикулярно до площин квантового обмеження. У статті вирішуються наступні **завдання:** Визначено спектр власних функцій і власних значень енергії частинок, як в області квантового обмеження, так і в області, яка знаходиться вище розділювального бар'єру. У визначенні власних функцій враховується факт зміни фази власних функцій внаслідок руху частинок над квантової ямою. Для вирішення поставлених завдань, в статті, використані наступні **методи**: квантово-механічне моделювання стаціонарних станів в структурі з енергетичним профілем складної форми; методи теорії малих збурень для опису взаємодії частинок в такій структурі. Отримані наступні **результати:** в рамках квантово-механічного підходу отримані основні розрахункові співвідношення математичної моделі енергетичних станів частинок і квазічастинок в квантово-обмежених і квазіконтінуумних станах. Взаємодія енергетичних станів частинок і квазічастинок в кожній із зон між квантово-обмеженими і квазіконтінуумними станами описується в залежності від зовнішнього впливу. Для оцінки ступеня взаємодії в статті застосована теорія малих збурень. **Висновки:** Аналіз результатів моделювання енергетичного спектру структури з двома квантовими ямами, розрахованого, для незбуреного стану, і для випадку зовнішнього впливу у вигляді стаціонарного електричного поля, призводить до наступних висновків: за відсутності зовнішнього поля, що діє на розглянуту квантову розмірну структуру, електрони і дірки, що знаходяться над розділювальним бар'єром, характеризуються немонотонно зростаючим спектром енергетичних станів. При цьому частинки переважно локалізуються над квантовими ямами; так само, як і для відокремлених, так і для багатошарових періодичних квантових розмірних структур, вплив постійного зовнішнього електричного поля на розглянуту структуру призводить до прояву квантово-обмеженого ефекту Штарка. При цьому делокалізація хвильових функцій і зміщення відповідних енергетичних рівнів - нижчих енергетичних рівнів в даній структурі, виражена також сильно, як в багатошарових симетричних структурах. У той же час для вищих рівнів ефект майже непомітний. Особливо це виражено для енергетичних рівнів, що лежать вище розділювального бар'єру; Таким чином, можна очікувати, що при певній напруженості зовнішнього поля може бути реалізований еквідистантний енергетичний спектр, що в свою чергу має суттєво спростити досягнення режиму генерації другої гармоніки, якщо використовувати розглянуту структуру в активній області напівпровідникового лазера.

Ключові слова: енергетичний спектр; квантове обмеження; хвильова функція; електрон; важка дірка; легка дірка; квазіконтінуум.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ ЧАСТИЦ В КВАНТОВОЙ РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЕ С ЗОННОЙ ДИАГРАММОЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Предметом исследования в статье является энергетический спектр многослойной квантовой размерной структуры с энергетическим профилем сложной формы. **Цель** работы – исследование взаимодействия квантово-ограниченных и квазиконтинуумных энергетических состояний частиц под действием внешнего стационарного электрического поля, приложенного перпендикулярно плоскостям квантового ограничения. В статье решаются следующие **задачи:** Определен спектр собственных функций и собственных значений энергии частиц, как в области квантового ограничения, так и в области квазиконтинуума. В определении собственных функций учитывается факт изменения фазы собственных функций вследствие движения частиц над квантовой ямой. Для решения поставленных задач в статье использованы следующие методы: квантово-механическое моделирование стационарных состояний в структуре с энергетическим профилем сложной формы; методы теории малых возмущений для описания взаимодействия частиц в такой структуре. Получены следующие **результаты:** в рамках квантово-механического подхода получены основные расчетные соотношения математической модели энергетических состояний частиц и квазичастиц в квантово-ограниченных и квазиконтинуумных состояниях. Взаимодействие энергетических состояний частиц и квазичастиц в каждой из зон между квантово-ограниченными и квазиконтинуумными состояниями описывается в зависимости от внешнего воздействия. Для оценки степени взаимодействия в статье применена теория малых возмущений. **Выводы:** Анализ результатов моделирования энергетического спектра структуры с двумя квантовыми ямами, рассчитанного, для невозмущенного состояния, и для случая внешнего воздействия в виде стационарного электрического поля, приводит к следующим выводам: в отсутствии внешнего поля, действующего на рассматриваемую квантовую размерную структуру, электроны и дырки, находящиеся над разделительным барьером, характеризуются немонотонно возрастающим спектром энергетических состояний. При этом частицы преимущественно локализуются над квантовыми ямами; так же, как и для уединенных, так и для многослойных периодических квантовых размерных структур, воздействие постоянного внешнего электрического поля на рассматриваемую структуру приводит к проявлению квантово-ограниченного эффекта Штарка. При этом делокализация волновых функций и смещение соответствующих энергетических уровней – низших энергетических уровней в рассматриваемой структуре, выражена также сильно, как в многослойных симметричных структурах. В то же время для вышележащих уровней эффект почти незаметен. Особенно это выражено для энергетических уровней, лежащих выше разделительного барьера. Таким образом, можно ожидать, что при определенной напряженности внешнего поля может быть реализован эквидистантный энергетический спектр, что в свою очередь должно существенно упростить достижения режима генерации второй гармоники, если использовать рассмотренную структуру в активной области полупроводникового лазера.

Ключевые слова: энергетический спектр; квантовое ограничение; волновая функция; электрон; тяжелая дырка; легкая дырка; квазиконтинуум.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Пащенко О. Г., Грицунов О. В., Бабиченко О. Ю. Енергетичні стани частинок у квантовій розмірній структурі із зонною діаграмою складної форми. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 4 (14). С. 176–185. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.176

Pashchenko, A., Gritsunov, O., Babichenko, O. (2020), "Energy states of particles in a quantum sized structure with a complex shaped band diagram", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 176–185. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.176

ISSN 2522-9818 (print)
ISSN 2524-2296 (online) Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. No. 4 (14)

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК / **ALPHABETICAL INDEX**

ISSN 2522-9818 (print)
Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 4 (14) ISSN 2524-2296 (online)

ДЛЯ НОТАТОК

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Щоквартальний науковий журнал

№ 4 (14), 2020

Відповідальний секретар журналу *І. Г. Перова*
Відповідальний за випуск *А. А. Коваленко*
Комп'ютерна верстка *О. Ю. Персіянова*

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:
Україна, 61166, м. Харків, проспект Науки, 14
Тел.: +38 (057) 704-10-51
Веб-сайт: http://itssi-journal.com
E-mail: journal.itssi@gmail.com

Формат 60×84/8. Умов. друк. арк. 21,15. Тираж 150 прим.

Відруковано з готових оригінал-макетів в типографії ФОП Андреєв К.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис №24800170000045020 від 30.05.2003.

61166, Харків, вул. Серпова, 4, тел. 063-993-62-73
e-mail: ep.zakaz@gmail.com