



# ВЕСТНИК

Национальной инженерной академии  
Республики Казахстан

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Федеральный исследовательский центр  
информационных и вычислительных технологий



# **ВЕСТНИК**

**Национальной инженерной академии  
Республики Казахстан**

**Главный редактор  
академик Б. Т. ЖУМАГУЛОВ**



## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Федеральный исследовательский центр  
информационных и  
вычислительных технологий**

**Главный редактор  
академик Ю.И. Шокин**



по материалам Международной конференции  
«Вычислительные и информационные технологии  
в науке, технике и образовании»  
(CITech-2020)

**9-10 октября 2020 года**

**Алматы, 2020**

# **ВЕСТНИК НИАРК**

**Главный редактор  
академик Б. Т. ЖУМАГУЛОВ**

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Н. К. Надиров** – академик, заместитель главного редактора; **Е. И. Имангалиев** – ответственный секретарь; академик **Ж. М. Адилов**, академик **А. Ч. Джомартов**, академик **Р. А. Алшанов**, академик **М. Ж. Битимбаев**, академик **А. В. Болотов**, академик **А. И. Васильев** (Украина), академик **Б. В. Гусев** (Россия), академик **Г. Ж. Жолтаев**, академик **П. Г. Никитенко** (Белоруссия), академик **К. К. Кадыржанов**, академик **К. С. Кулажанов**, академик **А. А. Кулибаев**, академик **М. М. Мырзахметов**, академик **Х. Милошевич** (Сербия), академик **Г. А. Медиева**, академик **А. М. Пашаев** (Азербайджан), академик **А. Ш. Татыгулов**, академик **Н. М. Темирбеков**, академик **А. К. Тулешов**, академик **Б. Б. Телтаев**, академик **Ю. И. Шокин** (Россия).

# **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Главный редактор  
академик Ю.И. ШОКИН**

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

акад. **В. В. Альт** Россия (Краснообск), профессор **С. П. Баутин** Россия (Екатеринбург), профессор **П. Бонту** (Франция), акад. **И. В. Бычков** Россия (Иркутск), чл.-корр. **А. Ю. Веснин**, Россия (Новосибирск), профессор **Р.-Х. Вонг**, (Китай), научный сотрудник **Д. Дутых** (Франция), акад. **А. Жайнаков** (Киргизия), акад. **Б. Т. Жумагулов** (Казахстан), акад. **М. Н. Калимолдаев** (Казахстан), гл. научный сотрудник **В. М. Ковеня** (Россия), ех-профессор **Е. Краузе**, (Германия), профессор **В. Крейнович** (США), **М. А. Марченко** Россия (Новосибирск), профессор **Х. Милошевич** (Сербия), **В. В. Москвичев** (Россия), акад. **В. Я. Панченко** Россия (Москва), **О. И. Потатуркин**, Россия (Новосибирск), **М. Реш** (Германия), ех-профессор **К. Рознер** (Германия), **Б. Я. Рябко**, Россия (Новосибирск), чл.-корр. **С. И. Смагин**, Россия (Хабаровск), акад. **В. А. Сойфер** Россия (Самара), акад. **А. Л. Стемповский**, Россия (Зеленоград), акад. **И.А. Тайманов**, Россия (Новосибирск), акад. **Н. М. Темирбеков** (Казахстан), профессор **С. К. Турицын** (Великобритания), чл.-корр. **М. П. Федорук**, Россия (Новосибирск), профессор **В. Ж. Хабаши** (Канада), акад. **Б. Н. Четверушкин**, Россия (Москва), гл. научный сотрудник **Л. Б. Чубаров**, Россия (Новосибирск), чл.-корр. **В. В. Шайдуров**, Россия (Красноярск), научный сотрудник **Н. Шокина** (Германия), **В. Шрёдер** (Германия), профессор **З. Х. Юлдашев**, (Узбекистан).

# ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

## Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании 2020»

Сопредседатель – Жумагулов Бакытжан Турсынович, академик НАН РК,  
Национальная инженерная академия РК, Казахстан

Сопредседатель - Шокин Юрий Иванович, академик РАН, Институт  
вычислительных технологий СО РАН, Россия

Члены:

Абдибеков Уалихан Сейдильдаевич, член-корреспондент НИА РК, Казахский  
национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан

Амиргалиев Едилхан Несипханович, академик НИА РК, Институт информационных  
технологий, Казахстан

Арипов Мирсайд, профессор, Национальный университет Узбекистана им. М.  
Улугбека, Узбекистан

Ахмед-Заки Дархан, Astana IT University, Казахстан

Баутин Сергей, профессор, Уральский государственный университет путей  
связи, Россия

Бектемесов Мактагали Абдимажитович, член-корреспондент НИА РК, Казахский  
национальный педагогический университет им. Абая, Казахстан

Бычков Игорь Вячеславович, член-корреспондент РАН, Институт динамики систем  
и теории управления СО РАН, Россия

Войчик Вальдемар, профессор, Люблинский технический университет, Польша

Гривенк Андреас, Берлинский университет имени Гумбольдта

Есипов Денис, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Жайнаков Аманбек Жайнакович, академик НАН КР, Кыргызский государственный  
технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан

Жакебаев Даурен Бахытбекович, член-корреспондент НИА РК, Казахский  
национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан

Жижимов Олег Львович, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Захаров Юрий, профессор, Кемеровский государственный университет, Россия

Иманкулов Тимур Сакенович, Казахский национальный университет им. аль-  
Фараби, Казахстан

Исатов Алибек Абдиашимович, член-корреспондент НИА РК Казахский  
национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан

Кабанихин Сергей Игоревич, член-корреспондент РАН, Институт вычислительной  
математики и математической геофизики СО РАН, Россия

Калимолдаев Максат Нурадилович, академик НАН РК, Институт Информационных  
и Вычислительных Технологий, Казахстан

Калтаев Айдархан Жусупбекович, академик НИА РК, Казахский национальный  
технический университет им. Сатпаева, Казахстан



Картбаев Тимур Саатдинович, член-корреспондент НИА РК, Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

Краузе Эгон, профессор, Рейнско-Вестфальский технический университет, Ахена, Германия

Маттиас Мейнке, профессор, Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена, Германия

Милошевич Хранислав, профессор, Университет Приштины, Сербия

Москвичев Владимир, профессор, Специальное конструкторское бюро «Наука» ИВТ СО РАН, Россия

Пейман Гиви, профессор, Университет Питтсбурга, США

Потапов Вадим, профессор, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Потатуркин Олег, профессор, Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Россия

Реш Майкл, профессор, высокопроизводительный вычислительный центр в Штутгарте, Германия

Рознер Карл, профессор, Технологический университет Дармштадта, Германия

Рябко Борис, профессор, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Садовский Владимир, профессор, Институт вычислительного моделирования СО РАН, Россия

Смагин Сергей, член-корреспондент РАН, Компьютерный центр ДВО РАН, Россия

Сойфер Виктор, академик РАН, Самарский государственный аэрокосмический университет им. Королева, Россия

Стемпковский Александр, член-корреспондент РАН, Институт проблем проектирования в Микроэлектронике РАН, Россия

Томас Бёниш, высокопроизводительный вычислительный центр в Штутгарте, Германия

Турицын Сергей, профессор, Университет Астон, Великобритания

Урмашев Байдаулет Амантаевич, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан

Федорук Михаил Петрович, член-корреспондент РАН, Новосибирский государственный университет, Россия

Хабаша Вагди Джордж, профессор, Университет Макгилла, Канада

Шайдуров Владимир, член-корреспондент РАН, Институт вычислительного моделирования СО РАН, Россия

Шокина Нина Юрьевна, Университет Фрайбурга, Германия

Шредер Вольфганг, профессор, RWTH Аахенский университет, Германия

Эйнарссон Бо, профессор, Университет Линкопинг, Швеция

Юлдашев Зиявидин Хабибович, профессор, Национальный университет Узбекистана им. Мирзы Улугбека, Узбекистан

Юрченко Андрей, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

# ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

## Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании 2020»

Темирбеков Нурлан Муханович, академик НИА РК, член-корреспондент НАН РК,  
Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Казахстан

Денисова Наталья Федоровна, директор департамента информационных технологий  
— проректор по информатизации ВКГТУ им. Д.Серикбаева, Казахстан

Есипов Денис Викторович, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Гусев Олег Игоревич, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Имангалиев Ернар Имангалиевич, Главный Ученый секретарь НИА РК, Казахстан

Мадияров Мураткан Набенович, декан факультета естественных наук и технологий  
ВКГУ им. С.Аманжолова

Байгереев Досан Рахимгалиевич, доцент кафедры математики ВКГУ им. С.  
Аманжолова

# Cyber Security and Big Data: Problems and Perspectives

Vladimir Jotsov<sup>1</sup>[0000–0002–2860–7918],  
Murat Tulenbayev<sup>2</sup>[0000–0003–0070–4641],  
Zhumakhan Myrkhalykov<sup>3</sup>[0000–0003–1103–7426],  
Marat Manapbayev<sup>2</sup>[0000–0003–1590–9244],  
Adlet Alipbekov<sup>4</sup>[0000–0002–4195–966X], and  
Svetlana Beglerova<sup>2</sup>[0000–0003–2854–7318]

University of Library Studies and Information Technologies, Sofia, Bulgaria  
v.jotsov@unibit.bg

Taraz Regional University Named After M.Kh.Dulaty, Taraz, Kazakhstan  
{mtulenbaev, mhclon, sbeglerova}@mail.ru

SILKWAY International University, Shymkent, Kazakhstan  
nauka\_ukpu@mail.ru

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan  
a.alipbekov@edu.iitu.kz

**Abstract** The paper considers essential features of contemporary big data (data mining, knowledge discovery, advanced analytics, web mining), and other intelligent data processing applications. The novel results in all of the quoted fields rely on realizations of autonomous systems, applications of data-driven methods, collaborative statistical and logical research based on quantitative method applications, deep processing of accumulated knowledge, etc. The applications of intelligent technologies advance the efficiency of statistical applications. Novel results had been presented for evolutionary methods supporting the fusion of statistical and logical results. It is shown how big data methods can improve the quality of any contemporary application. All the demonstrated advantages may be successfully combined with classical and other known methods. It is demonstrated that without the usage of the described methods, the main cyber security shortcomings from the considered contemporary intelligent systems could not be resolved.

**Keywords:** big data, autonomous systems, intelligent system, cyber security.

## Introduction

In computer science, there have long been problems that remain central, regardless of the stage of development of a direction or of a paradigm shift. This is a question of constructing machine learning elements that are part of the classical direction of discovering new knowledge (knowledge discovery/data analysis): Big Data, Knowledge Discovery and Data Mining, as well as Data Analytics, Web Mining, Text Mining, Deep Data Mining. All of them are usually associated with the name of Data Science,

intelligent data processing [1-6]. In fact, the main goal of such systems is to extract at least some knowledge from large sets of heterogeneous data based on the combination of data selected by certain criteria using different types of logical connections. This knowledge must be validated for all data accumulated so far, regardless of their origin, quality, completeness and/or other parameters. Then, based on the experience accumulated in the system, it is necessary to acquire/bring certain meta-knowledge, that is, knowledge on how to best manage and use all available knowledge from the existing knowledge base (KB). It is not an exaggeration to say that with the correct, evolutionary use of knowledge and meta-knowledge using big data, a higher form of information called wisdom can be formed. Here, the term wisdom, as well as the concept of a rational system, are used in precise, specific terms in accordance with the basic definitions of artificial intelligence (AI).

The described processes are both evolutionary and iterative in nature. For their development, they use a variety of approaches based on data management (data-driven approaches). Nowadays, more and more people are talking about knowledge-driven approaches. These two components are key for the intelligent processing of big data, since they allow us to develop non-algorithmic approaches based on accumulated data and using the knowledge from the developed sets of algorithms. Over the past 25 years, no significant progress had been shown in standardizing data management and their creation is not only a scientific research process, but also depends on the skill and experience of the developers. We consider a new proposal described in the following sections of the presented paper aiming to help improve the performance of such systems.

The transition from huge amounts of unstructured information to obtaining new knowledge, and then through the consistent accumulation of experience, knowledge such as wisdom, is a complex and not fully developed process from the point of view of a person; all this is process that is much more complicated for machines type software agents. For the transition, it is necessary to use query-processing methods in a database (DBs), statistical and logical methods, including AI, logical applications, and machine learning. At the top of this multidisciplinary research effort are decision support systems.

One of the most difficult questions in this area is how to fuse statistical and logical results in one system. It can't be simply used in a bundle. This issue is discussed in detail in the following sections of this study.

In the general case, special algorithms should process the data. If possible, before that the data should undergo preliminary processing (preprocessing) in order to structure the information and, if necessary, transform it into the most suitable form. Then Data Mining is applied to them: at the item sets level various rules are deduced, associations are searched, similarities and / or heterogeneous relationships between them are analyzed. Finally, with a successful processing process, new knowledge is added to the knowledge base and the updated knowledge base is used to better, more efficiently analyze new input data. As a result the data processing cycle is formed.

When working with big data, the scheme is similar, but the processing is much deeper and, therefore, more complex than the one described above for knowledge discovery data mining (KDD). It includes working with agents, using ontologies, more complex procedures for processing analytical data, and so on. But the main stages are the same and the main block here is the Data Mining cycle. So what is the difference?

The big data usage scheme focuses on cyber security issues, and the classic version (KDD) still does not address these issues at a satisfactory level.

The scheme of the web mining is complicated and is used for greater autonomy in data processing systems, but the general scheme (stages of data processing) here is similar to the classical one. In data analytics, the latest methods of statistical data processing and deep domain modeling are added to the chart.

Despite the variety of current studies [2-4], all methods from these areas have characteristic inherent weaknesses. We can not talk about the convergence of the results obtained using intelligent data processing. Until now, without special training for knowledge management and without knowledge of artificial intelligence methods, it is impossible to talk about the effective management of intelligent systems. In other words, today someone who is not sufficiently trained in the intellectual and cyber direction cannot manage big data in practice.

As shown at the beginning of the article, without Data-Driven approaches, an agent cannot be autonomous enough.

In systems with KB, constantly arising semantic conflicts (contradictions, inconsistencies) should be identified and resolved. Otherwise, they will accumulate, and the system will gradually degrade.

The algorithmic complexity of modern detection and prevention systems is at least exponential, so there are still few scientific developments in this area that can find wider industrial application. The complexity of developing such applications leads to greater vulnerability to certain types of attacks. We can say that intelligent information processing systems should not work without a special complex for cyber protection. It is appropriate to use the analogy with aircraft carriers here; by the way these are groups with a high concentration of intelligent systems. If the aircraft carrier leaves the battle group, he is actually doomed to death. Therefore, it is necessary to develop a complex cyber defense system. Each practically used intelligent system possesses a large number of vulnerabilities. At the same time, the subsystem for cyber security must have a certain autonomy, otherwise a human-intruder or an advanced program can easily understand and overcome it. In this subsystem, software agents should be used to process big data - it is inhumane to sort out and analyze billions and trillions of data and knowledge. It turns out that for high-quality work with big data, it is necessary to constantly improve both the intellectual and cyber systems. Finally, you need to decide how big is really big data. It is not for nothing that different research mention different figures, and most researchers simply avoid discussion in this direction. First of all, the quantity is determined depending on the tasks set for the system. For example, if the task is to copy a person at the atomic level, then all modern large databases are negligible. Secondly, information processing time is also an essential factor. If we have a system with a million data for finding out whether a professional thief is working in supermarkets in the city, then this is big data. If you just need to list a million phones from one city, then this is not particularly big data. Large databases can work with small arrays of complicated data, this is normal, albeit expensive practice.

## **Fusion of logical and statistical results in one system**

In the field of intelligent big data processing, there are more than 11 standards for processing audio, multimedia and other types of signals or other types of sensory information/data. However, most studies in this direction are not standardized or the standards are changing quite superficially and are therefore more perceived as recommendations or best practices. In this situation, we have proposed new and innovative solutions in this area.

The use of various statistical methods is widespread practice both in education and in research in the field of big data. Recently, more and more statistical applications are called intelligent, mainly because of their growing popularity and good funding. On the other hand, the use of any statistical or other algorithmic means does not make the system intelligent. Most often, statistical results should be processed at a logical level - the theory of evidence (Evidence Theory) is used, for example, in the following studies [7-9]. But all this is not enough to make the necessary decisions in many cases. The theory allows us to correctly interpret the obtained digital results, but nothing says whether the obtained results are sufficiently reliable. In addition, evidence theory makes extensive use of heuristic estimates such as belief functions, doubt functions, which also calls into question the processing results.

Statistical/probabilistic methods are widely used because of their high efficiency. For example, due to the relatively low algorithmic complexity of applications. However, even with probability from confidence interval 1, the obtained hypothesis with such a high probability (for example, 0.9999) still is not a proof. Recall the example of a black swan from the economy and its connection to year 2008 crisis. That is why experts divide the data science platforms into two independent parts - probabilistic and logical. In this situation, the correct operation with intelligent big data processing platforms is a matter of deep knowledge of the theory of intelligent systems. For the same reason, we still cannot talk about high-quality autonomous management of intelligent platforms. The results of statistical and logical processing of big data cannot be used together without additional transformations and evolutionary applications. It is necessary for fusion of this kind of results to develop and / or apply special data-driven evolutionary methods, as shown in the next section.

## **Proposed selection of results**

It is impossible to abandon the effective achievements obtained using probabilistic methods. Today they are quite effective what is achieved by encapsulating information. On the other hand, logical methods most often cannot work with the same minimal algorithmic complexity, however, they do not encapsulate the information used, but serve to extract new knowledge. The merger of these two groups of fundamentally different types of results cannot be achieved mechanically [10-13]. For this purpose, various evolutionary processes should be used, including elements of primitive (currently) machine thinking, which is most often defined as sequential evolutionary processing of data and knowledge.

It is proposed to use the full complex of statistical methods in situations until a lot of knowledge on the subject has been accumulated. This is most effective in an

environment with insufficient knowledge, in knowledge-poor environment. In this case, the main reason for using probabilistic methods is as follows: weak and unreliable information is better than its complete absence. Therefore, in the absence of accumulated experience in the system, for example, in autonomous agents, probabilistic or similar in nature estimates, fuzzy/uncertain/etc., should be used forcibly. However, with the accumulation of sufficient experience in the system, and there are methods developed for such estimates, probability estimates are gradually defeated/canceled: the importance of their use decreases, where and when possible, and they are excluded from the control environment by more universal and flexible logical methods. Regardless of the implementation methods, the described processes are evolutionary in nature.

When combining the results of the proposed two types of methods, the principle of survival of the fittest is used. Thus, decisions that are initially judged to be weak or contradictory may continue to evolve in the future and may even yield the strongest results subsequently. They should not be eliminated, as in most modern methods, because any assessment can be instantaneous and / or subjective. In certain situations, the additional opportunity must be given for development and revaluation. The only indisputable estimate is the one which has been proved. This is absent in many of the above methods and therefore an underdeveloped potentially strong solution can be confused with a weak and unpredictable one.

Below are formal descriptions of procedures for defeating/excluding/canceling decisions (Defeasible Reasoning like the one described in [14, 15]). The following rules are used (Horn clauses):

$$B \leftarrow \bigwedge_{i \in I} A_i$$

$$\frac{B \leftarrow \bigwedge_{i \in I} A_i, C, E(C, A_k), \neg A_k \leftarrow C}{B \leftarrow A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_{k-1} \neg A_k \wedge \dots \wedge A_z}$$

(1)

The logical inference changes when an exception is applied to the rule that invalidates the atom (conjunct)  $A_k$ , which is formulated as follows:  $E(C, A_k)$ . If  $C$ , the reason for the exclusion, is true and if  $A_k$  is false (see below), the value of the rule for the proof of  $B$  changes by exception. As an exception, the subject area was augmented with new knowledge, which, in turn, led to a change in the meaning of the rule. The extended theory of defeasible inference uses the different formal descriptions described in [16].

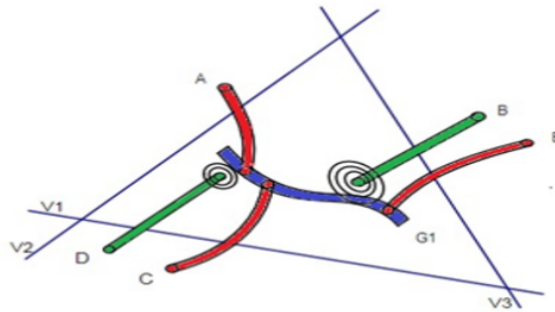
In other words, the described defeasible applications can exclude or defeat any information of a probabilistic or logical nature. In this case, we also consider invisible logical connections between parts, named atoms of knowledge. On the other hand, they do not always exclude it in evaluations with a low value - as some information was defeated, so in other cases its importance can be restored and even increase. Thus, the management of the proposed systems is periodically taken over by both the statistical and logical subsystems, but after a certain period, the statistics gradually lose their evidentiary value [16].

Another way to implement evolutionary strategies is to use the apparatus of evolutionary games [17, 18].

This section presents a method for identifying and resolving contradictions by comparing knowledge with previously introduced schemes of semantic conflicts. If the

model does not have explicit conditions for the existence of a conflict/contradiction, it is called a syntactic model [19]. Otherwise, the model is semantic. The presented models can be considered as a type of ontology for detecting contradictions in the knowledge base. After the detection of contradictions, they are resolved in accordance with the main directions described in the book [19].

The use of conflict resolution and the defeat of certain knowledge is still not enough for the development and further development of systems and platforms for processing big data [20, 21]. A method for determining the relationship between known data and knowledge with unknown methods for solving one or more assigned tasks is described below. Using Puzzle Methods developed by ULSIT university, goals are achieved by applying various types of constraints. The set goals can also be implemented using a system of linear or nonlinear constraints, and then by sequentially considering solutions in the resulting narrowly limited domain.



**Figure 1.** Different types of constraints in the focus area containing the goal G1.

Fig. 1 illustrates an example of using the two sets  $K = A, C, E$  and  $L = B, D$ . The example also uses the classic  $V_u$  constraints: they are depicted in linear form but also may be non-linear curves. As a result of using all three  $V_u$ , a constrained area is formed in which it is easier to search for the required solution: Goal for the Constraint Satisfaction task. Unfortunately, it is difficult to obtain so many  $V_u$  constraints that will lead to the desired result. The example illustrates the advantages of introducing elements of logically based sets  $L$  and  $K$ , where the constraints from  $K$  are called crossword puzzle constraints — intersection of  $A, C$ , or  $E$  with the domain of the desired target  $G1$  gives partial solutions that may be associated with other knowledge to identify the target. They are well combined with classical spatial restrictions  $V_u$ : linear, nonlinear, binary, etc. At the same time, the elements of the set  $K$  do not give a part of the desired



solution, but indicate that it is somewhere nearby. In this case, it is convenient to use the apparatus of fuzzy logics. In general, the location of  $G_1$  does not help in determining the solution of subtasks, and the introduction of  $D, E \dots V_u$  leads to a rapid decrease in the number of alternatives considered. The set  $K$  is one of many researched forms of binding constraints.

It shows the new, logical-based types of constraints that we dealt with: those that logically associate the goal with the accumulated constraints, and those that show how close the desired goal  $G_1$  is. Another type of non-classical constraint is pointing restrictions: in which direction to search. We can say that a special case of this type of non-classical restrictions is the target/fitness function from Management Science or Evolutionary Computation.

Satisfactory solutions can be obtained for the application of big data technology for cyber security purposes as a result of the use of deep modeling by using the presented three groups of constraints. By now because of high complexity issue, you cannot use all the proposed methods in one complex, but due to the rapid development of technology, new more efficient applications are expected.

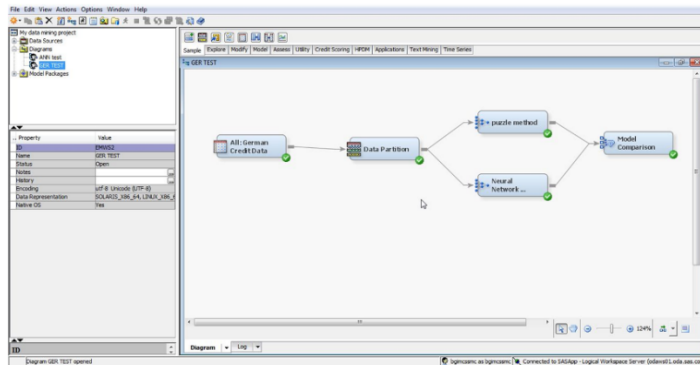
## Experiments

The experimental applications used in this paper can be divided into two groups. The first group is typical for most information applications, and the experiments are described in a number of our publications in 2013-2017. Book chapter [16] discusses how to use Puzzle Methods to improve the performance of SAS Enterprise Miner 1.12 - this platform is one of the best in the Data Miners environment. One of the main screenshots is shown in Fig. 2.

In view of the universality of the proposed evolutionary solutions and contrary to the well-known paradigms, the scope of some of our experiments was in such abstract areas as Number Theory with applications for cryptographic purposes. The study began with the construction of heuristic conjectures, hypotheses that underwent the described evolutionary processes, which led to the improvement and elimination of false information. Finally, a series of evidence appeared leading to the development of new, unknown ciphers and methods for both intelligent and cyber applications.

## Conclusions

The main problems and practical issues of the use of intelligent processing of big are shown: identification and resolving semantic conflicts, defeat and correction of knowledge pieces, linking unknown information with known, accumulated knowledge, combining the results of statistical and logical applications into one system, and so on. It is shown that managing these processes should be evolutionary in nature and will inevitably lead to the emergence of a number of interesting applied and abstract new methods and systems in the field of cyber security. Special, logic-based sets of constraints have been introduced aiming at deep modelling and efficient processing of cyber security data.



**Figure 2.** Experiments with SAS enterprise Miner 1.12.

## References

1. Duch, V. (2006) Computational Creativity. // Proc. Int. Joint. Conf. on Neural Networks, Vancouver, BC, Canada, July 16-21, p. 435-442.
2. Towns, J. et al. (2014) XCEDE: Accelerating Scientific Discovery. // J. Computing in Science and Engineering, September/October 2014, p. 62-74
3. Otero, C., Peter, A. (2015) Research Directions for Engineering Big Data Analytics Software. // IEEE J. Intelligent Systems, January/February 2015, p. 13-19.
4. El-Gayar, O., Leung, P., and Scharl, A. (2013) Introduction to analytics, Informatics and Decision Support for Sustainability Minitrack. // 46th Hawaii Intl. Conf. on System Sci., p. 914-919.
5. Aytkhozhayeva E., Seilova N. (2017) Information security of the electronic society and the internet of things. / J. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, Volume 6, Number 426, p. 264 – 272
6. Samigulina G., Nyusupov A., Shayakhmetova A. ( 2018) Analytical review of software for multi-agent systems and their applications. / J. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, Volume 3, Number 429, p. 173 – 181
7. Han, D., et al. (2011) New Dissimilarity Measures in Evidence Theory. // Proc. of the 14th IEEE International Conference on Information Fusion, 5-8 July 2011, Chicago, IL, p.1-7.
8. . Yong, W., et al. (2011) Research on Evaluation Method of Power Quality for Wind Plant Based on Probability Theory and Evidence Theory. // International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE), December 16-18, Changchun, China, p. 1003-1006.
9. Dong G., Kuang, G. (2015) Target Recognition via Information Aggregation Through Dempster–Shafer’s Evidence Theory. // IEEE J. Geoscience And Remote Sensing Letters, Vol. 12, No. 6, June 2015, p. 1247-1251.
10. Nazarov A., Komarov A. (2013) Intelligent system for analyzing cybersecurity in space based on web technologies. / J. T-Comm, #10, 2013, p. 81-84
11. Davidson-Pilon C. (2019) Bayesian Methods for Hackers and DataOrigami. Back to school for Food Science. @Shopify. Waterloo, Canada. <https://github.com/CamDavidsonPilon/todato>

12. Emmert-Streib F., Dehmer M. (2019) J. Mach. Learn. Knowl. Extr. 2019, 1, p. 945–961
13. Domingos, P. et. al. (2019) Unifying Logical and Statistical AI. <https://homes.cs.washington.edu/pedrod/papers/aaai06c.pdf> to date
14. Bryant D., Krause P. (2019) A review of current defeasible reasoning implementations. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-review-of-current-defeasiblereasoning-Bryant-Krause/532868041cefc5211ffe-4021823a43c1a6b7cee> to date
15. Casini G. et. al (2019) Towards Practical Defeasible Reasoning for Description Logics. <http://ceur-ws.org/Vol-1014/paper17.pdf> to date
16. Co-operative learning approaches: Jigsaw Method. (2019) Professional Jotsov, V. (2016) New Proposals for Knowledge Driven and Data Driven Applications in Security Systems. // Innovative Issues in Intelligent Systems. V. Sgurev, R. Yager, J. Kacprzyk, V. Jotsov (Eds.) Studies in Computational Intelligence, vol. 623, Springer, Berlin Heidelberg, p. 231-294 (ISSN: 1860-949X).
17. Karev G. (2018) Evolutionary games: natural selection of strategies. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1802/1802.07190.pdf> to date
18. Newton J. Evolutionary Game Theory: A Renaissance. <http://res.mdpi.com> to date
19. Jotsov, V. (2014) Artificial intelligence and expert systems. - Sofia: For the letter - About writing, 2014, 236 c.
20. Big Data, Big Promises: The Next Generation of Conflict Forecasting (2018) Friday, 26 January 2018 <https://www.ethz.ch/ethz/dual> to date
21. Benefits and risks of Big Data Analytics in fragile and conflict affected states <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5d1c7da440f0b609cfd974a1/605> Benefits and Risks of Big Data Analytics in Fragile and Conflict Affected States FCAS.pdf. (2019)

# Intelligent Methods in Education: Case Study of Advantages, Problems, and Perspectives

Vladimir Jotsov<sup>1</sup>[0000–0002–2860–7918],  
Murat Tulenbayev<sup>2</sup>[[0000–0003–0070–4641],  
Zhumakhan Myrkhalykov<sup>3</sup>[0000–0003–1103–7426],  
Marat Manapbayev<sup>2</sup>[[0000–0003–1590–9244],  
Adlet Alipbekov<sup>4</sup>[[0000–0002–4195–966X], and  
Svetlana Beglerova<sup>2</sup>[0000–0003–2854–7318]

University of Library Studies and Information Technologies, Sofia, Bulgaria  
v.jotsov@unibit.bg

Taraz Regional University Named After M.Kh.Dulaty, Taraz, Kazakhstan  
{mtulenbaev, mhclon, sbeglerova}@mail.ru

SILKWAY International University, Shymkent, Kazakhstan  
nauka ukpu@mail.ru

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan  
a.alipbekov@edu.iitu.kz

**Abstract** The topic of the presented investigation concerns contemporary education threats leading to possible large problems in the nearest future. Today the prevention of such problematic results is almost impossible without applications of intelligent methods, tools, and technologies. Even more, the contemporary education system should possess some features of intelligent technologies, smart systems and data science elements especially when the education concerns Information Technology (IT) fields. Original results are elaborated and combined aiming to build effective and flexible applications of classical and/or presented deep modelling and intelligent methods. All the demonstrated advantages are successfully applicable with other known methods from e-learning, mlearning or other innovative/advanced contemporary education fields. It is discussed how the stated applications enhance the quality of learning, improve the emotional connection between the teacher and students and ultimately serve the sustainable development of student skills and knowledge. In the common case the proposed qualitative forms of education do not demand the usage of expensive hardware.

**Keywords:** education, cyber security, national security, intelligent system, agent, knowledge discovery, data science, web mining, ontology, human-centered system, knowledge management system, automation of creative process.

## Introduction

Contemporary education methods, technologies and good practice solutions are widely explored aiming to introduce creative teaching/learning conditions [1,2]. Many important examples of popular method directions could be mentioned in this case

[3-7, 9, 11]. In [12] it would be interesting to show up an example of a practical research from Kazakhstan. A combination of applied methods is represented on site [13]. Many other examples of methods for enhancing creative abilities in class conditions could be described starting from one century old pedagogical good practice handbooks to classical but still very effective brainstorming/Altshuller and analogical methods. Nowadays AGILE technologies are widely applied aiming at improving the quality of education [8,10,14]. This is a promising attempt for adaptation to rapidly changing rules and environments in a rather unpredictable world. The strong features of agile applications are: 'flexible' methodologies, openness to changes, and high communication level. Three are the main parts of such applications: education process, people, and changes. They aim at more active education process adaptable to the needs of every student, turning from learning facts to learning sense of the material, and vice versa.

IT education is one of the rapidly developing education fields. Contemporary IT with focus to Information Security Systems (ISS) and especially their web-based versions represent a wide range of applications of modern methods and technologies. The training of intelligent agents - one of the most complicated software tools, already reaches such a high level that some elements of machine learning (in other words "education" of machines) became practicable also in contemporary education for such rapidly changing subjects as Information Security (IS). IS is an example for a rapidly changing trend the qualitative training of which is neither easy nor cheap. The following paper sections propose a number of original methods purposed not only for pupils but also for IT students, particularly in IS. This research is based on a series of methods for intelligent knowledge/data processing elaborated within universities from Bulgaria and Kazakhstan: ULSIT-Sofia and TARSU-Taraz. The versatility of the proposed approaches is demonstrated not only on students but also by their successful application for training soft agents or holohy-type robots in the area of IS. The presented series of experimental results show accumulated problems that require the application of sophisticated modern intelligent methods for education purposes. Among them is a growing tendency to memorize rather than thinking, we name it shallow learning, which starts from small classes of school education. Also, the lack of attention [15] mainly due to the use of computer games and/or too active use of Web forums and resources for communication instead of research causes a lot of problems. Problems occur because of the desire to receive high marks without time spending and/or a deep understanding of the presented subject. The considered accumulated problems couldn't be resolved only by using traditional, highly effective in the past, classical methods.

The accumulated problems are not practically resolvable using a single method but rather a series of methods under the control of a general synthetic metamethod. This is the main tendency of this century: the high level control is in the hands of synthetic methods while the analytical methods (algorithms/functions/. . . ) go to control mainly of the lowest levels in the system. Synthetic methods are common in ISS applications and it is time to apply them in education. For pity, too often we cannot support the use of expensive technological solutions such as using smartphones to

connect directly with the course data and video images of lecture material, G4/G5 methods for m-learning, etc. [16-20]. A nice synthetic education example is given in [21]. A discovery process by using Moodle e-learning system is described in [22]. Different data mining education aspects are welcome to compare by using sources [23-25] and the author newest research uploaded in archive.com, researchgate.net and other platforms.

Even if a project allows the installation of corresponding tools, policies and practices, it is not practical to hire teams to support many of the latest systems because lecturers alone cannot make all the necessary flash animations, implement and maintain mobile connectivity and other sophisticated things requiring additional training. Under these conditions we developed an inexpensive technology for modern teaching based on a minimum of technological skills and solutions that do not require high costs of purchasing and support [26].

Just in our case, the realization of agile-oriented data-driven education applications help in most contemporary courses concerning IT, cyber security and intelligent applications. On the other hand, many agile principles are rather flexible and possess not fully described realization aspects. Our proposals improve this situation. It is shown that the students do not need to know the principles of intelligent/data science methods to successfully learn difficult lectures. On the other hand, when the professor knows and applies these principles the quality of his lectures is much higher than average.

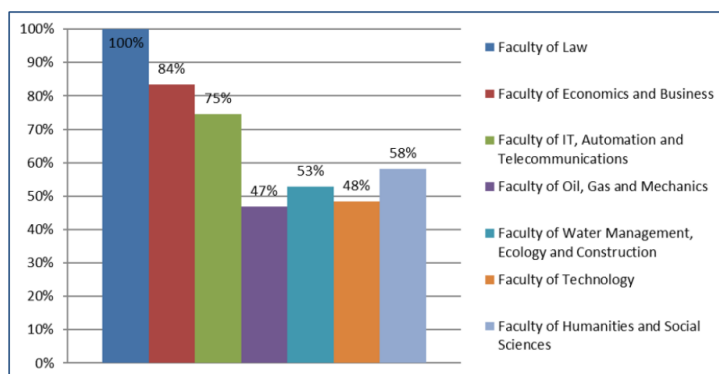
### **Qualitative versus Quantitative Education Principles Applicable during Fast Progress Times**

Distance learning technologies are introduced for correspondence students at TARSU as an experiment since 2008. Since 2011, part-time students in 27 specialties have been studying with Distance Education Technology. - 4072 correspondence students in 26 specialties; - 379 evening students in 23 specialties; - In the current 2019, 1090 students were trained under the shortened training program in 84 Education Programs. The results from the analysis of the availability of digital e-learning resources state autumn 2019 at TARSU are represented on Fig. 1. Due to dynamically changing situation on a modern labour market the considerable part of workers has a need for obtaining new professional skills, knowledge and abilities, and one of the most demanded directions is specialties connected with computer technologies (IT). In the government education development program of the Republic of Kazakhstan for 2011-2020 electronic education is positioned as one of ten priority directions of education development. Hence, it is a good example of the situation as a whole.

The education organization, assuming introduction of distance educational technology (DET), faces need of the solution of the following problems:

- development or acquisition of the corresponding information system;
- creation of an electronic resource of educational and methodical materials;
- education, involved in the DET;

- material support.



**Figure 1.** The state of digital education resource endowment at TARSU.

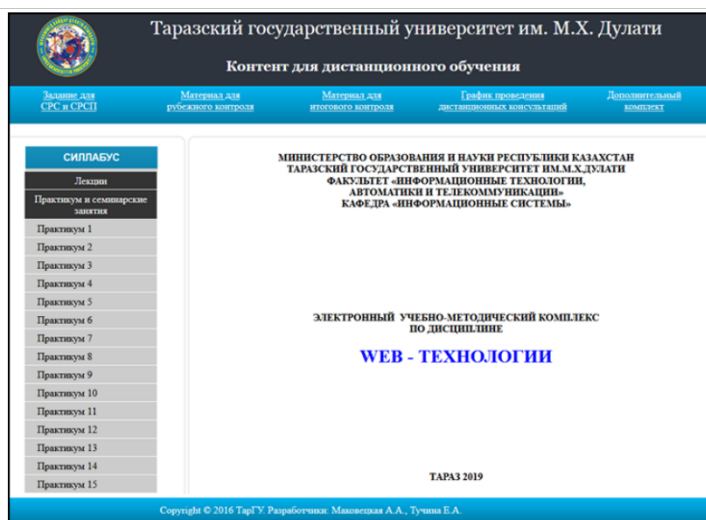
Development of a full-fledged electronic educational resource (the electronic textbook) is one of the fundamental problems of distance technology of education.

Considering that at an initial stage of introduction of DET it was necessary to develop electronic textbooks in a large number on considerable number of disciplines in short terms, the program of the automated process of receiving an electronic educational course "CONTENT" was developed by the sector of educational and methodical materials of the TARSU department (<http://cde.tarsu.kz/>). CONTENT represents the program cover supporting the international standards of information products of educational appointment for automated designing of electronic manuals from available materials on structure set by the user. CONTENT is figured on users who have no time or opportunity to master all knowledge of the web master profession and is intended for fast creation of the electronic manuals using the web interface. Possibility of filling the modules by supervising blocks, allows to create the interactive electronic training, supervising and combined manuals. CONTENT allows to create quickly electronic courses on the basis of available sample interfaces and not less quickly to change appearance of the created manual. In the presence of initial materials creation process of the electronic module by means of CONTENT happens in three stages:

- 1) project creation
- 2) material addition
- 3) textbook assembly

All that is required at creation of an electronic training course - a source text of the textbook in the text editor (MS Word), transformed further in the HTML file. Thus, preparation of a material requires only knowledge of the MS Word editor.

The main view of the electronic resource concerning the CONTENT usage is represented on Fig. 2.



**Figure 2.** Screenshot of TARSU distance learning system.

The proposed research develops the thesis that all the best modern e-learning systems have much in common with research systems and vice versa. The below considered methods include a number of elements for applications in research systems. What is the most important, IS material is hard-to-explain to a wide auditory? The software agents are ‘thinking matematically’. How to explain their principles and results to non-matematicians? The proposed methods can represent many mathematical notions altogether with informal things in the form of images with ot instead of formulas. Almost same methods applied in different ways bring new results for applications in IS training. This is easily shown in the below considered interpretations. On the other hand, teaching IS stands out from other undergraduate and graduate programs that it operates in rapidly changing models, requirements, concepts, tools, instruments and policies where the problem for qualitative education is particularly difficult. Teaching IS highlights in the brightest way the advantages of the proposed new methods and applications in ISS. The following applications are presented for e-learning in IS. For the sake of better visualization of the presented material, original method named Puzzle is considered in the next section.

One of the most instructive facts about the audience for training is that current neural-based machines in the form of software agents/holons repeat the actions of the teacher on a much higher level, even related to an excellent student. Therefore, rote memorization of lectures makes no more sense: sooner or later machines will displace

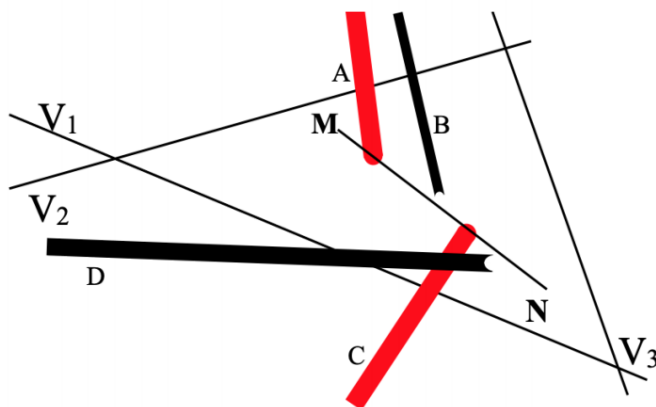


us from such mechanical type of activities. Instead applied science of matter should be deeply rationalized through comparisons with other works accessible through the Internet, by experimenting with numerous courses and with open source products which become more pervasive in our practice together with contemporary Web-applications. The example shown here illustrates how to achieve simultaneously two goals: explain artificial neural networks and modern principles of quality training through effective and deep understanding. Similarly, using neural networks explains best practices for control of knowledge, and for more drills for lagging students. The application of the described methods makes the lecture process more easy, understandable and transparent. In such a way, sustainable education results are obtained. It is not easy to explain everything at introductory level. The last part of this Section is mainly devoted to IT specialists.

Monitoring the quality of education most often uses a complicated combination of different statistical methods. We used similar methods in a general Data Science module together with applications described in this paper and the results of logical and statistical parts of the logical-statistical complex are fused on an evolutionary basis. Modern applications of statistical methods are effective and convenient to use at the expense of information encapsulation. In other words, it is impossible to construct tools to acquire new knowledge or to resolve other logic problems in this area. If we split methods in two groups (quantitative and qualitative) then statistical methods belong to the first group and logical ones belong to the second group. For this reason, their mechanical union is of no perspective. We do not attempt to propose any isolated solutions, instead we offer a combination of novel methods that is well adjustable to the existing ones. Our research includes a new evolutionary metamethod for joint control of statistical and logical methods where the statistical approach is widely applied on the initial stage of the research when the information about the problem is scanty and it is possible to choose the solution arbitrarily [26]. After some time, the accumulation of knowledge makes logical applications more and more effective and more universal than the probabilistic ones, as well as fuzzy estimates and similar applications. The paper uses SMM (Synthetic MetaMethod) to control the process of consecutive replacement of applications by other ones. In the common case during intelligent data processing, there is no convergence of the results, but this does not hamper practical applications of these systems. In other words, bad and good designers will arrange the display window in quite different ways and there is no guarantee that every user understands the technology and that his access to the system will have positive results. In general, the use of SMM is one of the most important and demanding elements of the efficiency of intelligent applications. In the educational field combining the proposed methods depends on the lecturer's experience which makes the performance much simpler than just in the software case. At this level, the operation of the data science module is limited to implementation advices to the lecturer. Suggested innovations serve the more effective application of education practice altogether with text mining, Web mining, collective evolutionary components in multiagent systems [26,27].

### Puzzle: Graphical Interpretations Highlighting Cognitive Elements of the Presentation.

Essentially the Puzzle method [26] uses a form of visualization, which leads to establishment of a creative work in various forms of training or for research purposes. We would like to remind that high quality learning inevitably leads to independent research. In the present study, it is revealed that in some cases the graph itself of the obtained partial solution from Fig. 3 is sufficient for decision making by the user or the expert.



**Figure 3.** Graphical representation of linguistic material.

The represented-on Fig. 3 graphics concerns a problem of focusing attention in students. Here  $V_i$ -s are the classical linear constraints. They are linear for the sake of simplicity. At least three of them can close the research area and if this area contains a significantly small number of elements, it is defined as a focus area. Non-closed [or closed] area with an infinite number of elements is non-recommended for focusing the attention. Anyway, the area in general case contains a large number of elements and an additional research should start. Let the goal of the focusing task is included between the elements M and N. Then the solution is hard-to-be found. In a general case this task has NPM complexity: it is hard-to resolve. The constraints D and B are defined as an example of binding constraints. They are modelling the situation 'the solution is somewhere nearby'. A set of such constraints helps us locate where is the position of the desired goal (M-N in Fig. 3). For deep modelling of the presented material another two original logical-based types of constraints have been introduced in [26]. The first type is named pointing constraints: they indicate the

direction where the solution exists. Pointing constraints could be described as a general case of fitness functions from evolutionary computation methods or a generalization of goal functions from management science. The pointing and binding constraints make successful combinations in different constraint satisfaction applications. The last group of considered constraints is defined as crossword constraints. Their usage is graphically represented with lines A and C. The intersection of A or C with the goal G gives one part (atom) of G.

All the considered graphical interpretations of constraint examples from Fig. 3 are very helpful for any modelling of creative processes: proof of formulas, security models and so on.

Different versions of the modelled knowledge contained in Fig. 3 provide a base to describe things that are difficult to express in words. Not surprisingly, a Chinese aphorism states 'A picture replaces thousand words.' It should be added: '... and is understood and memorized better.' Below different linguistic equivalents of combinations of interpretations are considered similar to what is depicted of Fig. 3 and obtained by the proposed Puzzle method.

Things are moving way that . . .

... neither ... nor ... but it is too close to ...

Looked at from another angle ... Other findings ...

An object can be represented as intersection of two dynamic areas ...

In the future, these two concepts should be used jointly ... etc.

These natural-language fragments are present in plain text for students, but further it will be shown that by the Puzzle method this is done much better: deep modeling and vizualizations helps deeper understanding of things. For example, Fig. 4 and Fig. 5 show another example of Puzzle method clarifying certain processes and relationships between objects. Concentrating the attention in the area of Fig. 4 by using binding constraints, the concentric lines from Fig. 4, supports by narrowing the set of analyzed elements, and the opening of implicative relation referred to in Fig. 5. The relation is same form as in Fig. 3: for example, M causes N. Also, in the case of effective learning using informal causal relations that are associated with that implication 'from M it follows that N'.

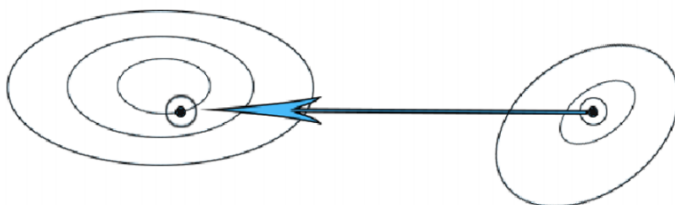
In Fig. 5 the system of different limitations/constraints supports the detection of a causal relationship between M and N, with no correlation between them in Fig. 4. The connection occurs in imposing additional logical processing in Fig. 5. The process is dynamic in nature and it is almost impossible to be properly explain only with words.

This image (or media) is so much more convenient and efficient to visualize, transform and use different dynamic processes through ontologies. Examples and figures lead us to the conclusion that ontologies as the ones depicted in Fig. 6 are introduced, used and dynamically changed applying the Puzzle method.

Unlike traditional oral presentations, the material visualized by the Puzzle method gives much more directions for own research and for detecting and correcting gaps in knowledge. For example, 'it is neither ... nor ...' and many other natural-language interpretations incorporate a lot of fuzziness that can sometimes be misunderstood. Careful study of graphs similar to Fig. 3 or Fig. 6 excludes misunderstanding and



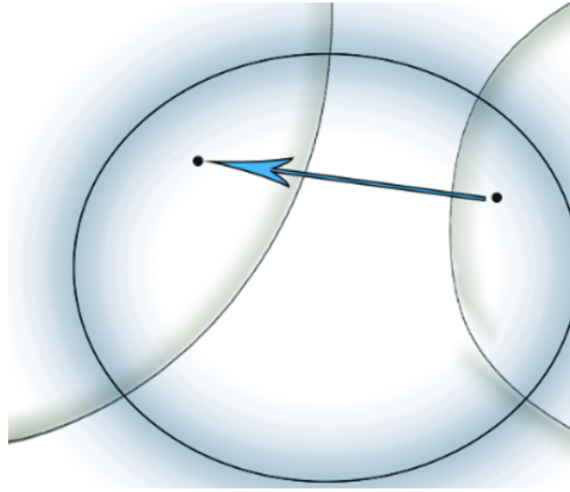
**Figure 4.** M and N are unrelated.



**Figure 5.** Detection of the causal relation or implication between M and N.

furthermore – a misunderstanding of the material. On the other hand, the whole learning process is concentrated in one place, it is not necessary to look for other Internet sources to clarify the question e.g. ‘why’, ‘what’, ‘how’ to get results, etc. The quoted relations also are useful for pointing the lecture main points. Intelligent training tools not only accelerate but also intensify the training.

Unlike IS, a wide range of tools for modeling and presentation of material is used in this section. The modeling must be used not for ISS software agents but for people. Respectively it is easier to introduce audio or multimedia ontologies, transmitting the meaning of things. For example, in Fig. 7 the answer to the question ‘How the passive defense works’ is given at a schematic level. To present the meaning of things it is enough to show one or several key points on the subject altogether with corresponding explanations. Sometimes it is better than an entire movie. The relevant ontology is not limited by the photo which has just a specifying role. More important are the descriptions to a picture to describe what the picture is essentially, in detail. The picture explains many details clear to people, but intelligent agents will learn nothing from this picture, especially if the agents are designed for IS.



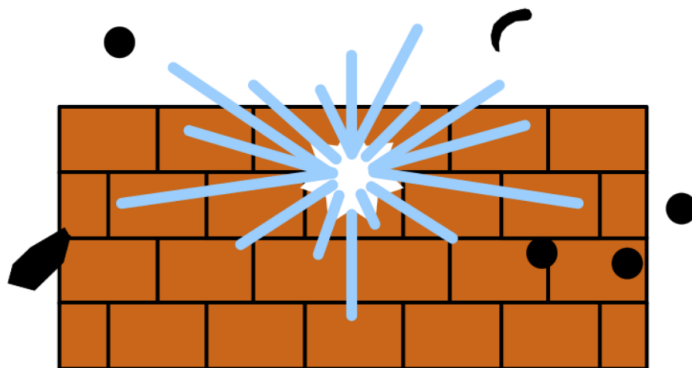
**Figure 6.** Application of ontology-type constraints to reveal causal relations.

Presenting information by meaning is a key element of modern higher and university education. The proposed methods of the puzzle, of the kaleidoscope and the other tested methods greatly expand opportunities for qualitative teaching IS, one of dynamic interdisciplinary specialties with increased complexity and also of various types of requirements for trained students.

### **Advantages of Education Applications of Puzzle Methods**

The proposed original method discovers new or hidden knowledge by connecting the unknown, the sought solutions with previous experience in the form of knowledge bases. Let the constraints of the defined problem form a curve in the space as depicted in Fig. 3. The main goal of the Puzzle method is to reduce the multidimensional search space for the solution. For this purpose, we used several types of constraints, in [26] the study is focused on the case of using ontologies instead of individual constraints. Furthermore, the research of process dynamics aimed at reducing the field in certain cases allows us to derive new knowledge in the form of rules. This inference process and constraint usage allows us significantly to simplify formal and evidence material in lectures, attract the attention on details and simultaneously increase the activity of learners. Showing the process of connecting known with unknown improves understanding and retention of the presented material.

For example, if a bachelor who has graduated a university lives in Sofia and he/she does not want to work anywhere else, then the line restricts the search space and in this way a lot of unnecessary work is avoided. The focus is on Sofia area. It is also possible to inspect a case when the constraint is defined as a type of surface but as a result a more general solution is obtained where a special interest is provoked by the boundary case



**Figure 7.** Schematic (ontological) view of a passive defense.

of the crossing of two or more surfaces. When the common case is inspected in detail, then in the majority of cases the problem is reduced to exploring the lines instead of curves with complicated forms obtained from crossing surfaces.

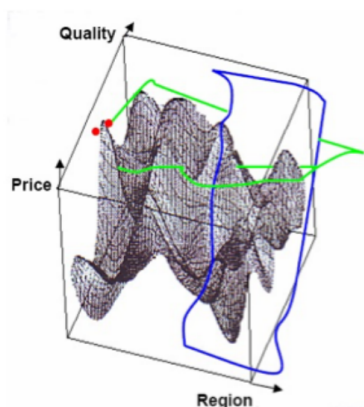
The following example below shows how the search process is reduced using ontologies. Let's admit that the search space is presented on fig. 8 where statistical data about ISS are generalized about the regions depending on their price and quality. It is necessary to select an acceptable ISS to our project. A right, blue-coloured subset of feasible solutions is the best one: 'this means the neglect of ISS designed outside Europe'. The space of feasible solutions is to the left of the separating surface that is depicted on the figure in blue (dark gray) color.

In Fig. 8 another surface in green (bright gray) color is shown in the top part of Fig. 8. It also delimits the search space of the solutions. In our case the limitation means 'systems with unknown principles of operation'. It is accepted that in the data bases there is no clear distinction related to the presented criteria so the search of the feasible solutions is nonlinear of high dimensionality and practically it cannot be solved using classical methods. Nevertheless, by applying ontologies analogous to the ones from the previous section the problem is solvable via the Puzzle method. There are two red (bright gray) dots on the same Fig. 8 in its left corner. Each of them is another, third form of the above described binding constraint. Its semantics is the following: it is not a solution, but it resides close to the desired zone.

By introducing new types of constraints, our goal is to show that it is possible to use causal links that are different from implications. They are used in many different education tasks.

## **Emotion Control and Enhancement as a Tool for High Quality Education**

There are many analogies between intelligent technology and IS training [28]. With no specific game elements, if the information is presented in a monotonous manner, it is



**Figure 8.** A case for binding and other constraints.

possible to provoke negative consequences and affect the quality of education. This ‘game element’ means the number of applications, starting from conflict resolution and contradictions using the apparatus of game theory and/or mathematical logic to applications used in computer games. The application of this aims at establishing an emotional contact between teacher and student, and this must abandon outdated notions that emotional teaching scientific disciplines is an obstacle, not a contribution. The term ‘emotional teaching’ no longer means that it is necessary to ‘read’ enthusiastically, with emotion. Surely this will not appeal to everyone in the audience. The creation of comfortable conditions for the system or the students will produce the necessary emotions.

There are two main approaches to winning contemporary education in IS. First, it is necessary to draw the attention of the student to the teaching material, for example by introducing a competitive element (which will first solve the problem), through a system of bonuses and at the same time – the introduction of additional work for lagging students (topics for further study, additional tasks, etc.). Those elements of the training system should unite in a clear and explained in advance system in which excellent performing students are being tested for a much shorter time than laggards. One of the goals is to avoid monotony in teaching modern dynamic disciplines, where the lack of attention can lead to misunderstanding or misconception of the material. Second, the gained attention of the students should be held. Without the introduction of certain emotional elements in the lecture it is difficult to attract attention and it is practically impossible to keep long-term.

The inclusion of emotional components in the presentation is not enough for modern teaching information and communication technology (included in IT). In the direction emotion-aware systems it is widely discussed the application of measuring the emotions of the personalization data for making individual training scenarios, modeling every person working with the system. These funds shall not apply in the study because they

require greater financial resources (and therefore apply mainly expensive developments in ambient intelligence) and are not effective: response and appearance of people often lie about their emotional state; models allow for individualized learning, but their development is a slow and costly process. It is therefore proposed not to measure positive emotions but to produce them under the right conditions. To create conditions in the first place it is necessary to exclude factors that prevent them:

Complex and voluminous material for which there are not enough hours. If the material is cut, then should be taught not different methods, but large groups of methods or strategies and there should be required additional study of the material of substance. This prevents a proper understanding of the subject by students which copy texts from web in the best case.

To understand complex material with lots of formal descriptions or with many included fragments of programs. Formal or program descriptions provide a detailed understanding of IS and other disciplines in ICT. On the other hand, understanding formal descriptions takes time, which can 'eat' the majority of the lectures.

It is not easy to teach dynamically changing material with an interdisciplinary focus on people who are accustomed to traditional teaching methods, algorithms, data sources and references for briefly studying with the requirement that everything must be written in Bulgarian. In this we encounter with the collective mindset to do it the fastest way (hence – badly), for example the decisions for homework problems can be found in 'manuals' or in other Internet sources. Independent copying from the Web space is mistakenly considered as an ownership, especially if a translation from a foreign language is performed. When the methods are based on data then they are not largely algorithmic, they cannot be briefly described and fully understood without additional programming skills; the resources are in English and most of them are from the Internet, so teaching of IS using traditional tools leads to misunderstanding and low effectiveness.

Emotional contact cannot be built without a clear description of things, without interest and bilateral trust. Here the following thesis is used:

What is more convincing, better structured, clearer – it is emotional (i.e. it produces positive emotions in students). Emotions could be easily detected especially by using constraints described in previous section. For example, Fig. 9 depicts the situation of an accident with a car. The emotions of the people inside the car are evident and they easily affect people. For software agents such training is much more difficult.

But how could we describe clearly intelligent data processing, serious statement which even experts in the field perceived as complicated enough? To solve the problems presented without an expensive technical device starting from 'breaking the ice' by explaining that more complicated matter leads to higher valued knowledge, by surprise, 'awards', a change of the environment, etc. For example, it is better to use the idea of the leadership of University, where there are lectures on oral explanation, to use comfortable armchairs for outdoor classes. The main objective of these measures is some of the best and most active students to participate and help other students. Counter questions are promoted and also comments from students if they have a direct connection with the material. Making little 'olympic games' also helps us a lot. For example, you can use a system of bonuses from +0.25 up to +1 (reinforcement learning system) as score to evaluate the self-tests for a given topic. Experience shows up that even the





**Figure 9.** An emergency situation.

smallest bonus then stimulates less organized students to devote more time to the subject, because they are convinced that they are better than others by something. Organisational arrangements for quality teaching must be numerous: checking attendance, interim control knowledge, grouping students according to the results, varied approach to different groups, etc. Sometimes are important also least important details such as teaching easier to understand material in weeks with most other control workload from other disciplines. Aiming to provoke positive student emotions, the system should be carefully calculated, tested and applied.

In general, teaching requirements of ISS are sometimes contradictory. The obtained results are presented in [26].

The problem of the time shortage for lessons both inside and outside the audience halls is resolved by introducing emotional elements to reduce tension during the intensive work and also by issuing more textbooks and school supplies thanks to the support from the management. Along with this more complex material should be presented in a more understandable way, preferably through informal means and explanations. For example, the concept of a prime number, which is widely used for protection of information, is inevitably linked with the concept of infinity. In the above illustrated method of kaleidoscope, the two concepts are linked through graphical interpretation. Graphics and the issues they raise, are relatively easy to connect to the evidence, and without them, this material would become 'tedious grind material.' Graphical interpretations are more easily stored, easier to explain, they give more possibilities to continue separately the study and thus to compensate for the lack of time to explain. It is good formal results only illustrate, to accompany graphs showing the path of their receipt and not their memory is the main objective of the course. Thus, teaching is clear and unambiguous. To avoid the opposite, the presented results are accompanied by full details of who, when, where, under what conditions has developed the method or the application. It is not necessarily all information to be presented in one place, it is important to have it somewhere, e.g. in a textbook. For the same reasons for recording knowledge in KB it must be recorded this kind of meta-information, it

helps to resolve the conflict between the confluence of knowledge information created by many experts in other situations. The visual presentation of the material is intended to provoke lateral thinking in a large group of students interested in the subject. Those are also emotional elements of teaching and the use of ontologies leads to more in-depth study of the subject.

Available students (people or machines) are offered to use another new relationship – ‘important’ – for structuring the material in varying degrees of importance. For example, when describing applications of radar to protect airports, relations ‘why’ and ‘important’ should be directed to the following: Doppler radar is significantly more expensive than the usual one, but it not only allows to show the location of monitoring sites but also their speed and one of its main functions is now detecting micro hurricanes and the movement of winds in the storm. Naturally, the detailed technical descriptions of the radar are also important, but they do not give new information about the meaning of the studied objects and about their use, therefore they are not associated with the relation ‘important’. If an agent, without understanding the meaning of things, depending on the situation transfers to a human texts on relations with ‘why’, ‘background’, ‘how’ or, for example, ‘important’, it will complete the task of proper information and there will be no need for further actions. In a scenario with two software agents, this technology will not work without additional actions.

When it comes to emotions, everyone thinks of emoticons. Their use of the screen or on the board is considered frivolous, maybe a bad taste, perhaps tacky to play around with the students. Meanwhile, we think their entry into ISS pending with other analogues of icons of the past and thus their roles and status will change [28].

The proposed method is from the category of blended teaching where ICT are widely used in the teaching process, but they are no substitute of the lecturer. For ease of learning the discipline is necessary the most important things concerning the strategies and fundamental new concepts, paradigms, changes in the subject area to be studied on the spot and educational tools to help study the technical details by checking the knowledge of exercise. Thus, giving place to more easily adopting the discipline and to giving more examples and presentations.

As a main conclusion it can be stated as follows. The emotional contact, driving the student to creative events, is not necessarily based on means of measuring emotions. Emotional elements in teaching together with other measures of organizational complexity reduce complexity of the taught subject and there should be left ‘doors for independent research’. Using innovative teaching elements in ICs is necessary. This largely relates teaching ICT as a whole. A number of approaches to this are presented. Last but not least, the presented teaching brainstorming process cannot be successfully implemented without the approaches listed here. Therefore, there is a direct link between proper teaching today and create technologies for future IA. Without emotion-based elements it is very difficult to provoke students’ interest – a base for deep understanding and high-quality learning.

The experimented system source codes are written in different languages: Java, Python, C#, and few other languages. It is convenient to use free applications like RDF, OWL, Ontoclean or Protégé. Many of the described procedures rely on the usage of different models/ ontologies in addition to the domain knowledge thus the

latter are metaknowledge forms. In knowledge-poor environment the human-machine interactions have a great role, and the metaknowledge helps make the dialog more effective and less boring to the human. The dialog forms are divided in 5 categories from 1='informative' to 5='silent' system. Knowledge and metaknowledge fusions are always documented: where the knowledge comes from, etc. This is the main presented principle: every part of knowledge is useful and if the system is well organized, it will help us resolve some difficult situations in future.

It will be interesting to apply the proposed ideas in Kazakstan conditions described for example in [29]. We should investigate not only the shown advantages but also the disadvantages like the complicated explanation of contemporary research.

Really the story of high-level, contemporary education in cyber security or other IS field is difficult to explain. When the professor knows deep modelling elements explained in previous Sections, it is much easier for him to resolve this controversial and difficult task. The more the professor knows the deep modelling and other data science elements the easier will be his explanation material to students.

## Conclusions

The main conclusion is that to overcome the contemporary education shortcomings, methods, Data Science applications are necessary. Special attention is paid to deep modelling analogical to machine learning for software agents. The role of the above methods for the education purposes is widely discussed. Interdisciplinary issues like emotion control also had been discussed. Only a combination of different methods could help resolve a difficult task how to construct a highquality education in rapidly changing environments like cyber security.

Analysis is applied for technologies used for sending information by sense, and for deep understanding the semantics of the information. Common advantages and disadvantages for different existing groups of contemporary applications are revealed.

Same methods in different combinations are effectively used to enhance security staff possibilities or in contemporary e-learning systems in the field of Information/Cyber Security [26]. Applications outside the field of information security have been made since a long time, but their explanation goes beyond the field of the considered research concerning the most difficult education cases.

It is shown how, by applying the principles of Data Science technology for lecturing to pupils or students, there is a substantial rise in the quality of lecturing even for the most difficult disciplines, and there is a growing quality in the implementation of the studied material which leads to sustainable development of the regions. Examples of effective combinations of the proposed deep modelling Puzzle methods with good pedagogy practice are also considered.

## References

1. Kola Aina J., Langenhover Keith (2015) Teaching method in science education: The need for a paradigm shift. / International Journal of Academic Research and Reflection, Vol. 3, No. 6, p. 6-15

2. Lee Yong G. (2013) The Teaching Method of Creative Education. *J. Creative Education* Vol.4, No.8A, p. 25-30 (available online <http://www.scirp.org/journal/ce>)
3. Bloom's taxonomy of educational objective. Bloom's taxonomy of educational objectives. Teaching and Educational (1996) Development Institute. Teaching and Educational Development Institute, the University of Queensland, Australia
4. . Anderson, L.W., Krathwohl, D. R. (2001) A taxonomy for learning, teaching, and assessing, Abridged Edition. Boston, MA: Allyn and Bacon
5. Methods of Teaching. COURSE GUIDE. (2012) Associate Degree in Education, Higher Education commission, Pakistan
6. PDST Technology in Education (2019) <https://www.pdsttechnologyineducation.ie/en/Good-Practice/>
7. Teaching and learning: an introduction to new methods and resources in higher education. (2019) UNESDOC Digital Library, UNESCO, Source: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000000612>
8. Agile Education. (2019) <http://agileclassrooms.wikidot.com/agile-education>
9. Research Methods for Education (2017) Cohen Louis, Laurence Manion, Morrison Keith (Eds.). 7th Edition, Routledge, Francis and Taylor, London, NY, 944 p.
10. Stellman Andrew, Green Jennifer. Comprehending Agile: Values, Principles, Methodologies. (2017) - M.: Mann, Ivanov and Ferber, 448 p.
11. Dichev, C., Dicheva, D. (2017) Gamifying education: what is known, what is believed and what remains uncertain: a critical review. *Int J Educ Technol High Educ* 14, 9
12. Kalimoldayev M. N. et. Al (2018) METHODOLOGICAL BASIS FOR THE DEVELOPMENT STRATEGY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN IN THE MESSAGE OF THE PRESIDENT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN DATED OCTOBER 5, 2018. *N E W S OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN, SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES*, Volume 5, Number 431 (2018), p. 47 – 54.
13. Six Strategies for Effective Learning. Materials for Teachers and Students (2019) The learning scientists Source: <https://www.learningscientists.org/downloadablematerials>
14. Breaking the Deadlock: Agile Principles for Modern Education (2019) <https://newtonew.com/tech/agile-methodology-in-education>
15. Millichap J. G. (2019), Attention Deficit Hyperactivity Disorder Handbook. Springer, NY
16. Co-operative learning approaches: Jigsaw Method. (2019) Professional Development Strand, Unit 7: Teaching Methodology, Module 7.2 General Teaching Methods, P. 22.23 (Source: <https://www.education.gov.pg/TISER/>)
17. Nayak A. et al. (2009) Enterprise Architecture for Semantic Web Mining in Education. In: Proc. of Second International Conference on Computer and Electrical Engineering ICCEE'09, vol.2, pp. 23-26
18. . Qu Y.-T. et al. (2009) Research about the Application of Web Mining in Distance Education Platform. In: Proc. of International Conference on Embedded Computing SCALCOM-EMBEDDED COM'09, pp. 508-513
19. Huang J., Zhu A., Luo Q. (2007) Personality mining method in web based education system using data mining. In: Proc. of IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services GSIS 2007, pp. 155-158
20. Armuelles I. et al. (2004) On ad hoc networks in the 4G integration process. Proc. of MedHocNet, 3rd Int. Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop, ISBN 975- 98840-1-1. Bodrum, Turkey, 27-30 June, pp. 45-56 (online version available).

21. Support System. In: Proc. of International Conference of Computing and Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF), 2012 IEEE RIVF, pp. 1-6
22. Carmona C. J. et al. (2011) Subgroup discovery in an e-learning usage study based on Moodle. In: 7th International Conference on Next Generation Web Services Practices (NWeSP), p. 446-451
23. Yang, Tie-li; Ping-Bai; Gong, Yu-Sheng (2008) Spatial Data Mining Features between General Data Mining Education Technology and Training, 2008, pp. 541-544.
24. Baradwaj B. K., Pal S. (2011) Mining Educational Data to Analyze Students' Performance, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 2, No. 6, 2011, pp. 63-69
25. Vialardi C. et al. (2009) Recommendation in Higher Education Using Data Mining Techniques, Educational Data Mining 2009, pp. 190-199
26. Jotsov V. (2016) New Proposals for Knowledge Driven and Data Driven Applications in Security Systems. // Innovative Issues in Intelligent Systems. V. Sgurev, R. Yager, J. Kacprzyk, V. Jotsov (Eds.) Studies in Computational Intelligence, vol. 623, Springer, Berlin, NY, Heidelberg, p. 231-296
27. Ida M. (2011) XBRL extension for knowledge discovery in higher education. In: Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD) 2011, pp. 2120-2123
28. Jotsov V. (2009) Emotion-Aware Education and Research Systems. J. Issues in Informing Science and Information Technologies, USA, vol. 6, pp. 779-794
29. Ayt Khozhaeva M., Seilova N. (2017) INFORMATION SECURITY OF THE ELECTRONIC SOCIETY AND THE INTERNET OF THINGS. NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN. SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES. Volume 6, Number 426, p. 264 – 272

# Anomaly Detection in Solar Hot Water System Using Machine Learning

Timur Merembayev<sup>1,2</sup>[0000–0001–8185–235X] and  
Yedilkhan Amirgaliyev<sup>2</sup>[0000–0002–6528–0619]

Institute Information and Computational Technologies CS MES RK, Almaty, Kazakhstan  
amir\_ed@mail.ru

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan  
timur.merembayev@gmail.com

**Abstract** Prediction of accident rate and stable operation of technical devices is an essential task in various fields. The prediction must be performed in advance, allowing maintaining the high-quality operation of the devices. Logically this problem is cost-effective compared with the problem of a complete replacement or deep repair for a specific technical device. Identification of the accident rate can be based on understanding how the main components of the device work. In a case when all components work properly, the performance is better, and subsequently, the chances to have an accident is lower. Modern studies have shown that continuous monitoring and analysis of the components remains the most critical task for many companies. Currently, the only practical way to monitor the status of such components is to detect complex signals, such as vibration, pressure, and electric current, generated by technical devices and assembled by industrial sensors. It is often difficult to extract useful information from such indirect, mixed, and noisy signals, so there is a need for data analysis to extract specific features from these complex signals. In our paper, we propose a machine learning algorithm for a regression problem and a time series. When a model identified a deviation between the trained regression model and the actual value, we matched the anomalous behavior of a technical device. LightGBM used to build a regression model, the results of the model by RSME metric is about 1%.

**Keywords:** Anomaly detection, Machine learning, Solar hot water system.

## Introduction

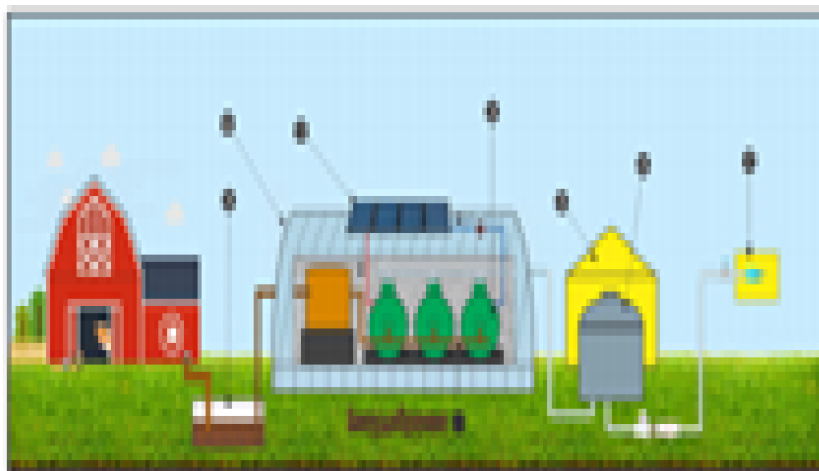
Prediction of accident rate and stable operation of technical devices is an essential task in various fields. The prediction must be performed in advance, allowing maintaining the high-quality operation of the devices. Logically this problem is cost-effective compared with the problem of a complete replacement or deep repair for a specific technical device. Identification of the accident rate can be based on understanding how the main components of the device work. In a case when all components work properly, the performance is better, and subsequently, the chances to have an accident is lower. Modern studies have shown that continuous monitoring and analysis of the components remains the most critical task for many companies.

In recent years, the use of data from the industrial equipment allowed to optimize, monitor and manage technical devices in a convenient form [1]. Mostly this monitoring performs in a single online platform with remote access from anywhere. The analysis is mostly based on historical data containing the operational and situational history of a technical device. The results of such analysis allow to improve and understand the specifics of nonlinear processes in device maintenance. In this case, the final goal of applying these technologies can be based on principles of maximizing profitability, reducing costs and increasing the life cycle of the devices. Also, the increase in reliability and availability can be achieved. Studies have shown that the implementation of such digital platforms can make significant savings. Examples of such economic optimization are the oil and gas and aviation sectors. Big companies, such as Southwest [2] and Qantas [3], annually save millions of dollars in fuel costs through partnerships with engine manufacturers and continuous improvement of system components. Such systems are aimed at eliminating unplanned downtime [4]. The ability to develop and implement a digital platform based on monitoring, diagnosing and forecasting solutions underlie the transformation of a traditional industrial environment into its digital era.

Nowadays, there are many methods and approaches [5–8] that determine the strategy for equipment maintenance and the transition from the classical methods of “failure and correction” to the “forecasting and prevention” way. During predictive maintenance, the operating conditions of the equipment are monitored continuously to identify the need for real-time maintenance. The creation and implementation of methods for automatic state monitoring, diagnosing and forecasting can significantly reduce both economic losses caused by system breakdown and costs associated with the unnecessary repair, replacement of components and device downtime.

In the project, all the research, including various tests, is planned to be conducted using a technical device knowing as a solar hot water system. The security problems for these types of technical devices are considered in several pieces of literature. There is a study regarding safety and accident rate available at Moreno et al. [1] where the accidents at biogas stations were considered. The authors highlighted the following points: protective measures of biogas projects are insufficient, monitoring methods are relatively backward, real-time data recording and statistical analysis cannot be performed, biogas leaks and explosions occur from time to time. The article clearly shows a higher increase in accident rate at biogas plants than an increase in energy production at biogas stations. Risk assessment of biogas plants is described in the article [9], where the risks seriously affected the promotion of biogas projects. Safety issues are the most critical topics in the biogas industry [10]. To ensure the safety of users and, at the same time, for the proper management of biogas projects, a real-time monitoring system and a long-term monitoring system are required. To achieve this goal, it is necessary to collect as much data as possible about all the parameters [11, 12].

Fig. 1 shows a diagram of a biogas system. Essential safety control will be based on data from the following components of the technical device: 1, 2, 4, 7.



**Figure 1.** Scheme of the biogas complex. 1 - Solar collector. 2 - Reactor block. 3 - Homogenizer. 4 - Gas holder. 5 - Hangar for biogas storage. 6 - Hangar for the reactor block. 7 - The output of biomethane and biofertilizer.

Considering the problem on an international scale, the increase in accidents on biogas plants began at the turn of the 21st century. It started during the period of massive modern and environmentally-friendly inventions in generating electricity. As a result, there were many cases of accidents on technical devices, respectively, each time the question of predicting such consequences was sharply raised. One such example is the German Facility Safety Commission (CAS), which decided to focus its control on biogas plants. During 2001-2006, CAS conducted a total of 115 inspections [13] and identified a large number of accidents that could be reduced or prevented using predictive systems.

Such analytical systems based on artificial intelligence for monitoring complex technical systems are in growing demand and are important for the industry in Kazakhstan, because in connection with the development strategy of Kazakhstan there will be an extensive digitalization of production. Also, in connection with the introduction of renewable energy technology in the economy of Kazakhstan, this system also has an important direction in the development of science and technology [14, 15].

Currently, the only practical way to monitor the status of such components is to detect complex signals, such as vibration, pressure, and electric current [16], generated by technical devices and assembled by industrial sensors. It is often difficult to extract useful information from such indirect, mixed, and noisy signals, so there is a need for data analysis to extract specific features from these complex signals.



## Research Methodology

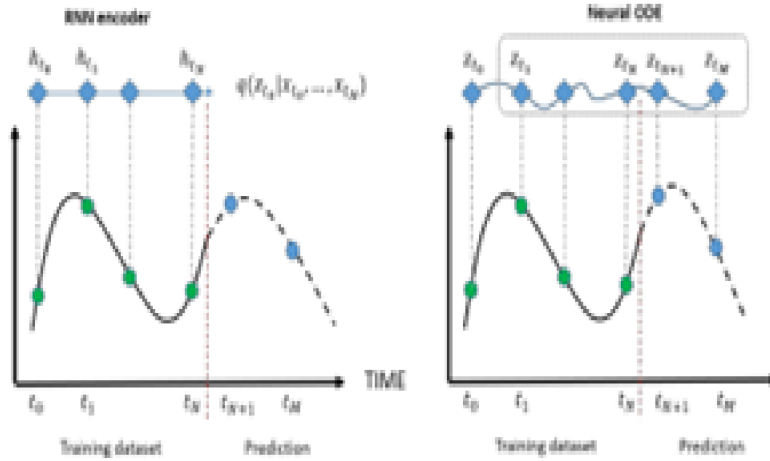
In recent years, various technologies have been used to solve the previously mentioned problem. The best results have achieved in collecting all historical data, analyzing them, and further getting useful insights. Deep Learning (DL), as a predictive tool, has performed better compared with any other traditional techniques. Commonly used DL methods include multilayer perceptrons (MLPs) [17], autoencoders (AE) [18, 22], convolutional neural networks (CNN) [20], and recurrent neural networks (RNN) [21]. The main difficulty with the application of DL lies in the processing of signals that are generated under the different operating conditions as their training data. Also, DL methods always fail with insufficient data. Given that the data, mostly collected in the laboratory conditions, are still too simple to represent a complex industrial environment. Therefore, researchers are striving to improve the performance of DL methods in outputting signals under various operating conditions, such as different speeds and loads.

Typically, time series are processed by recurrent neural network architectures of the form encoder-decoder [18, 22, 21], which, according to the monitored part of the time series, consider the underlying representation (encoding) and predict the values on the final part based on the obtained latent state (decoding). In [23], a method is proposed for constructing a model with hidden variables that describes the generation of a time series based on differential equations. The authors proposed a new architecture of neural networks based on ordinary differential equations. Our idea is to use the new architecture for practical problems of predicting accidents (the problem of extrapolating time series) and classification (classification of accidents based on historical data). The application of the new architecture has several advantages over existing RNN architectures, such as:

- Efficiency. In the training of neural differential equations, it is not necessary to calculate the gradient through all the operations of the numerical method, and there is also no need to store intermediate results.
- Operating time flexibility. Compared to solutions of differential equations, where the grid step determines the accuracy of the model and affects the calculation time, in neural differential equations, the balance between numerical accuracy and computational costs can be controlled.
- Several parameters. If we compare ResNet, the advantage of the proposed architecture is a smaller number of parameters, since new parameters are not required for each layer.

When considering the time-series prediction, RNN is mainly used. The RNN operation principle is as follows: the training sample is fed to the input RNN (encoder), the result is, as a rule, a normal distribution, based on which a random variable is generated  $q(z(t_0)|\mu, \sigma)$ , where  $\mu, \sigma$  mathematical expectation and standard deviation of the normal distribution. Further,  $z(t_0)$ , another RNN (decoder), is fed to the input, which restores the values from the test data. This neural network uses discrete transforms  $z(t+1) = z(t) + f(z(t), t)$ , where  $f(z(t), t)$  - some non-linear transformation. This transformation coincides with the scheme of the ODE of Euler methods; in fact, the

direction from a discrete transformation to a continuous direction  $z(t)$  can be changed. This replacement allows creating a new architecture of neural network ODEs. Fig. 2 shows the operation scheme of neural network ODEs and its difference from RNN.



**Figure 2.** The scheme of the RNN and neural network ODE.

## Research Methodology

For the verification of the model, we chose a flat solar collector, the data were collected over 3 months of observation from technical devices. Temperature sensors were installed in the accumulator tank, at the outlet from the flat solar collector, voltage sensors on the pump and vibration. Based on temperature and pressure data from sensors, we can predict future problems in the installation, such as pump breakdown, depressurization, and more.

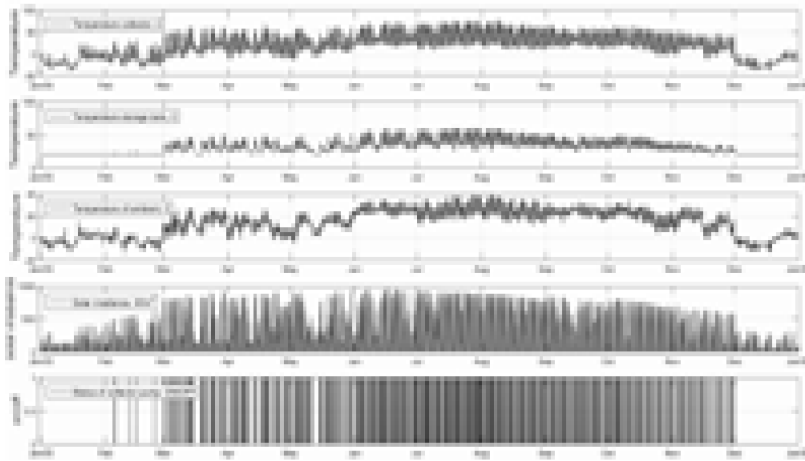
Additionally, environmental data were collected for one year. In Fig. 3 shows a high correlation between solar radiation and temperature in the collector and reservoir. If the density of solar radiation is higher, then the temperature is more monotonic, and the standard deviation of the temperature in the storage is close to the average value, for example, from July to August.

Fig. 4 shows the temperatures in the manifold, reservoir and pump mode. We see a correlation between the ambient temperature and the temperature of the heated water. When the temperature in the manifold reaches 40 C, the pump switches over and starts transferring the heated liquid to the heat exchanger inside the storage tank and receives

the cooled liquid in the manifold cycle for heating. The second reason for the cooling of the fluid in the cycle is associated with weather conditions (decrease in ambient temperature, sunset).

## Result

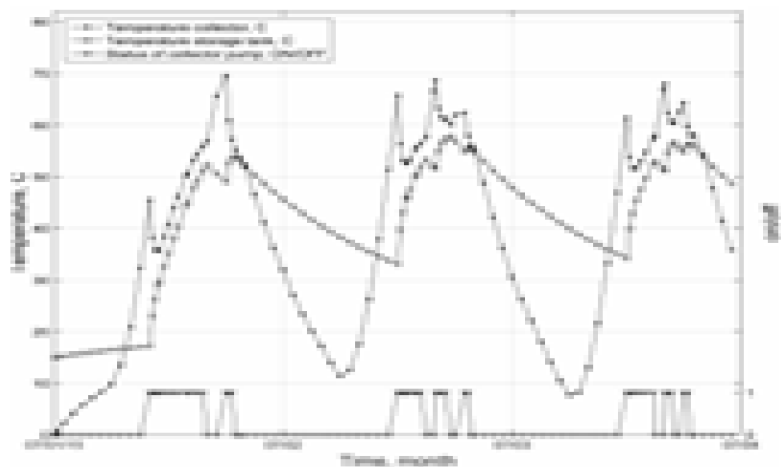
To assess the accuracy of the model, we trained the model on historical data to capture seasonality and trend in the time series. The model has been predicted for the last month. The RSME metric was used to assess the accuracy of the model. Verification of the considered model has shown good results in predicting the future behavior of the pump load. In Fig. 5 We can notice that the model predicted the future temperature of the water from the loop and there are no large deviations.



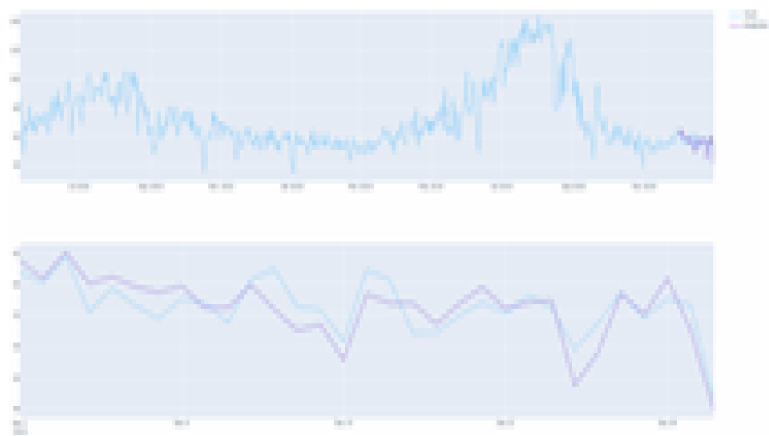
**Figure 3.** . Simulation result comparing ambient temperature and sunlight.

In Fig. 6 we can observe the difference between the predicted temperature in the model and the actual one. This may be a signal that there are deviations from the standard temperature indicators in the system. The model prompts you to inspect the installation.

The model also showed abnormal deviations in the pressure (bar) readings in the unit loop. In Fig. 7, you can see large deviations between the predicted values and the original readings from the sensors.



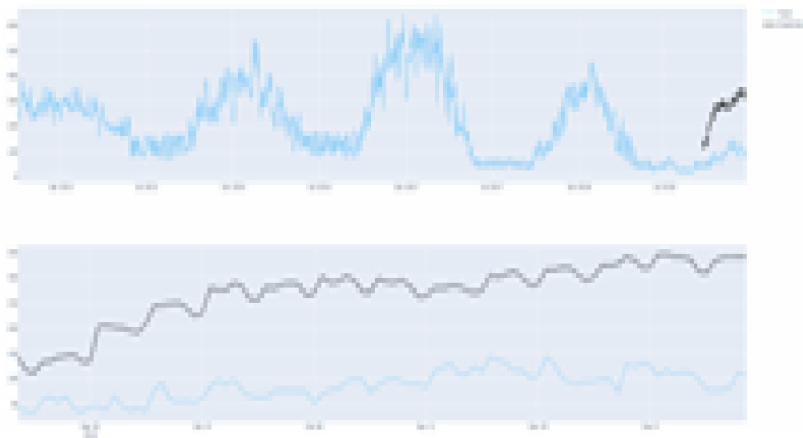
**Figure 4.** Ambient and reservoir temperatures with pump operating mode.



**Figure 5.** Predicting solar circuit temperature.



**Figure 6.** Anomaly of temperature readings in the battery tank.



**Figure 7.** Anomaly in atmospheric pressure readings in the installation.

## Comclusion

The proposed method shows its effectiveness during the first period of operation of the installation, when knowledge about the operation of the installation is incomplete or absent. For example, new technical changes to the installation or another climatic zone, but the installation must perform its work without emergencies. This algorithm will help in monitoring a technical device and predicting a pre-emergency situation.

The idea of building a trend of the installation behavior will not only allow predicting abnormal deviations from the standard values, but also help predict what temperature or pressure values may be in the installation. Future directions of research will be solving the problem of irregular values in sensor readings. Analyzing data and predicting future values based on this data is a challenge for algorithms such as LSTM, RNN. Such data often arise for various reasons and mainly due to technical problems of data transmission.

## Acknowledgment

The work was supported by the program-targeted funding projects of the Ministry of Education and Science of Republic of Kazakhstan BR05236699.

## References

1. Moreno, V. C., Papasidero, S., Scarponi, G. E., Guglielmi, D., Cozzani, V.: Analysis of accidents in biogas production and upgrading. *Renewable Energy*, 96, 1127-1134 (2016).
2. GE-REPORTS. How big data and the industrial internet can help southwest save \$100 million on fuel. <http://www.gereports.com/big-data-industrial-internet-canhelp-southwest-save-100-million-fuel>.
3. AFR. Qantas tech deal with GE tipped to save millions in fuel bills with smart app. <http://www.afr.com/technology/apps/business/qantas-tech-deal-withge-tipped-to-save-millions-in-fuel-bills-with-smart-app-20161006-grw5kv>
4. MITSolan. GE'S BIG BET ON DATA AND ANALYTICS. <https://www.sloanreview.mit.edu/case-study/ge-big-bet-on-data-and-analytics>
5. Hoeft R, Gebhardt E.: Heavy duty gas turbine operating and maintenance considerations. General Electric Company, Gas Turbine Division; 1993.
6. J. Lee, L. Scott.: Zero-breakdown machines and systems: productivity needs for next-generation maintenance. *Eng Asset Manage*, 31-43, (2006)
7. A.K. Jardine, D. Lin, D. Banjevic.: A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mech Syst Signal Process*, 20, 1483-1510 (2006)
8. M. Tahan, M. Muhammad, Z.A. Karim.: A framework for intelligent conditionbased maintenance of rotating equipment using mechanical condition monitoring. *MATEC web of conferences*, EDP Sciences (2014)
9. G.E. Scarponi, D. Guglielmi, V.C. Moreno, V. Cozzani.: Risk assessment of a biogas production and upgrading plant. *Chem. Eng. Technol.*, 43, 1921-1926 (2015), 10.3303/CET1543321
10. L.D. Santoli, R. Paiolo, G.L. Basso.: An overview on safety issues related to hydrogen and methane blend applications in domestic and industrial use. *Energy Procedia.*, 126, 297-304 (2017)

11. Agugliaro, F. Agugliaro.: A monitoring system for intensive agriculture based on mesh networks and the android system. *Comput. Electron. Agric.*, 99, 14-20 (2013)
12. N.N. Deniz, J.O. Chelotti, J.R. Galli, A.M. Planisich, M.J. Larripa, H.L. Rufiner, L.L. Giovanini.: Embedded system for real-time monitoring of foraging behavior of grazing cattle using acoustic signals. *Comput. Electron. Agric.*, 138, 167-174 (2017)
13. V. Schroeder, B. Schalau, M. Molnarne.: Explosion protection in biogas and hybrid power plants. 2014 ISSST", 2014 International Symposium on Safety Science and Technology, *Procedia Engineering*, 84, 259-272 (2014)
14. Y. Amirgaliyev, T. Merembayev, and M. Kunelbayev.: Dynamic Simulation of a Solar Hot Water Heating System for Kazakhstan Climate Conditions. 2018 14th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO). IEEE, 2008.
15. Y. Amirgaliyev, W. W'ojcik, M. Kunelbayev, T. Merembayev, D. Yedilkhan, A. Kozbakova, O. Auelbekov, N. Kataev.: Theoretical prerequisites of electric water heating in solar collector-accumulator. Volume 6, Number 438, 54 – 63 (2019)
16. M. Cerrada , R-V. S'anchez , C. Li: A review on data-driven fault severity assessment in rolling bearings. *Mech. Syst. Sig. Process.*: 99, 169–196 (2018)
17. DW Ruck, SK Rogers, M Kabrisky: The multilayer perceptron as an approximation to a Bayes optimal discriminant function. *IEEE Trans. Neural Netw.*, 1 (4), 296-298 (1990)
18. Deng L, ML Seltzer, Yu D.: Binary coding of speech spectrograms using a deep auto-encoder. *Proceedings of the Eleventh Annual Conference of the International Speech Communication Association* (2010)
19. Zeng N, Zhang H, Song B.: Facial expression recognition via learning deep sparse autoencoders. *Neurocomputing*, 273, 643-649 (2018)
20. A Krizhevsky, I Sutskever, GE Hinton.: Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Proceedings of the Advances in neural Information Processing Systems* (2012)
21. T Mikolov, M Karafl'at, L Burget: Recurrent neural network based language model. *Proceedings of the Eleventh Annual Conference of the International Speech Communication Association* (2010)
22. Zeng N, Wang Z, Zhang H, et al. Deep belief networks for quantitative analysis of a gold immunochromatographic strip. *Cogn. Comput.*, 8 (4), 684-692 (2016)
23. Tian Qi Chen, Yulia Rubanova, Jesse Bettencourt, and David K. Duvenaud. Neural ordinary differential equations. *Advances in Neural Information Processing Systems*. Volume 2018-December, 2018, Pages 6571-6583. 32nd Conference on Neural Information Processing Systems, NeurIPS 2018; Montreal; Canada

# What Have We Learned about Online Education During the COVID-19 Pandemic - a Croatian Polytechnic Case Study

Barbara Pisker<sup>3</sup>[0000–0001–9434–5541],  
Kristian Dokic<sup>1</sup>[0000–0003–4358–9065], and  
Bojan Radisic<sup>2</sup>[0000–0001–7870–193X]

<sup>1</sup> Polytechnic in Pozega, Pozega, Croatia  
bpisker@vup.hr

<sup>2</sup> Polytechnic in Pozega, Pozega, Croatia  
kdjokic@vup.hr

<sup>3</sup> Polytechnic in Pozega, Pozega, Croatia  
bradisic@vup.hr

**Abstract** Nowadays we undoubtedly live in a digitalized society. Digital omnipresence can be seen in the way we eat, walk or talk. Despite the pros and contras regarding the benefits of digital technologies, our digitized lives are reshaping all aspects of societal life leaving no space intact. Even the higher education bastion has capitulated and embraced digital, online educational mode under the pressure of the recent COVID-19 pandemic crisis. The recent fact inevitably enabled all the members of the academic community to transfer fairly easily to full online education mode so suddenly forced by the COVID-19 pandemic situation. In our research efforts to understand the implications of these imposed societal changing forces in higher education, this paper's main aim is to tackle the relation between established traditional offline and digital online education technology forced upon HEIs during the lockdown to overlap the social gap emerged by the COVID-19 pandemic, from the two main stakeholders standing point: students and teachers. The research has been conducted at the Polytechnic in Pozega, Croatia for the period from 2016 to 2020 using a comparative analysis method and a questionnaire in traditional vs online student and teacher experience. The study encompassed about 1000 students and 63 teachers. The research itself consists of four main parts. The first part discusses the influence of online assessment on students' success in final exams. The second and the third parts compare the results of teacher and course evaluation surveys at the end of summer semesters in a timeline frame mentioned above. The final part of the research problematizes polytechnic teachers' attitudes and perception towards online teaching and assessment.

**Keywords:** COVID-19, online education, survey

## Introduction

The worldwide outbreak of COVID-19 pandemic in March 2020 resulted in socially unpopular, but necessary preventive lockdown measures declared from the national



governments, intended primarily to save population health and lives before the unknown virus. The lockdown itself, as a measure our societies standardly use as a force towards individuals in a form of punishment depriving them of their liberty rights, for humans as social beings were peculiar by itself. Especially since we humans, although individuals are intertwined with each other by thousands of threads enabling us to grow into a multidimensional social community member. The lockdown imposed on all our social activities has fully shattered our social life as we know and live it, in its essence.

This social aspect of community life in the academia and higher education institutions (HEIs) community is a stepping stone of traditional face to face education activities held in classrooms. Both students and teachers play their socialisation roles in this established and familiar frame intended to grow all together by sharing and multiplying knowledge in different forms of joint activities and COVID-19 pandemic outbreak brought inalterable and dramatic shift into HEIs traditional ways of conduct.

Seemingly, the great world social experiment imposed from COVID-19 pandemic lockdown has shown how digital revolution in academia and HEIs has easily happened almost overnight. Not debating on whether the prevailing offline undigital status quo will be turned on again after the end of the pandemic, the main aim of this paper is to tackle the relation between established traditional offline and digital online education technology forced upon HEIs during the lockdown to overlap the social gap emerged by the COVID-19 pandemic, from the two main stakeholders standing point: students and teachers.

The significance of the research conducted, comparing traditional and online education in different aspects during the COVID-19 pandemic, is in the originality of the social circumstances realistically present, allowing us to avoid the researchers bias caused by the assumption that researchers prone to online education are likely to research the area, as well as the pressure examinees, experience regarding the social experiment settings.

It is of great importance here to emphasize the terminology differentiation used in this research paper and argue its choice. Numerous authors have noted that there is no consensus regarding the terms used in the field of ICT application in education (e.g. e-learning vs online learning). Since the paper does not address this particular issue itself, the authors accepted the term "online education" defined and described by Mayadas et al. They declare that "capability of student-to-student and student-to-faculty interaction, coupled with instant access to information resources worldwide on the Internet, plus the efficient distribution of class materials distinguishes modern online education from older "distance education" models built around correspondence or television." [1]. On the contrary, e-learning involves a methodologically different approach and authors agree that the term implies little or no physical contact between teachers and students [2][3][4]. Tavangarian defined e-learning as "all forms of electronically supported learning and teaching, which are procedural in character and aim to affect the construction of knowledge with reference to individual experience, practice and knowledge of the learner." [5]. This paper does not investigate the impact of e-learning because the authors believe that online teaching, learning and assessment was applied at Polytechnic in Pozega during the COVID-19 caused lockdown in Croatia from March until June 2020. The term online education is also nationally applicable as in the period mentioned e-

learning as defined previously was used in less than 20% of the courses conducted in Croatia.

## Literature overview

March 2020 brought one of the biggest societal challenges for the global community known as and defined by Mauss, M. - a total social fact, initiated by COVID-19 pandemic. Audrey Azoulay, General director of UNESCO said that never before humans have witnessed educational disruption on such a large scale. National governments closed kindergartens, schools, and higher education institutions due to the escalation in spreading of COVID-19 pandemic. Liguori, E. and Winkler, C. noted how the COVID-19 pandemic makes universities lift their entire face to face courses to an online environment[6].

Frequent debates, addressed often in the preCOVID-19 time, about the quality of online higher education change on how to implement mass adoption of online learning in higher education effectively for a short time became irrelevant. Hodges, C. et al. noted how well-planned full online university courses need to pass planning, preparation and development time in a period of six to nine months[7]. Due to the crises evolved an emergency remote teaching acted as a life belt for HEIs. It “involves the use of fully remote teaching solutions for instruction or education that would otherwise be delivered face-to-face or as blended or hybrid courses and that will return to that format once the crisis or emergency has abated.”

Toquero, C.M. considers that the pandemic gives opportunities for the high education institutions to improve its educational provision using and implementing new technologies. This pandemic time is a great opportunity for higher education institutions to invest in the training of their teachers for online learning education, so they will be able to create higher quality and effective courses for students[8].

Chang, C.L. and Fang, M. did a survey that indicates the teachers were not well-prepared for online courses or simply not accepting online teaching as some teachers have lower digital skills. The main obstacles and difficulties of online courses conduction, for the teachers, are: keep students' learning attention online, maintain classroom teaching order online, organize classroom discussion online, communicate, feedback and discuss online after class, be familiar with and master various platforms and teaching tools[9].

Demuyakor, J. claims that the importance of coming together, for the teachers and students, is the right way to build an effective and efficient online community. Survey shows that students are satisfied with the available learning resources such as texts, software, videos or some other forms of materials. Students think that online learning is very useful and most of them highly agree with the effectiveness of online learning[10].

Adnan, M. and Anwar, K. surveyed Pakistan students and found out how the major problem for online education development is limited internet access. Students think that they are qualified to use digital devices to access online courses. More than  $\frac{2}{3}$  of students reported that there are lots of differences between face to face and online learning and also considered that conventional learning is more motivating than online learning[11].

Bao, W. classifies six teacher strategies to impact on students' learning concentration

and engagement: making emergency plans for unexpected situations, splitting the teaching units into smaller units for easier students focus, encourage the use of "voice" in teaching, working with assistants and getting online support from them, encouraging students' self-active learning ability in non-class environments and combining online and offline self-learning[12].

Yang, H. et al. surveyed epicentre of COVID 19, Wuhan. The results emphasize the importance of transparent and on-time information to the public that would be able to prepare for psychological self-adaptation. Students think that mental health interventions with individual approach also help handle students' psychological stress[13].

Sahu, P. emphasized that COVID-19 pandemic causes unwanted effects on learning and psychological health of students, especially for international students staying in foreign countries far from home[14].

Zhu, X. and Liu, J. pointed out that postCOVID-19 time will bring a new level of education that combines face-to-face, blended and online education. They also believe that compulsory teacher education should take place in a future online environment, but above all, it is necessary to upgrade the curriculum and pedagogy[15].

## Methodology and data

The research itself consists of four main parts. In the first part student's final exam scores from the Polytechnic in Pozega information system have been used. The transition from traditional teaching to online, caused by COVID-19 pandemic occurred in mid-March. From then until July, 4 exams were held for each course online. Written exams were conducted mainly using Moodle LMS, and oral exams were conducted using MS Teams system. All final exam grades from the period mentioned including grades from the same period, but between 2016 and 2019, were analyzed. A Chi-square test for independence has been used to test the association between:

- type of testing (traditional and online) and pass rate,
- type of testing and giving up rate,
- type of testing and the number of exam attempts.

In the second and third part, data from the national state information system have been used. At the state level, an evaluation survey of teachers and courses in the most Croatian public higher education institutions is conducted at the end of each semester. The mentioned data were used only for Polytechnic in Pozega for the summer semester from 2016 to 2020. The data were anonymized before submission. A Chi-square test for independence has been used in the second part, to test the association between type of teaching and In the third research part, a Chi-square test for independence has been also used to test the association between type of teaching and different course properties.

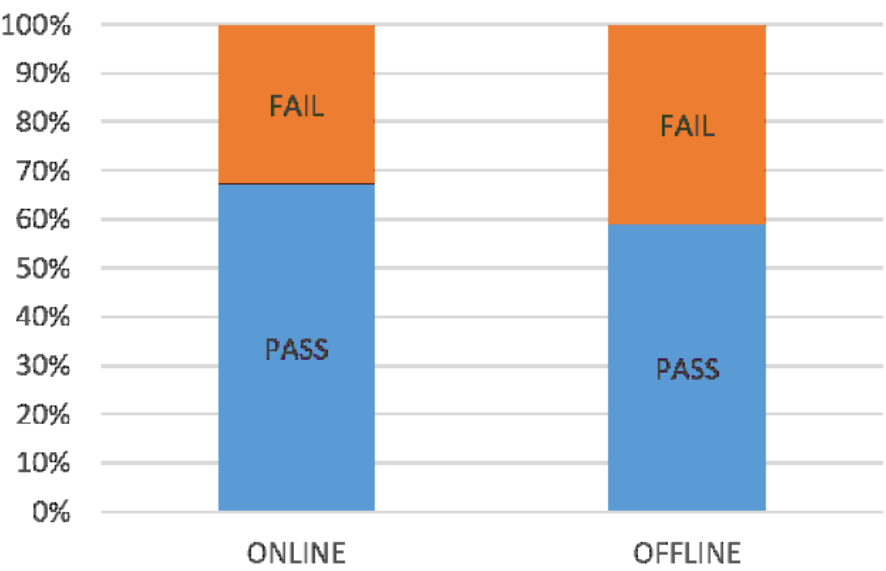
Finally, in the fourth part, data from surveys conducted by nineteen teachers employed at Polytechnic in Pozega were processed. Thirteen of them are women and six are men. These data are presented in the following part of the paper.

**Results**

**The influence of online assessment on students’ results in final exams**

The first part of research discusses the influence of online assessment on students’ success in final exams. Exam results from the spring and summer exam periods from 2016 to 2020 were analyzed. From 2016 to 2019, the final exam tests were conducted traditionally in classrooms and teacher offices. In 2020, written assessments were conducted mainly using moodle LMS and oral assessments were conducted using MS Teams system.

A total of 19991 final exam results were analyzed, of which 17587 (87.97%) exams were conducted traditionally in classrooms, and 2404 (12.03%) were conducted online. The pass rate in classroom assessment was 58.86% while for online assessment it amounts 67.18%.



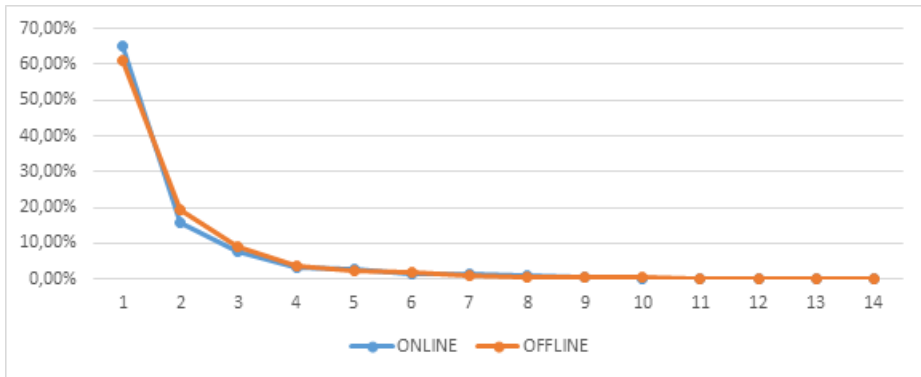
**Figure 1.** Pass rate difference

A Chi-square test for independence indicated significant association between type of assessment and pass rate,  $X^2(1, n = 19991) = 60.90, p < .000, phi = .06$ .

A certain percentage of students regularly gives up on the final exam and this data is recorded as a score of 0. Of the 19991 final exams recorded, 3,200 were graded 0, while 16791 exams were attended by students. The giving up rate is 16.81% for online

exams, while for classroom exams this percentage is 15.90%. A Chi-square test for independence indicated no significant association between type of testing and giving up rate,  $X^2(1, n = 19991) = 1.29, p < .255, \phi = .01$ .

On the other hand, the higher pass rate also affected the distribution of final exam attempts. As students have the opportunity to approach the final exam a maximum of 14 times, a higher pass rate has changed this distribution. This is shown on the graph in Figure 2.



**Figure 2.** Final exam attempts

A Chi-square test for independence indicated significant association between type of testing and the number of exam attempts,  $X^2(13, n = 19991) = 47.32, p < .000, \phi = .05$ .

### **The influence of online teaching and learning on results of teacher evaluation surveys**

The second part of the research compares the results of a teacher evaluation survey at the end of summer semesters from 2016 to 2020. The part of the survey dealing with teacher evaluation from the students view consists of six questions. They are:

1. Evaluate the methodological, ie teaching skills of the teacher.
2. Evaluate the clarity and comprehensibility of the presentation of the teaching content.
3. The teacher holds classes regularly and for the duration scheduled.
4. Assess the extent to which the teacher uses modern teaching methods in order to improve the quality of teaching.
5. Assess the level of correctness and respect in the teacher's communication with students.
6. Assess the teacher's availability at the consultation and his/her readiness to respond.

From 2016 to 2019 surveys were conducted after the traditional classroom teaching and learning process, but in 2020 surveys were conducted after online education conducted. Table 1 shows comparative data from surveys in offline and online educational modes conducted.

**Table 1.** Results of teacher evaluation

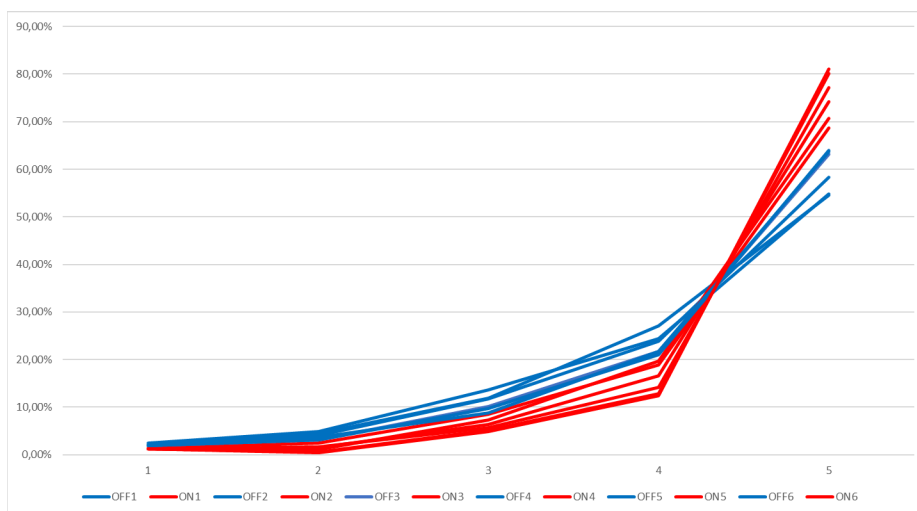
Q		1		2		3		4		5	
1	OFF	96	2,03%	190	4,02%	557	11,78%	1127	23,84%	2757	58,32%
	ON	22	1,30%	25	1,47%	109	6,43%	281	16,58%	1258	74,22%
2	OFF	116	2,54%	230	4,86%	642	13,58%	1151	24,34%	2589	54,76%
	ON	23	1,36%	42	2,48%	145	8,55%	321	18,94%	1164	68,67%
3	OFF	88	1,87%	151	3,20%	477	10,12%	1021	21,65%	2987	63,16%
	ON	21	1,24%	8	0,47%	83	4,90%	210	12,39%	1373	81,00%
4	OFF	93	1,97%	210	4,45%	563	11,92%	1278	27,06%	2579	54,61%
	ON	21	1,24%	19	1,22%	124	7,32%	333	19,65%	1198	70,68%
5	OFF	98	2,07%	173	3,66%	414	8,77%	1028	21,77%	3010	63,73%
	ON	21	1,24%	10	0,59%	88	5,19%	218	12,86%	1358	80,12%
6	OFF	90	1,91%	151	3,20%	460	9,76%	995	21,10%	3019	64,03%
	ON	22	1,30%	29	1,71%	96	5,66%	241	14,22%	1307	77,11%

There are 6 questions in the rows and marks from 1 to 5 in the columns. Figure number x shows the data in the chart. The red lines show the distribution of teachers' grades from surveys after online courses, while the blue lines show the distribution of teachers' grades from the time of face to face classroom conducted courses.

The results of this section indicate that students rated teachers significantly better after online courses caused by the pandemic. A Chi-square test for independence indicated significant association between type of teaching and all properties tested by the survey. Data is shown in the table 2.

**Table 2.** Association between the type of teaching and all properties

Question	df	n	$X^2$	p	phi
1	4	6422	142,68	,000	,15
2	4	6423	106,67	,000	,13
3	4	6410	193,45	,000	,17
4	4	6418	149,18	,000	,15
5	4	6418	166,54	,000	,16
6	4	6410	98,87	,000	,12



**Figure 3.** Distribution of teachers' grades

### **The influence of online teaching and learning on the results of courses evaluation surveys**

The comparative analysis of the data from student courses evaluation surveys is analysed and elaborated in the third part. The part of the survey dealing with student evaluation of courses conducted consists of six questions. They are:

1. Course structure and learning outcomes are clearly defined.
2. Rate the interestingness of the topics within the course.
3. Assess the difficulty of the course in relation to your prior knowledge.
4. Exercises and seminars enable the development of skills and the application of knowledge in practice.
5. The prescribed literature (compulsory and / or supplementary) required for the course is available in the library of the Polytechnic in Pozega.
6. Assessment of the usefulness of the course as a whole.

From 2016 to 2019 surveys were conducted after the traditional classroom teaching process, but in 2020 surveys were conducted after online teaching. Data are shown in table 3.

The result findings in almost all aspects of course evaluation are graded better in online teaching, except for the student attitude related to the difficulty of the course in relation to their prior knowledge, where no statistically significant difference is found. A Chi-square test for independence indicated a significant association between type of teaching and all course aspects tested by this third part of the survey. Data is shown in the table below.

**Table 3.** Results of courses evaluation

Q		1		2		3		4		5	
1	OFF	75	1,64%	172	3,77%	576	12,61%	1180	25,84%	2563	56,13%
	ON	15	1,59%	9	0,95%	65	6,89%	191	20,23%	664	79,42%
2	OFF	172	3,77%	348	7,53%	856	18,78%	1208	26,50%	1975	43,32%
	ON	25	2,65%	25	2,65%	115	12,18%	241	25,53%	538	56,99%
3	OFF	177	3,89%	310	6,81%	1042	22,88%	1235	27,12%	1790	39,31%
	ON	31	3,28%	57	6,04%	255	27,01%	234	24,79%	367	38,88%
4	OFF	150	3,30%	230	5,05%	754	16,56%	1229	27,00%	2189	48,09%
	ON	14	1,48%	21	2,22%	84	8,90%	239	25,32%	586	62,08%
5	OFF	142	3,15%	226	4,97%	701	15,42%	1137	25,02%	2338	51,44%
	ON	10	1,06%	21	2,22%	80	8,47%	199	21,08%	634	67,16%
6	OFF	118	2,60%	194	4,27%	745	16,40%	1249	27,49%	2238	49,25%
	ON	20	2,12%	23	2,44%	72	7,53%	209	22,14%	620	65,68%

**Table 4.** Association between the type of teaching and course properties

Question	df	n	$X^2$	p	phi
1	4	5510	77,79	,000	,12
2	4	5503	82,99	,000	,12
3	4	5498	8,73	<b>,068</b>	,04
4	4	5496	83,56	,000	,12
5	4	5489	92,51	,000	,13
6	4	5488	96,627	,000	,13



### Teachers attitudes and perception towards online teaching, learning and assessment

The final part of the research problematizes polytechnic teachers' attitudes and perception towards online teaching, learning and assessment, with an emphasis on assessing the possibility of students cheating on their final exams. Sample includes nineteen teachers from Polytechnic in Pozega and the questionnaire consists of five simple questions.

1. In online teaching, achieving student learning outcomes ...(was easier; There was no difference; was harder)
2. Exam results after online classes in the summer semester ...(They were better than before; There was no difference; They were worse than before)
3. In the summer semester during written exams held online ...(Students cheated more than before; No difference; Students cheated less than before)
4. In the summer semester during oral exams held online ...(Students cheated more than before; No difference; Students cheated less than before)
5. My assessment of student satisfaction with regard to online classes is ...( Students are more satisfied than before; No difference; Students are more dissatisfied than before)

These results are shown in table 5 and in the chart on the fig X.

**Table 5.** Teachers attitudes and perception towards online teaching, learning and assessment

	ANSWER	ANS1	ANS2	ANS3	$\Sigma$
1	Easier; no difference; <b>harder</b>	2	3	<b>14</b>	19
2	Better; <b>no difference</b> ; worse	5	<b>13</b>	1	19
3	<b>More</b> ; no difference; less	<b>15</b>	4	0	19
4	More; <b>no difference</b> ; less	5	<b>14</b>	0	19
5	More satisfied; no difference; <b>less satisfied</b>	7	4	<b>8</b>	19

The authors expected that most teachers would answer how it was harder to achieve student learning outcomes in online teaching. The main reason for these expectations is the fact that teachers have not been prepared for lockdown and online teaching. Chang and Fang have got a similar result in their research where nearly 70% of teachers agree that online instructions increase workload[9]. The second question was mostly answered with no difference in final exam results after online courses conducted in the summer semester. In the previous analysis, the data indicate that there is a statistically significant difference in the final exam results between traditional and online teaching. Obviously the teacher's perception is subjective as far as assessment is concerned.

Results found on the third question indicate that teachers feel they have lost control over written examinations. On the other hand, the situation is much better with oral exams because teachers and students use video communication applications for oral

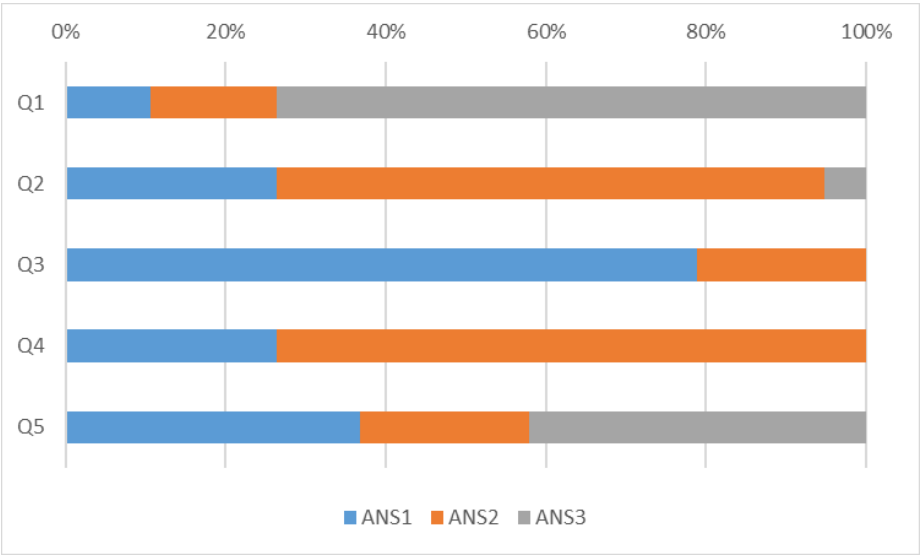


Figure 4. Questionnaire

exams. In that situation, it is not easy to cheat because a teacher can see a student during an exam.

The last question is a little bit tricky because most teachers do not have enough information to assess students’ satisfaction with online teaching. The answer to this question is more related to the teacher’s satisfaction with the completed classes, which is probably unconsciously transferred to the attitude of student assessment. Half of the teachers appear to be satisfied and the other half are not satisfied with what has been done, provided that the assumption of attitude transfer is correct.

Conclusion

The sudden breakout of COVID-19 pandemic lockdown, as a social and sociological experiment and its influence onto different forms of individual and collective behaviour is still to be closely researched. The influence and different social aspects of this unique global experiment conducted for the first time in world history in HEIs key actors aspect was a subject of the research presented. The HEIs emergency shift from offline to online teaching, learning and assessment proved how urgent needs of a society and community at risk can fairly easily shake the rigid and conservative, traditional offline status quo.

The significantly better final exam results indicated by the first part of the research can be interpreted in various ways. There is a possibility that students have mastered the content of the course more successfully, although the authors are more inclined to interpret this phenomenon as the result of cheating, as indicated in the results of the teachers questionnaire in the fourth part of the survey.

Significantly better results of student surveys for teacher evaluation are very interesting but it is also very difficult to explain. It is possible that teachers with their online presence reduced the psychological pressure caused by lockdown, and thus influenced the assessment. Similar results were obtained when assessing the courses by students and there is a possibility that better grades were obtained for the same reason. It looks strange that students graded literature availability in the library better than in the period before lockdown, because most of them did not visit the library during that period. We hope to find explanations of some of the survey results in research in the field of psychology and sociology.

Finally, in the fourth part of the research, teachers' responses were somewhat expected. Teachers are aware that they have lost control over written examinations (79%), and in addition, achieving student learning outcomes has been more difficult for them (74%) regarding the unexpected workload increase due to the COVID-19 breakout. Most teachers (68%) believe that the grades on the final exams have not changed significantly, which is denied by the data.

The study was performed on a small population, thus only students from Polytechnic in Pozega. Another shortcoming is that some questions from the surveys on teachers and courses are not fully adapted to the new situation, and the survey should be adjusted.

Future research, in addition to covering a larger sample, should investigate the relationship between the quality of course implementation and indicators from surveys in the second and third part of the research. The survey in the fourth part of the research should be more extensive, and it should strive for harmonization with other authors.

Crisis creates new opportunities. Besides holistic, we undoubtedly need flexible and resilient educational systems in higher education, responsive to the needs of the changing times as we face an unpredictable future in a risk society.

The shift has happened and academia all together with the HEIs system will have to embrace the sustainable and inclusive digital transformation our societies are already fully submerged into. But besides digital, we must not omit social and emotional skills development with students as the ground foundation of communities we want to live in future societies.

## References

1. A. F. Mayadas, J. Bourne and P. Bacsich: Online education today, *Science*, volume. 323, p. 85–89, 2009.
2. K. Dolenc and B. Aberšek: E-learning and teaching-methodological or technological problem, u Divai 2012: 9th International Scientific Conference on Distance Learning in Applied Informatics: Conference Proceedings, 2012.
3. K. Mullamaa: ICT in Language Learning–Benefits and Methodological Implications., *International education studies*, svez. 3, p. 38–44, 2010.
4. A. Ornellas and P. C. Muñoz Carril: A methodological approach to support collaborative media creation in an e-learning higher education context, *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning*, svez. 29, p. 59–71, 2014.
5. D. Tavangarian, M. E. Leypold, K. Nölting, M. Röser and D. Voigt: Is e-Learning the Solution for Individual Learning?., *Electronic Journal of E-learning*, volume. 2, p. 273–280, 2004.

6. E. Liguori and C. Winkler: *From Offline to Online: Challenges and Opportunities for Entrepreneurship Education Following the COVID-19 Pandemic*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2020.
7. C. Hodges, S. Moore, B. Lockee, T. Trust and A. Bond: The difference between emergency remote teaching and online learning, *Educause Review*, volume. 27, 2020.
8. C. M. Toquero: Challenges and opportunities for higher education amid the COVID-19 pandemic: The Philippine context, *Pedagogical Research*, volume. 5, 2020.
9. C.-L. Chang and M. Fang: E-Learning and Online Instructions of Higher Education during the 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19) Epidemic, *Journal of Physics: Conference Series*, 2020.
10. J. Demuyakor: Coronavirus (COVID-19) and online learning in higher institutions of education: A survey of the perceptions of Ghanaian international students in China, *Online Journal of Communication and Media Technologies*, volume. 10, p. e202018, 2020.
11. M. Adnan and K. Anwar: Online Learning amid the COVID-19 Pandemic: Students' Perspectives., *Online Submission*, volume. 2, p. 45–51, 2020.
12. W. Bao: COVID-19 and online teaching in higher education: A case study of Peking University, *Human Behavior and Emerging Technologies*, volume. 2, p. 113–115, 2020.
13. H. Yang, P. Bin and A. J. He: Opinions from the epicentre: An online survey of university students in Wuhan amidst the COVID-19 outbreak1, *Journal of Chinese Governance*, volume. 5, p. 234–248, 2020.
14. P. Sahu: P. Closure of universities due to Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): impact on education and mental health of students and academic staff, *Cureus*, 2020.
15. Zhu, X. and Liu, J.: Education in and After Covid-19: Immediate Responses and Long-Term Visions, *Postdigital Science and Education*, p. 1–5, 2020.
16. W. Zhang, Y. Wang, L. Yang And C. Wang: Suspending classes without stopping learning: China's education emergency management policy in the COVID-19 Outbreak, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2020.

# Analysis of the Influence of Synthetic Corpora in the English-Kazakh Neural Machine Translation System\*

Diana Rakhimova<sup>2</sup>[0000–0003–1427–198X],  
Aidana Karibayeva<sup>1,2</sup>[0000–0002–2023–1573],  
Aliya Turganbayeva<sup>3</sup>[0000–0001–9660–6928],  
Asem Turarbek<sup>1</sup>[0000–0002–4793–0446], and  
Vladisval Karyuikin<sup>1,2</sup>[0000–0002–8768–0349]

<sup>1</sup> Research Institute of Mathematics and Mechanics, al-Farabi ave. 71/13, 050040 Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi ave. 71, 050040 Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup> Institute of Information and Computational technologies, Pushkin st., 125, Almaty, Kazakhstan

di.diva@mail.ru, a.s.karibayeva@gmail.com, turganbayeva16@gmail.com  
turbek\_ase@mail.ru, vladislav.karyuikin@gmail.com  
<http://www.kaznu.kz>

**Abstract** In this paper will be described neural machine translation (NMT) of English-Kazakh using back-translation technology. A prerequisite for learning neural machine translation systems is the availability of high-quality parallel data. Back-translation of monolingual data can be used to create synthetic parallel corpora, which, in turn, can be used in combination with the original parallel data to train neural machine translation. In this paper, we explore how to use back-translated data as a training corpus, along with the original, high-quality corpus text. The experiments were done with different ratios of the original corpora with the synthetic one.

**Keywords:** Kazakh language, back-translation, neural machine translation system, synthetic corpora.

## Introduction

Historically, in machine translation, there are different approaches, such as an approach based on the grammar rules of languages (rule-based); statistical machine translation approach based on compiling a statistical probabilistic phrase table for translated languages; neural machine translation approach based on training neural networks for the features of translated languages. Each of these approaches has its own advantages and disadvantages. Recently, the best results of machine translation have been shown by an approach based on neural networks. Since the problem of machine translation has not yet been solved at a sufficiently high level, close to professional translation, the problem of machine translation is very relevant. It should be noted that solving the problem of

---

\* Supported by Research and development of the Kazakh language post-editing system in machine translation.

machine translation can open the way for solving other very important problems of artificial intelligence, such as understanding of natural language.

Neural Machine Translation is a neural network-based machine translation concept. Neural networks are one of the classic tasks of artificial intelligence. Neural machine translation systems are applications or online services that typically use machine learning - an artificial intelligence technology - to translate text from one language to another. Until recently, major translation service providers, including Google Translate, Yandex, Microsoft Translation, used statistical machine translation (SMT). But since 2015, some of them, namely Google, Yandex, Microsoft, have been using a neural network in their machine translation systems. The advantage of using neural machine learning is its versatility for processing text in any language.

The Kazakh language belongs to the low-resource languages. In the vastness of the Internet, it is difficult to find a sufficient quantity of high-quality translated parallel texts of Kazakh into English for teaching NMT. Therefore, the creation of parallel corpora for Kazakh language, is very important. This problem can seriously degrade the quality of machine translation. The existing parallel corpora are insufficient for training machine translation systems of the Kazakh language with good translation quality. One approach to solving this problem of the lack of parallel corpora for teaching NMT is the creation of synthetic corpora by automatic machine translation, namely, back-translation, in which the texts of the target language are translated into the source language by machine translation, and the resulting parallel texts are added to the existing ones, thereby increasing the amount of initial data for training NMT.

There are a number of works offering different ways of creating synthetic corpus. There is translation with back translation, collection of pseudo-corpus, translation by phrases, creation of synthetic sentences using recurrent neural networks, etc. This article considers a hybrid approach in the form of combining the original corpus with a synthetically obtained machine translation of the Kazakh language with a back translation.

## Related works

Despite significant advances in machine translation quality, neural machine translation suffers from a lack of data. For most language pairs, there is not a large volume, high quality and widespread bilingual corpus. Even for the most resource-rich languages, the main sources of available parallel corpora are often limited to government documents or news. Back translation is an important area of neural machine translation for low-resource languages.

Improving neural machine translation on small amounts of data was considered in works [1,2,3,4].

There are three approaches to Kazakh-English parallel corpora acquisition. Bitextor, InterText tools are used to crawling text from the Web. Crawled corpora were aligned via the Hunalign tool. By described above approaches 'Akorda' [5] and 'TED' [6] corpora were collected.

The collecting process of corpora by Bitextor and its needed library was described in [7]. 25K parallel Kazakh-English sentences were collected by these tools. The

crawled corpora were used to create a dictionary, for writing rules in rule-based machine translation and for disambiguation tasks.

In [8] were presented a compilation process of Kazakh Language Corpus (KLC) with 135M words that occupy five stylistic genres. The corpora were created by crawling resources from the Internet. Source-specific crawler was written for each website, which has been increasing the precision of the metadata. Some parts of corpora were annotated handily with linguistic markups to morpheme segmentation and for error correction.

In [9] were presented collection of 22180 parallel sentences from the official site of the President of the Republic of Kazakhstan, but some data were misaligned in case of bilingual speech of Kazakh and Russian. The parallel corpora with volume 1.3K and 20K are used to train the baseline model in a statistical machine translation system. The small Kazakh and English corpora (1.3K sentences) were collected from e-mail messages of organizations. The baseline system improved by word segmentation and it improved BLEU metrics to 2.7 points.

The system that collected documents from the web into media-corpus of Kazakh corpus was described in [10]. This will allow searching for morphological analysis of words, to see the text frequency.

In WMT'19 the Kazakh-English language pair was added as a low resources language pair [11]. WMT'19 published open-access parallel corpora: news-commentary (7K), wiki-titles (114K) and KazakhTV (100K) parallel sentences in Kazakh and English. Different machine translation systems were involved in the competition. Most of the participants try to train on the above-mentioned corpora. A feature of the wiki-titles corpus is that more than 50% of sentences are named entities. The majority systems on WMT'19 on Kazakh-English shared tasks used synthetic corpora by back-translated from English and mentioned above WMT'19 open-access corpora [12,13,14,15,16].

Semi-supervised learning from a monolingual text was used in [17]. Experiments have shown that double NMT works very well in English-French translation; especially when studying monolingual data, it achieves comparable accuracy to neural machine translation prepared on the basis of complete bilingual data for the task of translating from French to English.

Back translation research has also extended to teaching supervised systems only with synthetic data in statistical machine translation [18]. This approach suggests using monolingual data to improve translation between similar languages.

The creation of domain specific parallel corpora by automatic and semi-automatic methods was proposed in [19]. About 6,500 Turkish-English medical abstracts were collected from the Internet. The authors focus more on collecting non-grading translation systems. To increase the volume of parallel corpora for the Kazakh language, the regeneration of the synthetic corpus was proposed in [20]. The synthetic corpus was created on the basis of the complete Kazakh language endings [22].

This article will consider the technology of back translation for the English-Kazakh system, and also analyze the effect of the synthetic corpus on the quality of the translation of the mentioned system.

**Description of reverse translation technology for the English-Kazakh language pair**

The reverse translation was received using the Google translation system. The following types of corpuses were used in neural machine translation of the English-Kazakh system:

- N - natural corpus text;
- S - synthetic corpus text.

Two experiments were launched to investigate the effect of synthetic corpus on translation quality. In the first experiment, the volume N = const of the natural body was constant, and the volume S ↑ of the synthetic body increased with a step of 20%.

In the second experiment, the volume of the combined N and S corpuses is 140,000 parallel sentences. In this experiment, N ↑ increased and S ↓ decreased.

For the first experiment, the volume of natural (original) was 70,000 parallel sentences. For the synthetic part, the text of the Kazakh language was taken with the same volume, 70,000 monolingual Kazakh text. The synthetic corpus was obtained by Google’s machine translation system. The text is in Kazakh, 70,000 sentences have been translated into English. Google Translate has a character limit of 5,000, so sentences were translated on average 50-60 sentences. Below in Table 1 are examples of sentences with translation.

**Table 1.** Examples of sentences with their translations.

Source data in Kazakh	Received translation via Google	Original target translation
1. Songy ush jyl ishinde Astana ozgergen.	1. In three years of its existence Astana has changed.	1. Astana has changed over the last three years
2. Halyq ushin manyzdy penitsillin.	2. Important penicillin to the population.	2. Penicillin is important for the population.
3. Memleket basshysy vhde Nursultan Nazarbaev Resei Federatsiasynyn Prezidenti Vladimir Putinge Donetsk manynda bolgan TU - 154 jolayshykar ushagynyn apatynan adamdardyn qaza bolyyna bailanysty konil aitty	3. Head of state Nursultan Nazarbayev and President of the Russian Federation Vladimir Putin near Donetsk TU - 154 expressed condolences over the loss of life as a result of a passenger plane crash.	3. Head of the State . Nursultan Nazarbayev expressed condolences to Vladimir Putin of the Russian Federation in connection with human deaths in the crash of a TU - 154 passenger airbus near to Donetsk

At the beginning, the system was trained only on the original high-quality text, where it showed a quality score of 22.61 BLEU metrics.



Further, 20% of the 70,000 synthetic corpus offers were added to the natural corpus. This amounts to a 14,000 offer from a synthetic corpora. With each experiment, the number increased from 20% synthetic corpus to 100 % (70,000).

In the second case of experiments, the volume of the corpus totaled 140,000 parallel sentences. Initially, it was launched on 140,000 natural corpus sentences. Further, the amount of the synthetic corpus decreased and the proportion of the volume of the natural corpus increased.

## Experiments and results

Experiments were done on Tensorflow [21]. TensorFlow - is an open source library for high performance numerical calculations. Tensorflow allows you to deploy computing across multiple platforms. The same test files were used for all experiments, and the volume of the corpus for training was different, depending on the addition of the synthetic corpus to the natural corpus. The training parameters are as follows:

- 2-layer LSTM seq2seq model
- 1024 dim hidden units
- 0.2 dropout
- bi-directional encoder
- Adam optimizer

To train a neural machine translation system, the following data (files) are required:

- English-Kazakh parallel corpora
- monolingual Kazakh dictionary
- monolingual English dictionary
- testing files

The English-Kazakh parallel corpus consists of the amalgamation of the N and the S, where the original corpus was combined with a synthetic corpus based on a back translation. Test files are divided into 2 parts: dev and test. The volume of the case varied depending on the quantity of the synthetic corpus. The volume of test files was 1400 parallel sentences for 2 test files. There were 28503 units in the Kazakh dictionary, and 15832 units in the English one.

All data for training neural machine translation has been preprocessed, namely, the texts are toned and normalized. Tokenization is the separation of punctuation marks from words.

Table 2 shows the results for the first type of experiment, where N was constant and S was changed with a step of 20% increase.

Based on the results of the experiment on the first type, we can come to the conclusion that with a larger increase in the volume of the synthetic corpus, the translation quality decreases.

Table 3 shows the results of experiments for the second type of experiments, where the ratio of N and S changed, where the ratio of natural text increased, and synthetic decreased.

According to the results of the experiment on the second type, it can be argued that when the volume of the natural text is greater than the synthetic one, the quality of translation rises.

**Table 2.** Assessment quality for the first type of experiment with an increase in the synthetic corpus.

N sentences	S sentences	BLEU
70K (70 000)	0 (0%)	22,61
70K (70 000)	14K (14 000) (20%)	21.7
70K (70 000)	28K (28 000) (40%)	22.7
70K (70 000)	42K (42 000) (60%)	23.0
70K (70 000)	56K (56 000) (80%)	22.1
70K (70 000)	70K (70 000) (100%)	21,14

**Table 3.** Assessment quality for the second type of experiment.

N sentences	S sentences	Ratio of N and S sentences	BLEU
70K	70K	50% / 50%	21,14
84K	56K	60% / 40%	23.5
98K	42K	70% / 30%	25.9
112K	28K	80% / 20%	26.4
126K	14K	90% / 10%	28.9
140K	0	100% / 0%	27,19

## Conclusion and future works

The article considered the effect of the synthetic corpus on the translation quality of the neural machine translation of the English-Kazakh language pair. With a smaller amount of synthetic corpus compared to single training on a natural corpus, the translation quality improves from 0.5 to 1.7 BLEU metrics. In the future, it is planned to train neural machine translation for the English-Kazakh and Kazakh-English pair of languages using transfer learning technology.

## Acknowledgements

The research was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan within the framework of projects AP 05132950 and AP 08052421.

## References

1. Sennrich, R., Haddow, B., Birch, A. : Improving neural machine translation models with monolingual data. In Proceedings of ACL 2016. <https://doi.org/10.18653/v1/P16-1009>
2. Cheng, Y., Xu, W., He, Zh., He, W., Wu H., Sun, M., Liu, Y.: Semisupervised learning for neural machine translation. In Proceedings of ACL 2016. <https://doi.org/10.18653/v1/P16-1185>
3. Chen, Y., Liu, Y., Cheng, Y., and Victor O., Li, K : A teacher-student framework for zero resource neural machine translation. In Proceedings of the 55th Annual Meeting of

- the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), pages 1925–1935, Vancouver, Canada. Association for Computational Linguistics, CONFERENCE 2017. <https://doi.org/10.18653/v1/P17-1176>
4. Fadaee, M., Bisazza, A., and Monz, Ch.: Data augmentation for low-resource neural machine translation. In Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers), pages 567– 573, Vancouver, Canada. Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/P17-2090>
  5. Official site of the president of the Republic of Kazakhstan, <http://www.akorda.kz/en>. Last accessed 25 Nov 2019
  6. TED-Multilingual-Parallel-Corpus, <https://github.com/ajinkyakulkarni14/TED-Multilingual-Parallel-Corpus>. Last accessed 25 Jan 2016
  7. Zhumanov Zh., Madiyeva A., Rakhimova D. New Kazakh Parallel Text Corpora with On-line Access. In: Computational Collective Intelligence. ICCCI 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10449. Springer, Cham. pp. 501-508
  8. Makhambetov O., Makazhanov A., Yessenbayev Zh., Matkarimov B., Sabyrgaliyev I. and Sharafudinov A.: Assembling the Kazakh Language Corpus. Proceedings of Empirical Methods in Natural Language Processing, 2013. pp. 1022-1031
  9. Assylbekov Zh. and Nurkas A. Initial Explorations in Kazakh to English Statistical Machine Translation. The First Italian Conference on Computational Linguistics, CLiC-it 2014, Italy. pp. 12-16.
  10. Mansurova M., Madiyeva G., Aubakirov S., Yermekov Zh., Alimzhanov Y.: Design and Development of Media-Corpus of the Kazakh Language. Computational Collective Intelligence: 9th International Conference, ICCCI 2017, Nicosia, Cyprus, September 27-29, 2017, Proceedings, Part II. pp.509-518.
  11. ACL 2019 fourth conference on machine translation(WMT19), <https://www.statmt.org/wmt19/translation-task.html>. Last accessed 25 Sep 2020
  12. Budiwati S. D., Maulana Siagian A., Fatyanosa T. R, Aritsugi M.: DBMS-KU Interpolation for WMT19 News Translation Task. Proceedings of the Fourth Conference on Machine Translation (WMT19), Florence, Italy, August 1-2, 2019, pp. 141-146. <https://doi.org/10.18653/v1/W19-5309>
  13. Briakou E. and Carpuat M.: The University of Maryland’s Kazakh–English Neural Machine Translation System at WMT19. Proceedings of the Fourth Conference on Machine Translation, Florence, Italy, August 1-2, 2019, pp. 134-140. <https://doi.org/10.18653/v1/W19-5308>
  14. Casas N., Fonollosa José A. R., Escolano C, Basta Ch., Costa-jussà Marta R.:The TALP-UPC Machine Translation Systems for WMT19 News Translation Task: Pivoting Techniques for Low Resource MT. Proceedings of the Fourth Conference on Machine Translation (WMT19), Florence, Italy, August 1-2, 2019, pp. 155-162. <https://doi.org/10.18653/v1/W19-5311>
  15. Kocmi T., Bojar O.: CUNI Submission for Low-Resource Languages in WMT News 2019. Proceedings of the Fourth Conference on Machine Translation (WMT19), Florence, Italy, August 1-2, 2019, pp. 234-240. <https://doi.org/10.18653/v1/W19-5322>
  16. Littell P., Lo Ch., Larkin S., Stewart, D.: Multi-Source Transformer for Kazakh-Russian-English Neural Machine Translation. Proceedings of the Fourth Conference on Machine Translation (WMT19), Florence, Italy, August 1-2, 2019, pp. 267-274. <https://doi.org/10.18653/v1/W19-5326>
  17. He, D., Xia, Y., Qin,T., Wang, L., Yu, N., Liu, T., Ma, W.: Dual learning for machine translation. In Proceedings of the 30th International Conference on Neural Information Processing Systems, pages 820–828, USA. CONFERENCE 2016. <https://doi.org/>
  18. Marie, B., Fujita, A. : Unsupervised neural machine translation initialized by unsupervised statistical machine translation. CoRR, abs/1810.12703.

19. Doğru, G., Martín-Mor, A., Aguilar-Amat, A.: Parallel corpora preparation for machine translation of low-resource languages: Turkish to English cardiology corpora. *Proc. LREC 2018*, (2018), pp. 12-15.
20. U. Tukeyev, A. Karibayeva, B. Abduali (2019). Neural machine translation system for the Kazakh language based on synthetic corpora. *MATEC Web of Conference. CONFERENCE 2019*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925203006>
21. Tensorflow Homepage, <https://www.tensorflow.org>. Last accessed 29 Sep 2020
22. Tukeyev, U., Automaton models of the morphology analysis and the completeness of the endings of the kazakh language. *Proceedings of the international conference “Turkic languages processing” TURKLANG-2015 September 17–19, Kazan, Tatarstan, Russia, 2015*. 91-100 pp

# A Lattice Boltzmann - Immersed Boundary Method to Simulate the Fluid Interaction with Solid Particles

Bekzat Satenova<sup>1</sup>[0000–0003–2130–4794],  
Zhakebayev Dauren<sup>1,2</sup>[0000–0002–0642–327X], and  
Askar Khikmetov<sup>1,3</sup>[0000–0002–3045–7592]

<sup>1</sup> Kazakh national university named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

Satenova.bekzat89@gmail.com

<sup>2</sup> Dauren.zhakebayev@gmail.com

<sup>3</sup> Askar.Khikmetov@kaznu.kz

**Abstract** A direct force -based immersed boundary-lattice Boltzmann method is presented in this paper for simulating incompressible viscous flows. This method combines the good features of the lattice Boltzmann method (LBM) and the immersed boundary method (IBM) by using two unrelated computational grids, a Eulerian mesh for the flow field and a Lagrangian mesh for the solid boundaries in the flow. In this method, the velocity is divided into two parts: the intermediate velocity, which is determined from the density distribution functions, and the correction velocity, which is calculated from the external force. In this work, the rate of correction (force density) at all boundary points are considered as unknowns, which are calculated in such a way that the no slip boundary condition is enforced at the boundary points. To validate the developed method, benchmark problem of flow past circular cylinder is simulated. The variation of mean drag coefficient with Reynolds number is also investigated. Numerical examples show that the present method can accurate numerical results. The results show that the present method is in good agreement with the results of other authors.

**Keywords:** Lattice Boltzmann method, immersed boundary method, direct force, flow past cylinder, drag coefficient, particulate flow

## Particulate flows

*Introduction* The fluid- particle system is of significant scientific and technological interest in a wide range of disciplines in a number of industrial applications. The fluid-particle system is of significant scientific and technological interest in a wide range of disciplines. The fluid particles interaction problem occurs in various fields, examples are: chemical engineering (fluidized beds), medical science (blood flow), engineering (sediment transport near a river beds), etc., in a wide range are found in the field of aerospace and environmental engineering as well as in geology and biology. In view of the importance of these various applications, the fluid particles interaction problems have been attracting considerable attention, both experimentally and numerically.

The immersed boundary method was first presented by Peskin for simulation of the flow structure around natural heart valves [1]. He proposed to simulate the interface

between two environments by adding source terms to the gas dynamic equations. IBM's approach to such problems is to describe the elasticity of an immersed structure in a Lagrangian grid and describe the momentum, viscosity, and incompressibility of a fluid structure connected by a system in an Euler grid. Dirac delta function, which distributes the strength of the distorted elastic boundary to neighboring fluid nodes and interpolates it with the local fluid velocity to update the boundary position. The basic idea of this method is to treat the boundary as deformable with high stiffness. A small distortion of the particle boundary will yield a force that tends to restore the boundary into its original position.

In the early 1990, Ladd et al. [2] successfully applied the Lattice Boltzmann Equation (LBM) method to particle- fluid suspensions. He showed that LBM is a reliable and efficient method for modeling flows with large numbers of particles. Because the LBM is a regular lattice scheme for fluid flow simulation, it is easier to code, highly parallelizable, and proven to be more efficient computationally. This fact makes it possible to combine the IB and LBM methods.

Feng and Michaelides [3] developed an IB-LBM coupling model to simulate the sedimentation of a large number of particles. In their approach, the restoration force due to deformation is computed by the penalty method [4] or by the direct forcing scheme [5]. The drawback of this method is that a user-defined spring parameter is introduced in the penalty method, which can have a significant impact on the efficiency and accuracy of the calculations. And the direct forcing scheme requires solving of the Navier-Stokes equations by the finite difference method, which spoils the advantages of LBM. Later, Dupuis et al. [6] proposed direct action IB-LBM without solving the Navier-Stokes equations to estimate the density of boundary forces.

Niu et al. [7] proposed another simple method for calculating restoring force, which uses momentum exchange at the boundary to calculate the force. In this approach, the calculation of the restoring force is simpler and more convenient as compared to that of Ladd [2], since the force is calculated at the boundary points, and there is no need to worry about the details of the boundary position and mesh points.

The main disadvantage of IBM is that the no-slip boundary condition is only use in an approximately convergent state. As a consequence, some streamlines can penetrate into a solid. To overcome this disadvantage, Kim et al. [8] introduced a mass source. Using this method, the slip condition can be well preserved, but the complexity is introduced into the calculation. Recently, Shu et al. [9] found that IBM's unsatisfactory no slip boundary condition is related to a pre-calculated restoring force. Using the fractional step technique, they concluded that adding body force to the momentum equations is equivalent to correcting the velocity field. To ensure the no slip boundary condition, the restoring force should be considered as unknown, which is determined in such a way that the velocity at the boundary interpolated from the corrected velocity field satisfies the non-stick boundary condition. However, it has only the first order accuracy, and the calculated forces at the boundary have some fluctuations.

One of the important works in the implementation of the DF-IBM method was formed in 2005 by Uhlmann et al. [10], who combined the regularized delta function approach with the direct forcing (DF) approach. In this way, the numerical efficiency was greatly improved, while the numerical problem of unsmoothing was remarkably

suppressed. The immersed boundary force density (IB) is directly calculated from the difference between the unforced fluid velocity and the particle boundary velocity at the Lagrangian points. The hydrodynamic forces and moments acting on the particles can be obtained by simple integration of the force density IB distributed over the Lagrangian points.

Until now, many different formulations of the immersed boundaries method have been developed [11-13]. In this work, we will follow the idea of Uhlmann et al. to propose a variant of DF-IBM. For a better analysis of this method, the problem of flow past circular cylinder is simulated and the dependences of the lift force and drag force were obtained at different Reynolds numbers. The results obtained show good agreement with the available data in the literature.

*Problem statement* In this paper, we consider a mathematical model of the problem of fluid interaction with solid particles by coupling Lattice Boltzmann- immersed boundary method.

For an incompressible viscous flows laden with particles in two- dimensional domain  $\Omega$  the governing equations for the direct forcing immersed boundary method can be written as:

Mass conservation:

$$\nabla u = 0 \quad (1)$$

Momentum conservation with force term:

$$\rho \frac{(\tilde{u}) - (u)^n}{\Delta t} = -\rho(u \cdot \nabla)u - \nabla p + \mu \nabla^2 u + f \quad (2)$$

Fluid- particle interaction:

$$\frac{\partial (X(s, t))}{\partial t} = U_p(X, t) = \tilde{u}(X(s, t), t) = \int_{\Omega} \tilde{u}(x, t) \delta(x - X(s, t)) dx \quad (3)$$

Force at Lagrangian position:

$$F_l(X) = \frac{U^d(X) - U_p(X)}{\Delta t}, U^d(X) = U_p + \Omega_p \times (x - X) \quad (4)$$

Particle- fluid interaction:

$$f(x, t) = \int_{\Gamma} F_l(s, t) \delta(x - X(s, t)) ds \quad (5)$$

where

$x, u, p, \mu, f$  are the fluid Eulerian coordinates, fluid velocities, fluid pressure, fluid kinematic viscosity and force density term, respectively;

$U^d$ - desired velocity,  $X, U_p, F_l$  and  $\Omega_p$  are the solid Lagrangian coordinates, particle velocities, boundary force density and angular velocity of the particle, respectively;

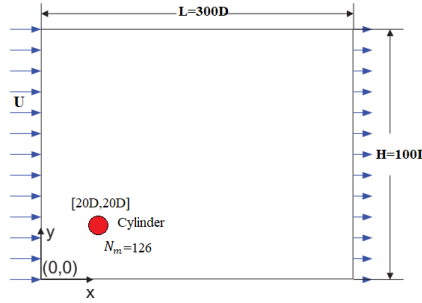
$s$ - is the area in 2D or segment length at Lagrangian point,  $\delta$ - is the Dirac delta function. The discrete Dirac delta function in Eq. (4) is defined for 2D cases as follows:

$$\delta_h(x, y) = \frac{1}{h^2} \phi\left(\frac{x}{h}\right) \phi\left(\frac{y}{h}\right)$$

$$\delta_h(r) = \begin{cases} \frac{1}{8}(3 - 2|r| + \sqrt{1 + 4|r| - 4r^2}), & 0 \leq |r| < 1 \\ \frac{1}{8}(5 - 2|r| + \sqrt{-7 + 12|r| - 4r^2}), & 0 \leq |r| < 2 \\ 0, & |r| > 2 \end{cases} \quad (6)$$

where  $h$  is the distance between two Eulerian grid points and  $r$  denotes the distance between any two Eulerian and Lagrangian points.

A schematic picture of the computational domain is shown in Figure 1. In this work, the flow past a circular cylinder is considered in a rectangular channel.



**Figure 1.** Geometry illustration of the problem statement

Initial conditions for velocity components are set zero in all directions of the domain. The boundary conditions imposed for velocity is Dirichlet on the inlet, top and bottom boundaries, and Neumann on the outlet directions of the domain. A no-slip boundary condition is applied to the velocity of cylinder surface.

Initial conditions:

$$u_1 = u_2 = 0, \text{ at } t = 0, 0 \leq x_1 \leq 1, 0 \leq x_2 \leq 1;$$

Boundary conditions:

$$u_1 = u, u_2 = 0, \quad \text{at } x_1 = 0, 0 \leq x_2 \leq 1;$$

$$u_1 = u_2 = 0, \quad \text{at } x_1 = 1, 0 \leq x_2 \leq 1;$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial x_1} = \frac{\partial u_2}{\partial x_1} = 0, \quad \text{at } x_2 = 1, 0 \leq x_1 \leq 1;$$

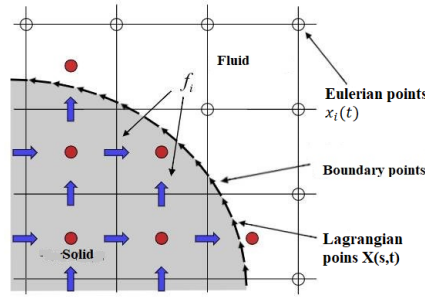
$$u_1 = u_2 = 0, \quad \text{at } x_2 = 0, 0 \leq x_1 \leq 1.$$



## Numerical method.

### Immersed Boundary-Lattice Boltzmann Method.

In this work, LB equation is used for the fluid dynamics, and a Lagrangian description of curvilinear boundary structural mechanics is used for bodies immersed in the fluid. A 2D example with a single closed immersed boundary curve is shown in Figure 2. The LBM approach for fluid is modeled as a group of fluid particles that can only move between lattice nodes or remain at rest. Different models can be used depending on the size and number of speed directions. In this study, the LBE with BGK (Bhatnagar-Gross-Krook) [14] collision term in two-dimensional square lattice with nine discrete velocities (model D2Q9) has been used:



**Figure 2.** Schematic diagram of the IB method

In this work, we consider LBE with external force proposed by Guo et al. [7] which can be written as:

$$f_i(x + e_i \Delta t, t + \Delta t) - f_i(x, t) = -\frac{1}{\tau} [f_i(x, t) - f_i^{eq}(x, t)] + \Delta t F_i(x, t) \quad (7)$$

The regular formulation of an LBM with external force term consists of two steps:

$$\text{Collision} : f'_i(x, t) = f_i(x, t) - \frac{1}{\tau} [f_i(x, t) - f_i^{eq}(x, t)] + \Delta t F_i(x, t) \quad (8)$$

$$\text{Streaming} : f_i(x + e_i \Delta t, t + \Delta t) = f'_i(x, t) \quad (9)$$

$$f_i^{eq} = w_i \rho_f \left[ 1 + \frac{3}{c^2} (e_i u)^2 + \frac{9}{2c^4} (e_i u)^2 - \frac{3}{2c^2} |u|^2 \right] \quad (10)$$

where the formulation of external force  $F_i$  is:

$$F_i(x, t) = \left(1 - \frac{1}{2\tau}\right) w_i \left[ \left( \frac{e_i - u(x, t)}{c^2} \right) + \frac{(e_i u(x, t))}{c^4} e_i \right] f(x, t) \quad (11)$$

where the values of the weights are:

$$w_i = \begin{cases} \frac{4}{9}, i = 0 \\ \frac{1}{9}, i = 1, 2, 3, 4 \\ \frac{1}{36}, i = 5, 6, 7, 8 \end{cases} \quad (12)$$

the discrete velocity directions  $e_i$  are written as:

$$e_i = \begin{cases} (0, 0, 0)c, i = 0 \\ (\pm 1, 0, 0)c, (0, \pm 1, 0)c, (0, 0, \pm 1)c, i = 1 - 6 \\ (\pm 1, \pm 1, 0)c, (0, \pm 1, \pm 1)c, (\pm 1, 0, \pm 1)c, i = 7 - 8 \end{cases} \quad (13)$$

here  $c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  the lattice velocity and  $i$  is the direction of the lattice velocity.

The fluid velocity consists of two parts. One is contributed from the density distribution function, and the other is contributed from the force density  $f$ . If we define the intermediate velocity  $u^*$  looks like this:

$$u = u^* + \Delta u$$

$$\rho u^* = \sum_i e_i f_i, \rho \Delta u = \frac{1}{2} f \Delta t, \text{ then } u = u^* + \frac{\Delta t}{2\rho} F(x, t)$$

Through Chapman-Enskog expansion, the macroscopic fluid density  $\rho$  and velocity  $u$  can be derived respectively as the zeroth and first order moments of  $f_i$ , are defined as:

$$\rho(x, t) = \sum_i f_i(x, t), \rho(x, t)u(x, t) = \sum_i f_i(x, t)e_i + \frac{\Delta t}{2} F \quad (14)$$

### Fluid- solid interaction force computation.

When the IB-LBM is used to simulate particle motions in a fluid, the forces that can be computed include external forces (e.g. buoyancy), internal forces (e.g. the particle collision force), and restoration forces. For the simulation of a moving particle, the equations of motion for each particle must be considered. Newton's equation of particle translational velocity can be written as:

$$M_p \frac{\partial U_p}{\partial t} = -\rho_p \int F_l dv + M_f \frac{\partial U_p}{\partial t} + (\rho_p - \rho_f)V_p g + F_{col} \quad (15)$$

where  $\rho_p, M_p, V_p$  and  $U_p$  are the particle density, mass, volume and velocity respectively,  $M_f$  is fluid mass,  $\rho_f$  is fluid density,  $F_{col}$  is the particle- particle or particle-wall collision force.

This equation we can discretized as:

$$U_p^{n+1} = U_p^n + \frac{1}{M_p}(-\rho_p \sum F_l^n \Delta V_l) \Delta t + \frac{M_f}{M_p}(U_p^n - U_p^{n-1}) + \frac{1}{M_p}(M_p - M_f)g \Delta t + \frac{1}{M_p}F_{col} \Delta t \quad (16)$$

Newton's equation of angular particle motion can be written as:

$$T = I_p \frac{\partial \Omega_p}{\partial t}, \Omega_p^{n+1} = \Omega_p^n + \frac{1}{I_p}[-\sum (X_l - X_c \times f_l^n \Delta V_l)] \Delta t \quad (17)$$

Where  $I_p$  is the mass moment of inertia of particle,  $\Omega_p$ - angular velocity of particle,  $X_l$  and  $X_c$  are the position of Lagrangian boundary point and center of particle.

After calculating the particle translational velocity at  $n+1$ , we can update the particle new center position:

$$X_c^{n+1} = X_c^n + \frac{U_p^{n+1} + U_p^n}{2} \Delta t \quad (18)$$

Then determined desired velocity  $U^d$  for each Lagrangian point by:

$$U^d(X_l) = U_p + \Omega_p \times (X_l - X_c) \quad (19)$$

After obtained Lagrangian force  $f_l$  by Eq.(6), the force term that is exerted on each Eulerian point is calculated by:

$$f = \sum F_l \delta(x - X_l) \Delta s \Delta h \quad (20)$$

### Collision force competition

In any process where a large number of particles are flowing in a limited volume, there is a problem of settling or collision between the particles. In this case, it is of paramount importance to use a numerical method to deal with collisions in order to prevent the calculated particles from penetrating each other's boundaries. Without collision techniques, computational particles can overlap, which disrupts the behavior of physical particles. There are several collision methods that are commonly used in particle-liquid interaction problems. One of the popular approaches is to introduce a repulsive force. In this paper we use the repulsive force determined by Glowinski et al. [16]. For circular and spherical particles, the repulsive force on the  $i$ -th particle from the  $j$ -th particle is:

$$F_{ij}^P = \begin{cases} 0, & ||x_i - x_j|| > R_i + R_j + \zeta \\ \frac{c_{ij}}{\epsilon_p} \left( \frac{||x_i - x_j|| - R_i - R_j - \zeta}{\zeta} \right)^2 \frac{x_i - x_j}{||x_i - x_j||}, & ||x_i - x_j|| < R_i + R_j + \zeta \end{cases} \quad (21)$$

where  $c_{ij}$  is the force scale chosen as the buoyancy force on the body in the case of particle settling,  $\epsilon_p$ - stiffness parameter for particle deformation,  $x_i, x_j$ - center of particles position,  $R_i, R_j$ - radii of particles,  $\zeta$ - range of the repulsive force.

A similar form is used for particle- wall collision:

$$F_{ij}^W = \begin{cases} 0, & \|x_i - x_{ij}\| > 2R_i + \zeta \\ \frac{c_{ij}}{\epsilon_p} \left( \frac{\|x_i - x_{ij}\| - 2R_i - \zeta}{\zeta} \right)^2 \frac{x_i - x_{ij}}{\|x_i - x_{ij}\|}, & \|x_i - x_{ij}\| < 2R_i + \zeta \end{cases} \quad (22)$$

where  $x_{ij}$  is the coordinate vector of the center of the nearest imaginary particle located on the other side of the wall boundary

*Simulation procedure* Based on the above set of governing equations, the computational scheme can be summarized as follows:

1. At the beginning, fluid velocity, particle velocity and particle position are known in all nodes of the computational domain. Initialize the initial value of  $u(x, 0), f(x, 0), \rho_f(x, 0)$  by Eq. (11)
2. Calculate  $F_i(x, t)$  by Eq. (12), Calculate :  $f'_i(x, t)$  by Eq. (9),  $f_i(x, t)$  by Eq. (10), fluid velocity from Eq. (16)
3. Compute Lagrangian velocity  $\tilde{U}_p(X, t)$  by interpolation  $\tilde{u}(x, t)$  from Eq. (4)
4. Calculate collision forces for all particles by Eq. (21), (22)
5. Compute Lagrangian force  $F_l(X, t)$  from Eq. (5)
6. Use equations of motion to update particle center position and orientation as well as translational and angular velocities by Eq. (17)
7. Repeat step 2 until the end of simulation.

## Validation

In this paper, we investigate the problem of two-dimensional flow over a stationary circular cylinder to verify the LBM + IM method for a wide range of Reynolds numbers. This problem is one of the classic two-dimensional problems for checking the accuracy of a numerical method in complex geometries . Lagrangian forces are calculated using the direct force action (DF) method. Thus, it has been thoroughly studied and many comparable experimental and numerical results can be found. Depending on the Reynolds number ( $Re = \frac{U_{max} D}{\nu}$ ), where  $U_{max}$ , free stream velocity and  $D$  is the diameter of the cylinder. In this work, the Reynolds number was taken  $Re = 100$ , which provided a stable solution. The number of Lagrangian points is 126, and these points are evenly distributed over the surface of the cylinder. The size of the computational area was set to  $100D \times 300D$ . The cylinder has a diameter  $D = 20$  and is centred within a  $20D \times 20D$  domain.

The drag force and lift force are calculated as:

$$F_D = - \sum F_x(X, t) \Delta s \Delta t, F_L = - \sum F_y(X, t) \Delta s \Delta t$$

where  $F_x$  and  $F_y$  are the component forces in the horizontal and vertical directions, respectively.

The drag and lift coefficients are defined as:

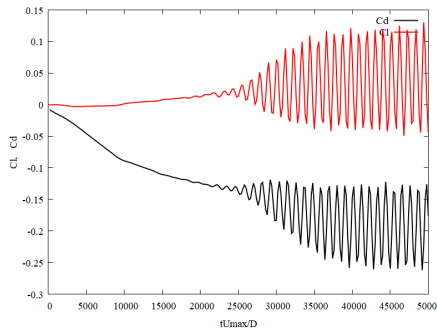
$$C_D = \frac{F_D}{(\frac{1}{2}\rho U_0^2 D)}, C_L = \frac{F_L}{(\frac{1}{2}\rho U_0^2 D)}$$

Figure 3 (a) shows the drag coefficient predicted by the IB-LBM at  $Re = 10, 40, 100$ . Similar to the IB-LBM result, the predicted lift coefficients is shown 3 (b). Owing to the symmetry of the fluid in the flow around the cylinder at a small  $Re$ , the lift coefficient  $C_L$  remains zero after the flow has stabilised, whereas the drag coefficient  $C_D$  is stable after a certain period. At  $Re = 100$  the forecast is in good agreement with experimental data [17]



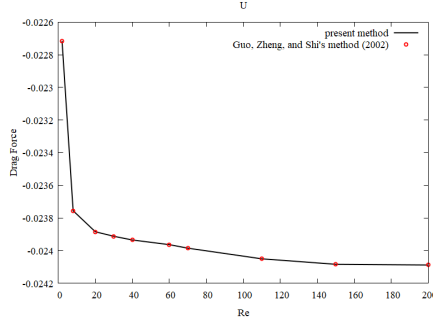
**Figure 3.** Drag coefficient of a stationary cylinder at (a)  $Re = 10, 40, 100$ , (b) Lift coefficient of a stationary cylinder at  $Re = 10, 40, 100$

Figure 4 shows the periodic time variation of the lift coefficient  $C_L$  and drag coefficient  $C_D$  for the flow past a circular cylinder at  $Re = 150$ . It is seen that, for each time period,  $C_D$  and  $C_L$  have a periodic vortex shedding from the top and bottom surfaces. It is observed when Reynolds number increases, coefficient of drag decreases even for the vortex-shedding flows.



**Figure 4.** Time evaluation of drag coefficient and lift coefficient of a stationary cylinder at  $Re = 150$

Figure 5 demonstrates the drag force of the present simulation, compared with the results of [7], and finds that the drag force tends to decrease slowly depending on the Reynolds number.



**Figure 5.** Dependence of dimensionless drag force on Reynolds number: comparison of methods

Figure 6 shows the streamlines of the flow when reaches its final steady state for different Reynolds numbers ( $Re = 10, 40, 100$ ). A creeping flow is obtained at  $Re = 10$ . Two stationary vortices are formed behind the cylinder at  $Re = 40$ .



**Figure 6.** Drag coefficient of a stationary cylinder at (a)  $Re = 10, 40, 100$ , (b) Lift coefficient of a stationary cylinder at  $Re = 10, 40, 100$

The streamlines around the cylinder at  $Re = 150$  are displayed in Figure 7. The flow is unstable, and a periodic vortex release occurs behind the cylinder (Karman vortex street). In all cases, a pair of stationary recirculating vortices is formed behind the cylinder. At a very low Reynolds number, the flow around a circular cylinder is stable and symmetrical upstream and downstream. As the Reynolds number increases, the symmetry disappears and two attached vortices appear behind the cylinder. These vortices become bigger with increasing Reynolds number.

## Conclusion

A 2D simulation of the flow around a circular cylinder was carried out using the immersed lattice Boltzmann equation method (IB-LBM) to investigate its applicability to liquid solid-phase flows with a large Reynolds number. For flows passing by a stationary cylinder, a wide range of Reynolds numbers was tested ( $1 \leq Re \leq 1 \times 150$ ). The obtained drag and lift coefficients were compared with experimental data and



**Figure 7.** Streamlines of the steady flow over a circular cylinder at (a)  $Re = 100$ , (b)  $Re = 150$ .

available numerical predictions. The results showed good agreement with previous published work for various Reynolds numbers.

### Acknowledgement.

This work was supported by Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan [Grant No. AP08053154, 2020]

### References

1. Peskin, C.S.: Flow patterns around heart valves: a numerical method. *Journal of Computational Physics* **10**(2), 252–271 (1972).
2. Ladd, A.J.C.: Numerical simulations of particulate suspensions via a discretized Boltzmann equation Part I. Theoretical foundation. *Journal of Computational Physics* **271**, 285–310 (1994).
3. Feng, Z.G., and Michaelides, E.E.: A direct forcing method in the simulations of particulate flows. *Journal of Computational Physics* **202**, 20–51 (2005).
4. Feng, Z.G., and Michaelides, E.E.: The immersed boundary-lattice Boltzmann method for solving fluid-particles interaction problems. *Journal of Computational Physics* **195**, 602–628 (2004).
5. Fadlun, E., and Verzicco, R., and Orlandi P., and Mohd-Yusof J.: Combined immersed-boundary finite-difference methods for three dimensional complex flow simulations. *Journal of Computational Physics* **161**, 35–60 (2000).
6. Dupuis, A., and Chatelain, P., and Koumoutsakos, P.: An immersed boundary-lattice Boltzmann method for the simulation of the flow past an impulsively started cylinder. *Journal of Computational Physics* **227**, 4486–4498 (2008).
7. Niu, X.D., and Shu, C., and Chew, Y.T., and Peng, Y.: A momentum exchange-based immersed boundary-lattice Boltzmann method for simulating incompressible. *Physics Letters A* **354**, 173–182 (2006).
8. Kim, J., and Kim, D., and Choi, H.: An immersed-boundary finite-volume method for simulations of flow in complex geometries. *Journal of Computational Physics* **171**, 132–150 (2001).
9. Wu, J., and Shu, C.: Implicit velocity correction-based immersed boundary-lattice Boltzmann method and its applications. *Journal of Computational Physics* **228**, 1963–1979 (2009).

10. Uhlmann, M.:An immersed boundary method with direct forcing for the simulation of particulate flows. *Journal of Computational Physics* **209**, 448–476 (2005).
11. Zhang, T., and Che, D.:Double MRT thermal lattice Boltzmann simulation for MHD natural convection of nanofluids in an inclined cavity with four square heat sources. *Heat and Mass Transfer* **94**, 87–100 (2016).
12. Mittal, R., and Iaccarino, G.:Immersed boundary Methods. *Annual. Rev. Fluid Mech* **37**, 239–261 (2005).
13. Brown-Dymkoski, E., and Kasimov, N., and Vasilyev O. V.:A characteristic based volume penalization method for general evolution problems applied to compressible viscous flows. *Journal of Computational Physics* **262**, 344–357 (2014).
14. Bhatnagar, P.L., and Gross, E.P., and Krook, M.:A Model for Collision Processes in Gases. I. Small Amplitude Processes in Charged and Neutral One-Component Systems. *Physical Review* **94**, 511 (1954).
15. Guo, Z., and Zheng, C., and Shi, B.:Discrete lattice effects on the forcing term in the lattice Boltzmann method. *Physical Review E* **65**, 046308–6, (2002).
16. Glowinski, R., and Pan, T.W., and Hesla, T.I., and Periaux J.:A fictitious domain approach to the direct numerical simulation of incompressible viscous flow past moving rigid bodies: application to particulate flow. *Journal of Computational Physics* **169**, 363–426, (2001).
17. Roshko, A.:On the development of turbulent wakes from vortex streets. *NACA* **169**, 1191–1226, (1954).



# Modeling of Non-stationary Temperature Mode of a Multi-layer Road Structure

B. B. Teltayev, K. A. Aitbayev, K. B. Tileu, G. Loprencipe

<sup>1</sup> Kazakhstan Highway Research Institute, Almaty, Kazakhstan.

<sup>2</sup> Sapienza University of Rome

**Abstract** The article presents an analysis of changes in the temperature regime in the road pavement and soil foundation of the section of the road "Kyzylorda - Shymkent" based on the results of experimental studies and calculations on a mathematical model. Experimental temperature measurement was carried out using special sensors. Theoretical calculations were carried out on a one-dimensional model of non-stationary thermal conductivity in a multilayer road structure. By comparing the experimental and calculated values of the temperature at the points of the pavement, the adequacy of the proposed mathematical model of the non-stationary temperature regime was proved.

**Keywords:** mathematical model, finite element method, pavement, temperature sensor, temperature, non-stationary temperature field

## Introduction

The temperature field in the road structure is formed under the influence of many factors, among which the influence of such factors as air temperature and the level of solar radiation prevails. It is clear that the amount of solar radiation mainly depends on the latitude of the area along which the road passes, since the length of daylight hours and the maximum height of the solar disk at noon in a given area depend on the geographical latitude of the area.

In this work, the non-stationary process of heat transfer in a multilayer pavement and subsoil is modeled by the finite element method [1-4].

## Mathematical model

The differential equation for one-dimensional unsteady heat conduction has the form:

$$K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \lambda \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

where

K - thermal conductivity coefficient of the material;

T - temperature;

$\rho$  - density;

c - heat capacity;

$t$  - time;

$\lambda = \rho c$ .

Equation (1) is solved together with the boundary conditions:

$T = T_h(t)$  the temperature is set at the lower boundary of the calculated area;

$q = q(t)$  the total heat flow is applied to the upper boundary of the calculated area.

The finite element analog of equation (1) has the form [1]:

$$\{[K] + \frac{2}{\Delta t}[C]\}\{T\}_1 = \{\frac{2}{\Delta t}[C] - [K]\}\{T\}_0 - \{F\} \quad (2)$$

were

$[K]$ - thermal conductivity matrix of the system;

$[C]$ - thermal inertia matrix of the system;

$\{F\}$ - vector of nodal heat loads;

$\Delta t$  - time step;

$\{T\}_0$  - the vector of temperatures at time  $t_0$  ;

$\{T\}_1$  - the desired temperature vector at time  $t_1$ .

System thermal conductivity matrices  $[K]$ , system thermal inertia matrices  $[C]$  and vector of nodal heat loads  $\{F\}$  are calculated by summing the thermal conductivity matrices  $[k^{(e)}]$ , thermal inertia matrices  $[c^{(e)}]$  and vectors of nodal thermal loads of finite elements:

$$[K] = \sum_{e=1}^E [k^{(e)}], \quad [C] = \sum_{e=1}^E [c^{(e)}], \quad \{F\} = \sum_{e=1}^E \{f^{(e)}\},$$

where

$E$  - finite element count.

Matrices  $[k^{(e)}]$ ,  $[c^{(e)}]$  and vector  $\{f^{(e)}\}$  for each finite element, they are calculated using integral expressions:

$$[k^{(e)}] = \int_V [B^{(e)}]^T [D^{(e)}] [B^{(e)}] dV; \quad (3)$$

$$[c^{(e)}] = \int_V \lambda [N^{(e)}]^T [N^{(e)}] dV; \quad (4)$$

$$\{f^{(e)}\} = \int_S q [N^{(e)}]^T dS, \quad (5)$$

where

$[N^{(e)}]$  - finite element shape function matrix;

$[B^{(e)}]$  - finite element gradient matrix;

$[D^{(e)}]$  - finite element thermal conductivity matrix;

$s$  - cross-sectional area of a finite element;

$V$  - finite element volume.

The total heat flux entering the road surface is formed as a result of the influence of various external factors, including due to the temperature difference between the air and the road surface, which causes convective heat transfer between the two media.

In the general case, the total heat flux  $q(t)$  arrives at the surface of the road surface [2-4] at the moment, which is determined as follows:

$$q(t) = q_c(t) + q_s(t) + q_a(t) + q_e(t), \quad (6)$$

where

$q_c$  - energy transported by convection, defined by the difference between the air temperature and the temperature of the road surface;

$q_s$  - energy supplied by total solar radiation;

$q_a$  - energy supplied by atmospheric radiation;

$q_e$  - road surface radiation energy.

## Experiment

In this work, a comparison is made of the temperatures at the points of the road pavement, determined by calculation by a mathematical model and from a full-scale experiment on the section of the Kyzylorda-Shymkent highway (km 2057).

In 2013, in the summer-autumn period, a set of temperature and humidity sensors was laid in the specified area. A diagram of the road structures of this section of the road and the location of the sensors is shown in Figure 1. Data on temperature and humidity at points of the road surface and soil base on this section are measured every hour in automatic mode and stored.

A special feature of these sensors is that one temperature sensor operating on the principle of changing thermal resistance and one humidity sensor operating on the principle of changing the dielectric constant are mounted in one metal capsule. Such a combined design of sensors allows obtaining information about temperature and humidity at points of the road structure simultaneously. More detailed information about these sensors can be obtained in [5-10]. The temperature and humidity values accumulated in the memory of the measuring complexes are processed and formatted in tables.

Figure 2 shows the combined graphs of changes in air temperature and the surface of the road surface on the section of the road "Kyzylorda - Shymkent km 2057" in the period from July 1 to July 31, 2014, determined experimentally. The figure clearly shows that in the daytime in the extreme south of the republic (Turkistan) the air temperature in July in the afternoon reaches 40 ° C, and its average surface on the road "Kyzylorda

- Shymkent km 2057-2111 exceeds  $50^{\circ}\text{C}$ , which is almost  $15^{\circ}\text{C}$  higher than the air temperature.

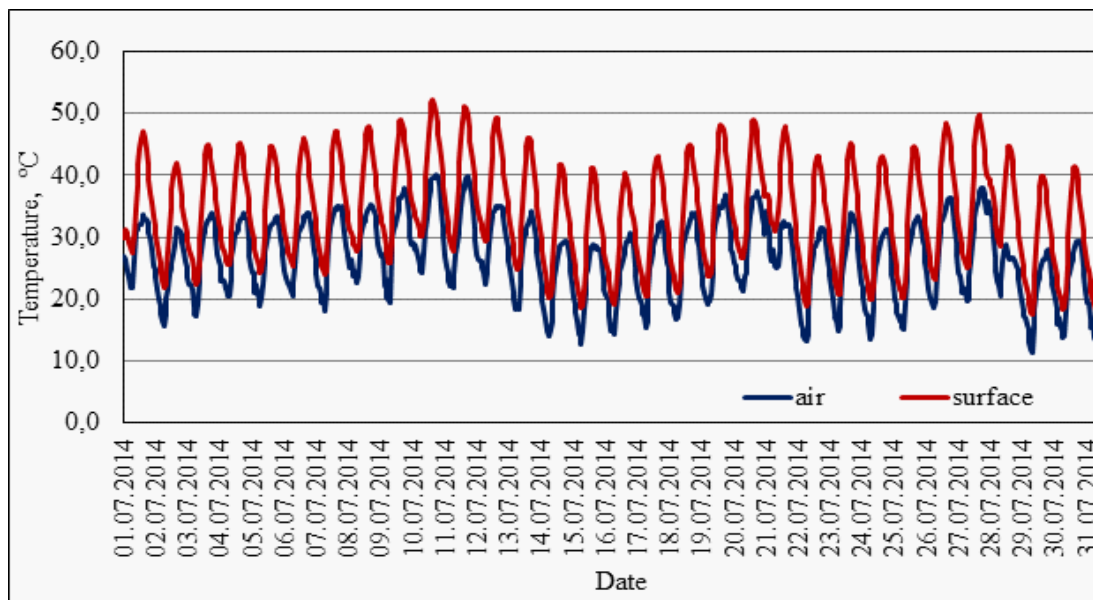


Figure 2. Temperatures of air and surface of asphalt concrete pavement on the section of the road "Kyzylorda - Shymkent km 2057" in the period from July 1 to July 31, 2014

Figures 3 and 4 show the results of comparing the experimental and calculated temperatures on the surface of the asphalt concrete pavement and at a depth of 15 cm.

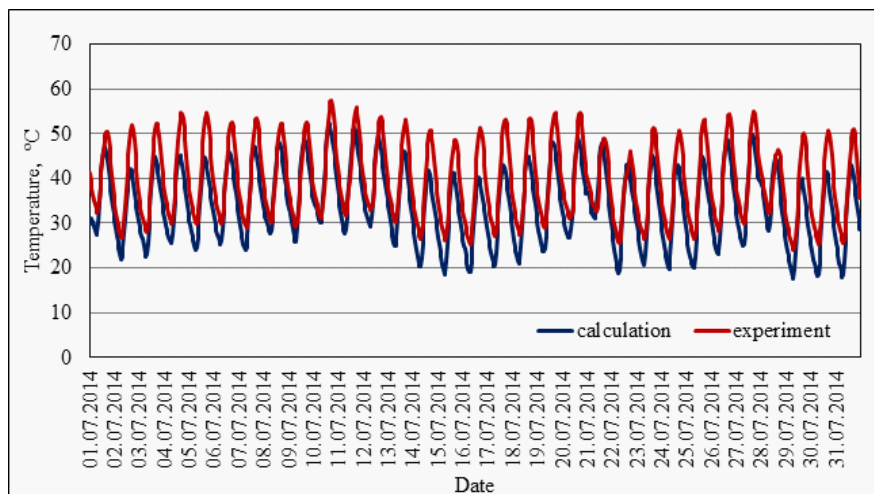


Figure 3. Comparison of calculated and experimental values of temperature on the surface of asphalt concrete pavement in July 2014 on the section of the road "Kyzylorda - Shymkent km 2057-2111"

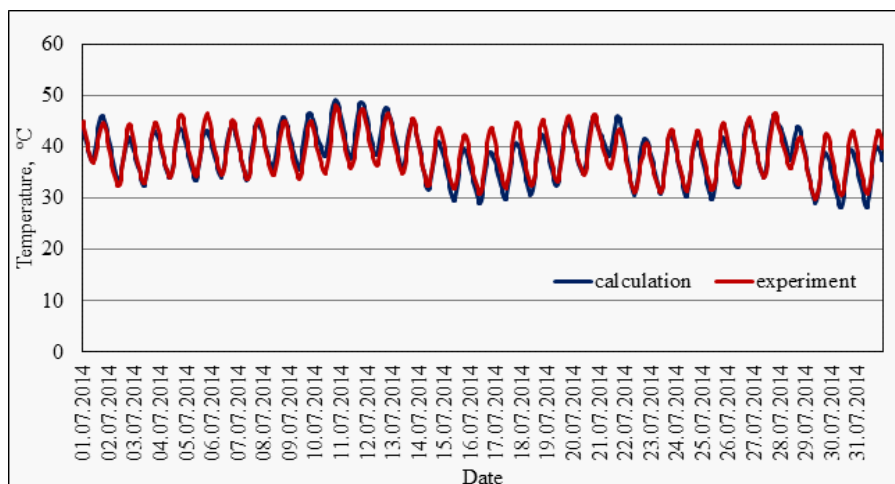


Figure 4. Comparison of calculated and experimental temperature values at a depth of 15 cm in July 2014 on the section of the Kyzylorda - Shymkent highway, km 2057-2111

The obtained satisfactory coincidence of theoretical and calculated values of temperatures testifies to the adequacy of the constructed mathematical model of non-stationary thermal conductivity in multilayer road structures.

## References

1. Segerlind L.J. Applied Finite Element Analysis. John Wiley & Sons, 1976. -422 p.
2. Bagdat Teltayev, Koblanbek Aitbayev. (2015). Modeling of transient temperature distribution in multilayer asphalt pavement. Gomechanics and Engineering. Vol. 8, № 2. pp. 133-152.
3. Bagdat Teltayev, Koblanbek Aitbayev. (2014). Modeling of temperature field in flexible pavement. Indian Geotechnical Journal. 08 Juli, pp. 1-9.
4. Bagdat Teltayev, Koblanbek Aitbayev and Satzan A. Ablaliyev. Modeling of transient temperature distribution in multilayer asphalt pavement. International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 108 No. 3, 2016, pp. 709-722.
5. Teltayev B, Baibaturov A, Suppes E, 2015. Characteristics of highway subgrade frost penetration in regions of the Kazakhstan. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Fukuoka, Japan, pp. 1664-1668.
6. Nugmanova & B. Teltayev. Measured temperature and moisture distribution in the subgrade of the "Almaty-Bishkek" highway, Challenges and Innovations in Geotechnics - Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference, Astana, Kazakhstan, 2016, pp. 57-60.
7. Teltayev Bagdat, Suppes Elena. Freezing characteristics of a highway subgrade. Sciences in Cold and Arid Regions, Vol. 9, No. 3 (2017), p. 325-330.
8. B.B. Teltayev, A.Zh. Zhussupbekov, Zh. Shakhmov, E.A. Suppes. Field Experimental Investigations of Freezing and Thawing of Highway Subgrade. Transsoilcold 2019, 088, v3 (major), p.1-12
9. Teltayev B.B., Suppes E.A. Temperature and moisture in a highway in the south of Kazakhstan, Transportation Geotechnics 2019, 10029, DOI: 10.1016/j.trgeo.2019.100292
10. Teltayev B, Baibaturov A, Suppes E.A. (2018). Temperature in pavement and subgrade and its effect on moisture. Case Studies in Thermal Engineering. 13. 10.1016/j.csite.2018.11.014.

# Algorithms and Software Tools for Machine Learning to Recognize Objects in Microscopic Images\*

Jamalbek A. Tussupov<sup>1</sup>[0000–0002–9179–0428],  
Feodor A. Murzin<sup>2</sup>[0000–0002–4644–5406], and  
Gulzira B. Abdikerimova<sup>3</sup>[0000–0002–4953–0737]

<sup>1</sup> Head of the Department of Information systems, Faculty of information technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan [tussupov@mail.ru](mailto:tussupov@mail.ru)

<sup>2</sup> Deputy director for research part at A.P. Ershov Institute of Informatics Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia  
[murzin@iis.nsk.su](mailto:murzin@iis.nsk.su)

<sup>3</sup> Senior lecturer of the Department of Information systems, Faculty of information technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan  
[gulzira1981@mail.ru](mailto:gulzira1981@mail.ru)

**Abstract** The article deals with methods for analyzing textural images. The main tasks of texture area analysis include: selecting and forming features that describe texture differences; selecting and segmenting texture areas; classifying texture areas; and identifying an object by texture. To select texture areas, we solve the problem of texture segmentation, which consists in splitting the image into areas with a constant texture, i.e., selecting areas within which the values of certain textural features are relatively constant [1]. Depending on the features used in image texture regions, segmentation methods based on area analysis can be divided into statistical, structural, fractal, spectral, and combined methods. Automated processing of aerospace information allows us to effectively solve scientific and applied problems in the field of cartography, natural environment research, Oceanology, search and development of minerals, agriculture and forestry, and many other areas [2]. Currently, automation of processing of aerospace information, in particular images of the earth's surface, remains an urgent task.

**Keywords:** image processing, textural features, clustering, R/S analysis, orthogonal transformations, machine learning, neural networks.

## INTRODUCTION

Textures have a variety of uses and analysis of many types of images. They are directly present in all satellite images, microscopic images of cell cultures, tissue preparations and biomedical research, etc. [3,4,5]. The main criteria for the quality of features for solving a wide range of problems related to recognition, including visual images, are the separating properties of features, as well as the complexity of obtaining them. It also

---

\* This research was partially supported by Committee of Science in Education and Science Ministry of the Republic of Kazakhstan (Grants No. AP05132349).

takes into account the importance of finding the area of the desired object as quickly as possible. This is only possible when classifying a large number of elements when processing each image.

In this case, the main way to extract information is to decrypt images, which are the main carrier of information about the area. Aerospace images are a combination. To solve these problems, we use textural features, clustering, R/S analysis, orthogonal transformations, and wavelet analysis. Much attention was paid to the development of software tools that allow you to select features that describe textural differences in order to segment textural areas into subdomains. In other words, the question of the applicability of sets of textural features and other parameters for the analysis of experimental data in order to identify characteristic areas on microscopic images is being investigated. We also consider a systematic description and analysis of the application of existing methods of segmentation of texture areas in microscopic images, and determine the advantages and disadvantages of existing methods and problems encountered in segmentation of texture areas of images.

Technology has really revolutionized the idea of artificial intelligence. Later it became the basis for the following methods: R-CNN, Fast-RCNN, Faster-RCNN, RetinaNet. Among them are high - precision, fast methods-SSD and YOLO [6].

The basis of all architectures for video surveillance is analysis, the first phase of which will be image (object) recognition. Then artificial intelligence uses machine learning to recognize actions and classify them. In order to recognize an image, the neural network must first be trained on data.

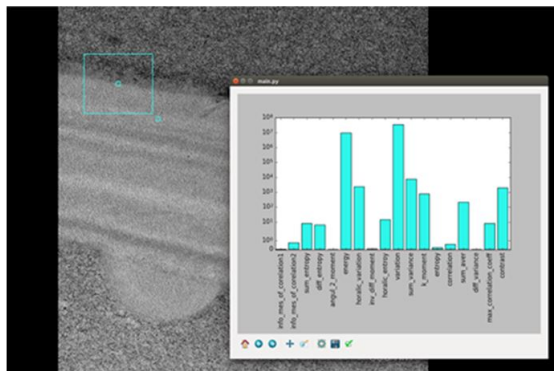
## Methods for analyzing texture features

Recently, more and more works have appeared on the analysis of textures of color images and dynamic textures. When analyzing the textures of color images, additional features are introduced to describe them based on measuring the intensity levels of each color and their distribution over the image field. When analyzing dynamic textures that change over time, a time factor is introduced, which is a third dimension added to two spatial coordinates. All changes in the texture in this case are modeled by moving individual unchanged parts (shift, rotation). The current state of the problem of texture analysis is characterized by a variety of proposed methods, which is explained by both the wide range of texture objects under consideration and the different nature of the problems being solved.

Texture is one of the most important characteristics that can be used to identify properties or areas of interest [5] of an image based on spatial dependences of halftones. Despite the ubiquitous presence of textures in images, there is currently no uniform and formal approach to describing texture and its strict definition. Texture analysis techniques are usually developed for each individual case (Fig. 1).

However, despite the absence of a formal approach and a strict definition of texture, three approaches can be distinguished when formulating the definition [4]:

- Statistical approach: texture is a quantitative characteristic of the distribution of intensity values in the image area;



**Figure 1.** The values of texture features in the form of a diagram

- Structural approach: a texture is a set of simple texture primitives texels, arranged in some regular or repeating order;

- Fractal approach: description of a wide class of processes and phenomena, such as processes of limited diffuse aggregation, formation of viscous fingers in porous media, turbulence, diffusion processes called percolation, as well as description of natural objects such as clouds, the earth's surface and many others, in terms of fractal geometry defined a new direction in research - the analysis of fractals. With this approach, the authors do not call the object a texture, but call it a fractal [9]. Many authors note that most natural surfaces are spatially isotropic fractals and that two-dimensional intensity fields from such surfaces are also fractals.

- Spectral approach: Fourier and wavelet analysis is used to work with the texture of the image at various scales. This paper deals with wavelet analysis. In the case of wavelet analysis, the signal is decomposed into basic functions (wavelets), which are built on the basis of the generating wavelet using the shift and scaling operations. For the original image, a convolution with a basis function (filter) is built, then the difference between the received and the original signal is calculated and the second projection of this difference is constructed, and each basis function is a shift of the previous one, stretched a certain number of times.

In fact, the best definition of "texture" is achieved by synthesizing the approaches described above. A texture should be considered a structure that is a spatial organization (higher level) of base primitives that themselves have a random aspect (lower level).

Textures can be divided into several classes as follows:

1. by origin: artificial - for example, graphic patterns, and natural - grass, forest, land;
2. by surface structure: structural, consisting of geometrically regular repeating elements, and stochastic, formed by a sequence of random elements; by the relative sizes of texture elements: fine-grained and coarse-grained;
3. by the shape of the texture elements: wavy, spotted, irregular, ruled and so on [4].



From the above definitions and characteristics, it follows that a texture is a certain area of an image, one that has homogeneous statistical characteristics. This means that each texture of a given class can be described using a characteristic property common to all textures of this class [4].

As such signs, statistical characteristics of spatial distributions can be used, calculated as measures of homogeneity from a one-dimensional histogram of signal values (characteristics of the first order) and from two-dimensional histograms of signal values (characteristics of the second order).

The second class is signs that take into account the relative position. For the formation of texture features that take into account the relative position of pixels within the sliding window, an approach is used based on the use of an adjacency matrix (another name is a gradient distribution matrix [3]).

In the work under consideration, gray (grayscale) images are considered. Thus, the image is specified in the form of a matrix, the values of which are pixel brightness values in the range from 0 to 255.

**The standard approach** for calculating texture features is as follows. It is necessary to select the so-called running window with an odd side: 3, 5, 7 pixels. The feature is calculated inside the running window. The size of a local fragment is a carrier of texture properties. The characteristic value is written into a new matrix of the same size as the original one. In the new matrix, the value is written to a point with coordinates equal to the coordinates of the center of the running window. The elements of the new matrix are obtained in some interval  $[A, B]$ . Further, usually this interval is linearly mapped into the segment  $[0, 255]$ . After that, it is possible to visualize the result of calculating the texture feature.

In the course of the work, the experimenters showed that the standard approach in our case is not very informative. Therefore, it was decided to use a non-standard approach. Namely, texture windows are calculated over large windows (including non-square ones), which the user can specify by selecting an area that may be of interest to him. That is, we are talking about the calculation of numerical characteristics related to vast areas, including various kinds of artifacts.

In our work, we examined the 18 most important texture features, all of which are implemented in the program. Below are some of them.

## Clustering algorithms

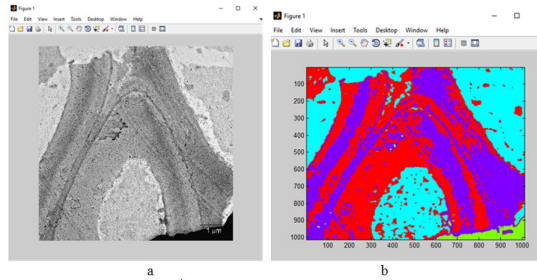
The purpose of the program is to carry out computer experiments and accumulate quantitative data (for example, the values of texture features) for images of cell walls processed at different temperatures. At the input, the program accepts an image in any of the standard formats (bmp, jpeg, tiff, png).

In the problem under consideration, the problem of image clustering is solved, that is, the division of the pixels of the original image into groups, called clusters. Each cluster is composed of pixels with "similar" texture characteristics, while different clusters have different textures characteristic of them.

**Table 1.** Examples of texture features

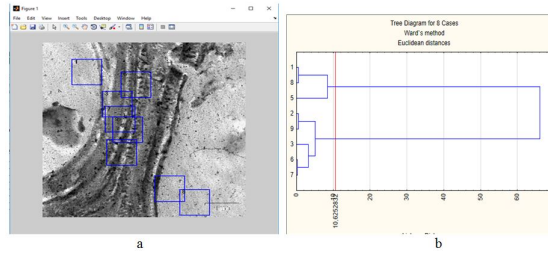
Features based on statistical characteristics	Features that take into account the relative position
k-th initial moment $T_1^k = n^{-2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [f(i, j)]^k$ Entropy $T_2 = - \sum_{g=0}^{N-1} F(g) \log_{10} F(g)$ Energy $T_3 = \sum_{k=0}^{N-1} [F(g)]^2$ Variation $T_4 = - \sum_{g=0}^{N-1} (g - \mu)^2 F(g)$	Energy $T_6 = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [p(i, j)]^2$ Homogeneity $T_8 = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p(i, j) / (1 +  i - j )$ Dispersion $T_{12} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i - m)^2 (p(i, j) / M)$ Total entropy $T_{16} = \sum_{n=2}^{2^N} p_+(n) \log p_+(n)$

Below are the results of clustering the standard approach by 18 features. We used the Euclidean metric and the method of nearest neighbors (k-means). (Fig.2)

**Figure 2.** (a) Original image; (b) Segmentation result

The task of cluster analysis is the selection of groups in a given (training) set of elements. Clusters should be compact, i.e. the distance between different clusters should be significantly greater than the average distance between points within the same cluster. One of the clustering possibilities is to choose the next center at random. Another possibility is to suggest taking a so-called typical point as the next center, namely, a point lying at a minimum distance from the center of the remaining set of objects. Then the procedure is repeated for the remaining elements. The advantage of these methods is the simplicity of the computational procedure and algorithms.

In a non-standard method, after conducting research on texture features, 5 texture features were used, with a window of 400x300 pixels. In this approach, we used the agglomerative method and k-means (Fig. 3), which were used for segmentation by regions. As a result, the features distinguish well homogeneous areas in the images and these features are informative for the selection of a homogeneous area.



**Figure 3.** (a) Analyzed areas in the original image; (b) hierarchical clustering

The main question when choosing features is to determine which and how many features need to be selected for reliable segmentation of texture regions with similar color and texture values in the image. It is known that an excessive increase in the original system of features does not bring a positive effect due to the fact that the degree of representativeness of a sample of the same volume is inversely proportional to the dimension of the feature space [11]. The most important requirements for the features used to solve the problem of segmentation of image areas can be formulated as follows [11,12]:

1. The sign must be informative, i.e. contain information that is essential for this image in the context of the problem being solved, and facilitate accurate segmentation of objects.
2. The feature must allow processing by the image segmentation algorithm, i.e. be in a format suitable for the selected segmentation algorithm.
3. The feature should allow building an image model.
4. The feature should be included in the minimum set of features (or image model) that reflects the specifics of the segmented object in the context of the task.

The time complexity of calculating a feature should not exceed the benefits of using it to solve this problem. Thus, solving the problem of constructing the minimum set of the most informative features is one of the main factors in the development of algorithms and information technology for segmentation of texture image regions.

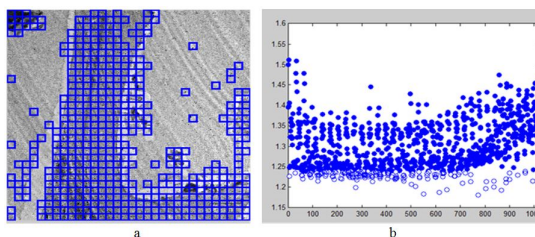
## R/S analysis for images

The R/S analysis method is a statistical method for analyzing time series or numerical sequences (mainly financial), allowing to determine some of their important characteristics, such as the presence of non-periodic cycles, "memory" in the process, the degree of chaos, etc. [10]. The method is also applicable to image analysis, since one can consider a sequence of values of the brightness function along some straight or curved line. Interestingly, the method is used in chemistry to analyze micrographs (for example, lignin), and the method has shown a certain efficiency.

An important characteristic calculated by the R/S analysis method is the Hurst exponent, usually denoted, which characterizes the degree of chaos in the process. This indicator allows you to calculate the fractal dimension and is, thus, a tool for

fractal geometry [10]. To calculate the fractal dimension in the process of experimental research, the following technologies were used: the method of covering the surface with a mesh, the method of designing surface coatings, R/S analysis.

The method is software implemented in the MatLab environment and image analysis is performed. The images are programmatically divided into separate sections. If each area of the image belongs to a scaling area, then this will allow us to reveal, from the point of view of assessing the fractal dimension of neighboring areas, smaller electron-dense (black) formations, which, most likely, are remnants of the intracellular contents of a lipid or protein nature (fractional research method). In this case, the fractal dimension of the plots of micrographs will lie in the normal range, and the fractal dimension of the areas with lignified layers will be below the normal boundary (Fig. 4).



**Figure 4.** (a) Selection of the area of study in micrographs; (b) Hurst calculation result

## Deep learning

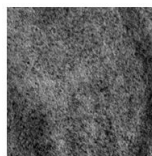
The main criteria for the quality of features for solving a wide range of tasks related to recognition, including visual images, are the separating properties of features, as well as the complexity of their obtaining. It also takes into account the importance of finding the area of the desired object as quickly as possible. This is possible only when classifying a large number of elements in the processing of each image.

Neural networks are a universal tool for approximating functions, which allows them to be used in the classification problem. Neural networks can be considered as modern computing systems that transform information in the image of processes occurring in the human brain. The processed information is numerical in nature, which makes it possible to use a neural network as a model of an object with completely unknown characteristics [7,8,9]. Convolutional NS has a special architecture that allows it to recognize images as efficiently as possible. The very idea of CNA is based on alternating convolutional and subdiscretizing layers (pooling), and the structure is unidirectional. The CNA gets its name from the convolution operation, which assumes that each image fragment will be multiplied by the convolution core piecemeal, while the resulting result must be summed and written to a similar position of the output image. This architecture provides

recognition invariance relative to the object shift, gradually enlarging the "window" that the convolution "looks at revealing larger and larger structures and patterns in the image.

Deep learning has made great strides in solving problems that, for many years, could not find a good enough solution by the artificial intelligence community. It has proven that it is a convenient tool for discovering complex structures in multidimensional data and therefore applicable to many areas of science. In addition to achieving better results in pattern recognition and speech recognition, it is also used in predicting the activity of potential molecules in drugs, analyzing data in a particle accelerator, predicting the effects of mutations in non-encoded DNA during gene expression and disease, etc.

Software was developed that allows to select fragments (samples) of 64x64 pixels in a photograph (Fig. 5).



**Figure 5.** Fragment of a micrograph, size  $64 \times 64$

## Conclusion

The work is devoted to the study of texture images, texture segmentation, R/S analysis and machine learning. Basically, we are talking about calculating various types of texture features and other characteristics of images. A large set of methods for studying textures was analyzed, the most informative ones were selected from the considered methods. As a result, the following software tools were implemented:

1. Program for calculating various texture features.
2. Cluster analysis software in standard and non-standard versions. The first standard method used 18 texture features with a running window of 9x9 pixels. In the second non-standard method, after conducting research on texture features, 5 texture features with a window of 400x300 pixels were used.
3. Prototypes of programs using R / S analysis. Experiments have shown interesting results that are useful in practice. The background and the cell wall are clearly separated from each other in the micrograph.
4. A program that implements a convolutional neural network, where it allows you to highlight the contours of the cell walls. The learning algorithms use vectors containing sets of texture features (18 in total) and models working with fragments (samples) of 64x64 pixels. During learning, data augmentation was used: reflections along the vertical and horizontal axes, transposition, rotations, brightness fluctuations and random Gaussian noise.

Many computational experiments were carried out for the comparative analysis and evaluation of the results of the classifiers.

## References

1. Vorobiev V.I., Gribunin V.G. Theory and Practice of Wavelet Transform. – St. Petersburg: Publishing house of the Military Communication University, 1999. – 192 p. (In Russian).
2. Shovengerdt R.A. Remote sensing. Models and methods of image processing /R. A. Shovengerdt. - M: Technosphere, 2010.- 560 p.
3. Kolodnikova N.V. Survey of texture attributes for image recognition problems // Reports of TUSUR. Automated Systems for Information Processing, Control and Design. – 2004. – pp.117–118 (In Russian).
4. Andreev G.A, Bazarsky O.V., Glauberman A.S., Kolesnikov A.I., Korzhik Yu.V., Khlyavich Ya.L. Analysis and synthesis of random spatial textures // Foreign Radioelectronics. – 1984. – No.2. - pp. 3–33 (In Russian).
5. Haralik R.M. Statistical and structural approaches to the description of textures // Proc. of IEEE. – 1979. – Vol. 67., No. 5. – pp. 98–119.
6. Smola A., Vishwanathan S.V.N. Introduction to machine learning. Cambridge Univ. Press 2008. – pp.150-151.
7. Cortes C., Vapnik V.N. Support-vector networks // Machine Learning. – 1995. No. 20 (3). – pp. 273–297.
8. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. – 2001. Vol. 45, No. 1. – pp. 5–32
9. Fisenko V.T. Fractal methods of segmentation of texture images // Instrumentation. - 2013. - T. 56, No. 5. - pp. 63-70.
10. Korolenko P.V., Maganova M.S., Mesnyankin A.V. Innovative methods for the analysis of stochastic processes and structures in optics. Fractal and multifractal methods, wavelet transforms: a tutorial. – M., 2004. – 82 p.
11. Plastinin A.I. A method of forming features of texture images based on Markov models: author. Cand. tech. Sciences: 05.13.17. - Samara, 2012. – 16 p.
12. Min I.V. Image segmentation based on the allocation of texture and color features // Modern equipment and technologies: mater. XIX int. scientific-practical conf. - Tomsk: TPU, 2012. – pp. 290-292.

# The Impact of the Pandemic on the Digital Transformation of Universities

Raissa Uskenbayeva<sup>1</sup>[0000–0002–8499–2101],  
Yedilkhan Amirgaliyev<sup>2</sup>[0000–0002–6528–0619], and  
Kaiyrzhan Kozhaly<sup>1</sup>[0000–0002–7454–2043]

<sup>1</sup> International Information Technology University, Kazakhstan, Almaty, kozhaly@iitu.kz

<sup>2</sup> The Institute of Information and Computational Technologies, Kazakhstan, Almaty

**Abstract** The paper considers new requirements for the digital transformation of universities during a pandemic. The existing approaches to digitalization of universities have shown their insufficient vitality and functionality. The experience of building IT architectures and applying modern educational technologies of leading universities is analyzed. The best modern technologies for digitalization of educational processes are determined. Expansions of the functionality of digital platforms are proposed to ensure the operation of universities in pandemic period.

**Keywords:** Digital transformation, Higher education, Digital university, IT-architecture, Digital footprint, Learning analytics, COVID-19.

## Introduction

As a result of the COVID-19 pandemic, the world has changed, and the processes of organizing learning in the higher education sector have changed dramatically [1]. A state of emergency was declared in Kazakhstan [2]. In restrictive time frames, Kazakhstani universities had to provide high-quality solutions aimed at supporting online learning, methodological support, software, network infrastructure, and most importantly, they had to ensure the readiness of students and teachers for the new format of education [3]. Many universities around the world have experienced similar problems. IT managers of higher education institutions, who were in a non-established manner forced to set up software for student communication, solve current service problems and provide advice on connecting to video conferences, experienced particularly heavy workload [4]. The pandemic caused a crisis in the global economy [5], and for further successful competition in the online space, universities must adopt modern UX design of courses and content, as well as predictive analytics platforms. The use of IT architectures, with carefully designed and implemented aspects of storing and processing digital traces, managing analytics and the availability of flexible integration with internal and external micro-services, is relevant. Today, universities in Kazakhstan are only partially utilizing the full range of new technologies available for the educational processes. In part, this is caused by ineffective implementation methodologies, but in most cases, by the lack of the required infrastructure and the IT architecture characteristics. This work's objective is an analysis of the IT architectures of the world's leading universities designed to

ensure a successful digital transformation during a pandemic and a global crisis. The strongest readiness to operate during a pandemic was demonstrated by universities that began digital transformation long before the pandemic, since the core philosophy of digital transformation involves the transition to the active use of online services in the educational processes of higher institutions and the presence of an appropriate IT architecture. In Kazakhstan, the International University of Information Technologies was one of the first such universities [6]. At the moment, it is of critical importance to prepare universities for the next academic years, since experts predict an extremely severe world economic crisis [7]. The relevance of this study is contingent on the lack of information on the factors affecting the digital transformation of universities in the context of a pandemic and a new economic crisis. The work examines the experience of the world's leading universities in building IT architectures focused on quality support for online processes. It explores the issues in introduction of new educational technologies to ensure the digital transformation of higher education institutions with the maximum efficiency in the coming years of the world economy's stagnation.

## **Literature review**

The pandemic is forcing higher education institutions to accelerate the transition to the use of online services to support educational processes at full capacity [8]. At the same time, the oncoming crisis is forcing the universities to reduce the budgets allocated to IT. To analyze the priorities of universities in given situation, the researcher of the Educause Association, Susan Grajek, conducted a survey of 155 higher education institutions in April 2020 [9]. According to Grajek's research, most educational institutions redistribute IT budgets, reduce expenditure items as much as possible, but at the same time increase the priority to support educational services, distance learning systems and cloud services. According to this survey, in order to prepare for operation during the pandemic and the global crisis, IT managers should arrange for digital university platforms with a focus on high-quality support for online services: Learning management system (LMS), Online program management (OPM) and cloud services.

## **Recommendations for the new academic year**

A group of researchers from McKinsey Heitz, Laboissiere, Sanghvi and Sarakatsannis, suggests that educational institutions consider 5 aspects that should be prioritized in order to better prepare for the continuation of universities' operation during a pandemic [10]: 1. Access to the Internet and online services, availability of equipment in the form of laptops. 2. Informational, psychological and medical support for teachers and students on COVID-19 prevention measures. 3. Maintaining the habits of students' regular everyday life, offering virtual activities and social events on campuses in return. 4. Support educational and mentoring initiatives on the effective use of software tools for remote work. 5. Investment in cyber security due to the increased use of cloud and network technologies.



### **Drivers of digital transformation**

Experts predict that the pandemic will cause a new leap in the development of remote education and accelerate digital transformation processes at universities [11]. One of the drivers of digital transformation is the need to build an educational environment focused on the transfer of future expertise to students [12]. According to Microsoft's concept, digital transformation will consist of changing business processes in the following areas of the university's activities: The principles and policies of management of the university will change; Teaching will become more computerized, and communication with students more complex; There will be an intelligent environment focused on lean manufacturing and increased security; Technologies of interaction, publishing, content consumption and data analysis will change. This work will further consider aspects of the technological concept for the transformation of education, which is also called "Digital Transformation of Higher Education". Digital transformation of higher education, as defined by Microsoft, covers 4 blocks of changes [12]: IT architecture, platform for collaborative learning, data analysis, equipment for education.

### **IT architectures design methodologies**

It will also consider the concept of IT architecture, the correct design and creation of which is a first priority task of digital transformation. The Gartner Institute defines IT Architecture as a structured statement of principles, recommendations and rules used by the enterprise to manage the process of creation, changing and interaction with information systems and components throughout the enterprise, including equipment, software, communications, methods of designing, modeling and describing organizational structures [13]. There are several methodologies for designing and describing IT architectures, such as Zachman Framework, EAP, EAS, BEAM, TOGAF ADM, GEAF [X]. The TOGAF methodology allows for designing an optimal IT architecture with account for the strategic goals and needs of the enterprise [14,15]. The key advantage of the TOGAF design methodology is the presence of clear regulations and approaches for the design of IT architectures, which have proven themselves in practice and are recommended by members of the TOGAF association as a guide to action [16].

A universal model of the IT architecture of a university operating before the pandemic is shown in Fig. 5.. As can be observed from the figure, the main goal of the IT architecture is to ensure sustainability, flexibility and scalability without the use of enterprise service buses, analytic platforms and cloud services.

Systematic development of a new IT architecture is the process of structuring complex solutions that are suitable in terms of technical requirements and all operational processes [17]. At the same time, it is primarily necessary to determine what modern technologies will be used in the near future for universities in the frame of digital transformation.

### **Disruptive educational technologies**

The authors of the annual Educause Horizon Report highlighted technologies and challenges for universities that will influence education in the next ten years, which will

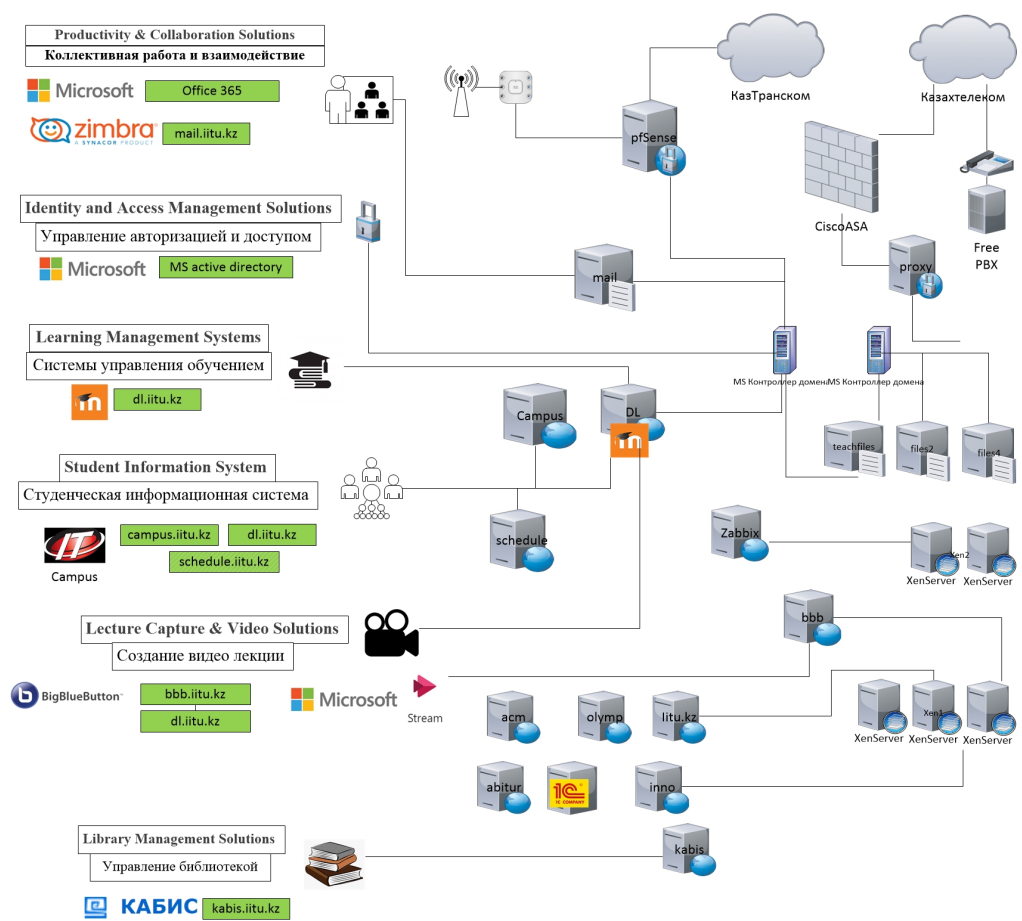


Figure 1. A model of IT architecture of a university (on the example of IITU).

provide a technological breakthrough for universities of innovators [18]: **1.Adaptive Learning.** Researchers distinguish adaptive learning from personalized learning. The former includes digital services and applications that a student can choose for themselves. Personalized learning is more of a teaching and learning practice that allows you to more accurately tailor the course to the individual needs of students. Thus, adaptive learning is one of the forms of personalized learning that adaptive technologies provide. British Columbia University in Vancouver has developed its adaptive learning platform called Alchemy. The platform allows to effectively provide the student with the entire set of modern learning principles: personalized courses, flexible and scalable active learning. At the same time, according to research by Tyton Partners and the Babson Survey Research Group, the implementation of adaptive learning is costly for universities and requires significant financial investments [19]. **2.Application of artificial intelligence and machine learning (AI /ML).** AI and ML technologies are already actively used by many universities. AI-based chat bots integrated into LMS systems are being actively created. The greatest potential for the use of artificial intelligence technologies manifests itself in the development of systems for predicting student performance. In many ways, the use of these technologies saves time and money for servicing the student body, in addition to the importance of collecting digital traces for the subsequent analysis of student behavior and progress. However, the requirements for computing power significantly increase the cost of AI development [18]. **3. Educational Data Mining and Learning Analytics.** Methods of data mining for decision-making in education also related is Analytics for Student Success (analysis of student behavior and performance data). The introduction of platforms and processes for analyzing the behavior and performance of the student body is directly related to the priorities of the digital transformation of universities [18]. Social networks, LMS systems, online interaction between teachers and students, chatbots, wearable Internet of Things (IoT) devices, digital sensors and campus video cameras, test results and many other systems and digital environments of today generate terabytes of data that can be useful for setting priorities, making decisions and developing improvements in the teaching and administrative processes of the university. An interesting project is being implemented in South Africa, bringing together five universities to conduct a single collection and processing of non-personalized student data. The project is estimated at 2.9 million US dollars and funded by a private The Kresge Foundation, which supports social projects [20]. The University of Berkeley and the University of California Irvine have developed and are using their own analytics system tools for advisers: Berkeley Online Advising and COMPASS [21]. **4.UX design of educational content and course interfaces (User Experience Design for Learning (UXDL)).** The consequence of the increasing transition to online educational services is the increased requirements for the design and functionality of the interfaces of training courses and materials [21,23]. Many leading universities share their experience in the field of teaching materials design: University of Waterloo within the framework of “The UXDL Honeycomb” project, Griffith University - “The ExLNT platform” project, Duke University - “Duke Kits” project , Carnegie Mellon University - “The Simon Initiative” project [18]. **5.Open educational resources (OER).** The best example of OER today is the initiative of the world’s leading technical universities, whereby they published their

core training materials and courses for free viewing on edx.org. The use and adaptation of the recommended free courses to improve teaching materials in universities, among the described transformation technologies, is the most economically beneficial in the context of the global crisis [24]. **6. Technologies of augmented and virtual reality (XR, AR, VR).** The term XR is defined as Extended Reality and includes AR (augmented reality) and VR (virtual reality) [X] technologies. Due to the high cost of development and the lack of significant spread of technology, XR technology is the most expensive to implement in universities [25].

## Objectives and methods of the research

The objective of this study is analysis of the IT architectures and systems of Kazakhstani and international universities, as well as search for factors affecting the digital transformation of universities during a pandemic and economic crisis. Among the challenges of empirical analysis are identifying the best practices for the development and application of modern information and educational technologies, determining the most effective educational technologies in the context of the global crisis, as well as planning organizational structures and business processes aimed at supporting educational processes in the design of IT architecture. Active digitalization of university processes is the only correct strategy for the survival of higher education institutions in the new economic conditions [26]. The best way to successfully carry out digital transformation is to improve and expand educational materials through the use of open educational resources and the introduction of processes that facilitate the UX design of online courses and digital content. The impact of the COVID-19 pandemic and the new global crisis on the digital transformation of universities will be drastic [8]. In this regard, it should be assumed that the IT architecture of the university should be revised and brought into line with the new operating conditions during the forced transition of educational enterprises to a fully online experiences, as well as social distancing aimed at the prevention of the spread of the virus. The impact of modern educational technologies on changes in IT architecture is also the subject of this study. Based on the results of the research, an IT architecture able to respond to the declining trends of the global economy and at the same time contribute to the successful continuation of the digital transformation of universities is presented. The research methodology is an empirical analysis of building IT architectures, processing and managing big data, digital transformation, and the use of artificial intelligence and machine learning technologies. The study examined the experience of international universities, public websites, analytical reports and articles on specific topics. The method of collecting information is a comparative and typological analysis of public domain data. The main subject of the study was determined to be the relationship between the design of IT architecture and the priorities of digital transformation in the context of a pandemic and economic crisis.

## Results of the research

New technologies that could be applied in higher education during digital transformation define special requirements for the design of IT architecture [26]. The IT architecture of a modern university in the new economic conditions will change [11]. In addition to traditional requirements for flexibility, scalability, stability and security, modern educational technologies and the pandemic introduce new requirements for the availability of enterprise service buses for integration with internal and external systems, platforms and micro-services; focus on supporting the work of platforms for progressive and predictive analytics, including significant expansion of corporate data warehouses; new computing power for artificial intelligence; as well as amplification of telecommunications resources to manage cloud services.

### Analysis of leading universities IT Architectures

For the analysis of the best international practices in building IT architectures, three leading universities in the field of computer science according to index of Global QS rating were selected: Massachusetts Institute of Technology, Stanford University and the University of California Berkeley (see Fig. 2). As can be observed from the table, all three universities use analytical platforms from leading manufacturers such as Tableau and Oracle Business Intelligence.

For the analysis of domestic practices in building IT architectures, ten universities were selected. In the course of the analysis, the information presented on the websites of universities was considered. IT architectures were considered in the context of information systems that ensure the work of educational and administrative processes of the university. Each information system was scored from 1 to 4, with 4 representing the highest system maturity score (see Tables. 1, 2).

Based on the results of the assessments, a rating of the IT architectures maturity of universities was compiled (see Table. 3). The highest score was awarded to Nazarbayev University.

### Choice of modern educational technologies in the context of the economic crisis

The study of modern educational technologies shows that use and adaptation of materials available on freely accessible educational resources, as well as the use of modern techniques and tools of UX design of online courses and educational content are the most optimal in terms of costs and risks of implementation in universities during a period of struggling economy and a large-scale transition of processes to online platforms. Focusing on the use of these technologies will primarily enable universities to continue digital transformation projects and ensure their sustainable development during an economic crisis (see Fig. 3). In the course of the study, an extended model of IT architecture was developed, which is able to ensure the competitiveness of a university in the course of digital transformation during a pandemic and global crisis (see Fig. 4). The differences are manifested in the introduction of an enterprise service bus and corporate analytic platforms, and use of cloud services.

	MIT University	Stanford University	CU Berkeley
<b>Learning Analytics</b>	Tableau Platform Cognus Report Qualtrics Survey	Oracle Business Intelligence Enterprise Edition (OBIEE) Google Forms Qualtrics Survey	Cal Viz: Tableau Enterprise Server Cal Answers Surveys & Online Forms Google Forms Qualtrics
<b>Collaboration</b>	Calendaring (MS Exchange) Boardeffect Online Meetings Email (MS Exchange) MS Office 365 Dropbox 10Tb/500Gb	G Suite Slack Enterprise Webex Zoom Jabber Build a Meeting Room Cardinal Print Digital Asset (Cumulus/SALLIE)	bCourses Projects Google Drive CalCentral Google Sites CalShare Box Gartner Campus Access Academic Innovation Studio
<b>Educational Technology</b>	Graduate Admission System Athena Computing Environment Athena Clusters Learning Tools Interoperability (LTI)	LabArchives Canvas LMS LMOD (the Learning Modules) Stellar Wikis Lockers	Shared Scientific Facilities Management Stanford Slack Grid Research Software Engineering Services Stanford Research Computing Center
<b>Software and Business App</b>	SAP ERP Docusign Mobile App Publishing	Data Warehouse Quick Base Google Drive	Xfinity Stream TV Dropbox Drupal Cloud
<b>Data and Servers Infrastructure</b>	Touchstone Authentication OpenID CyberSource LDAP Directory	Kerberos MIT Certificates Prisma Access Citrix Service	APIs Amazon Web Services (AWS) MITnet MITSIS

Figure 2. Systems in IT architectures of the world’s leading universities.

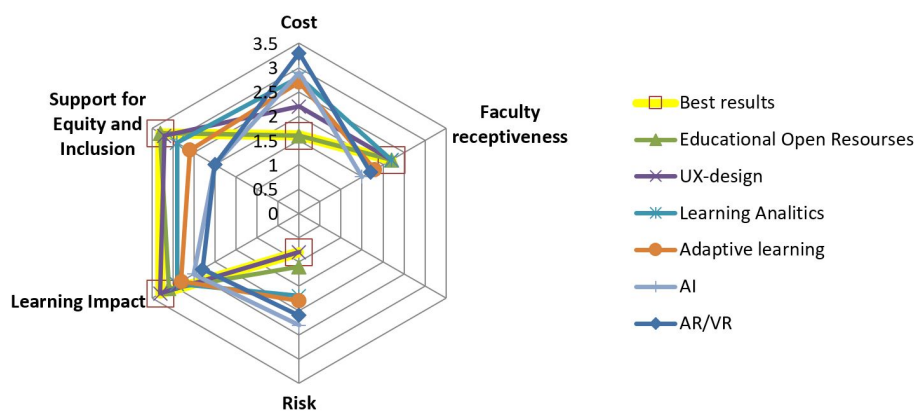


Figure 3. Comparative characteristics of the use of modern educational technologies during a digital transformation of the university.

**Table 1.** IT Architectures of domestic universities. First part

IT systems	KazNU	KazNTU	ENU	IITU	KBTU
Enterprise Content Management (ECM)	2	1	1	2	1
Business Process Management	3	2	1	1	1
Enterprise Resource Planning (ERP) Solutions	4	3	3	3	3
Enterprise Data Warehouse	4	3	2	3	2
Enterprise Service Bus	4	3	2	1	1
Business Intellegense Management	4	3	3	3	2
Workflow Management	3	3	3	2	2
Productivity and Collaboration	3	3	3	3	3
Educational Open Resources	3	2	2	2	2
UX-design Management	2	1	1	2	2
Learning Analitics	4	3	2	3	2
Adaptive learning	3	2	2	3	4
AI Assintans and Robots	2	1	1	2	2
AR/VR simulators	2	1	1	1	3
Student Mobile Application	4	3	3	2	3
Constituent Relationship Management (CRM)	3	2	2	2	2
Recruitment Management	2	1	1	1	1
Alumni Management	2	1	1	1	1
Curriculumm Management Solutions	3	3	2	3	4
Advising Solutions	2	1	2	2	2
Course Evaluation Solutions	3	3	1	2	2
Assessment Management Solutions	4	3	2	3	3
Competemcy-Based Education Solutions	2	1	1	2	2
Tutoring Management	2	1	1	1	1
Student Lifecycle Management Solutions	3	2	2	2	2
Career Readiness Solutions	2	1	1	1	1
e-Portfolio Solutions	4	2	2	3	3
Total	79	55	48	56	57

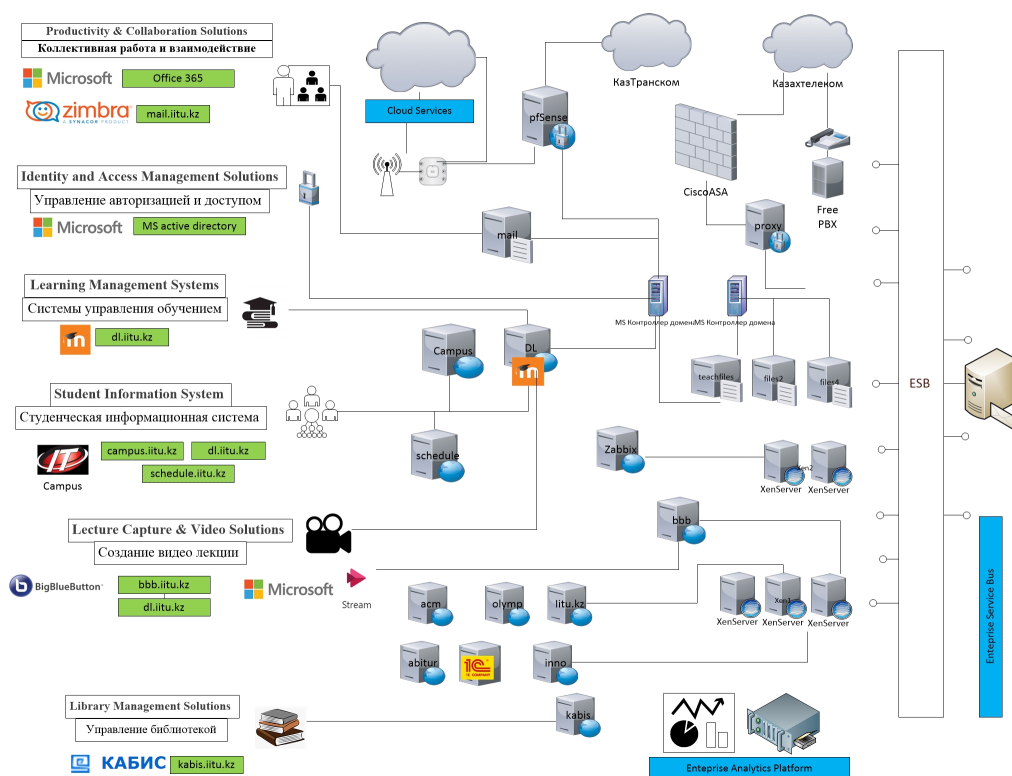
**Table 2.** IT Architectures of domestic universities. Second part

IT systems	Narxoz	KIMEP	SDU	AlmaU	KSU	NU	SKSU
Enterprise Content Management (ECM)	2	2	2	1	1	3	1
Business Process Management	1	1	1	1	1	2	1
Enterprise Resource Planning (ERP) Solutions	4	4	4	4	2	4	2
Enterprise Data Warehouse	2	3	2	2	2	3	3
Enterprise Service Bus	2	2	2	1	1	2	2
Business Intellegense Management	3	4	3	3	2	3	4
Workflow Management	2	3	2	2	2	3	3
Productivity and Collaboration	3	4	4	3	3	4	3
Educational Open Resources	2	2	2	1	1	3	3
UX-design Management	1	3	3	2	1	4	2
Learning Analitics	2	3	3	3	2	3	3
Adaptive learning	3	4	4	3	2	4	3
AI Assintans and Robots	1	1	2	1	1	2	2
AR/VR simulators	1	1	2	1	1	3	1
Student Mobile Application	4	4	4	3	4	4	4
Constituent Relationship Management (CRM)	3	2	3	2	2	3	3
Recruitment Management	2	2	2	1	1	2	2
Alumni Management	1	2	2	2	2	3	2
Curriculumm Management Solutions	3	4	4	3	3	4	4
Advising Solutions	1	2	2	1	1	2	1
Course Evaluation Solutions	1	2	2	1	1	2	1
Assessment Management Solutions	3	4	4	3	3	4	3
Competemcy-Based Education Solutions	1	2	2	1	1	3	2
Tutoring Management	1	2	2	1	1	2	1
Student Lifecycle Management Solutions	2	2	2	2	2	2	2
Career Readiness Solutions	1	2	2	1	1	2	1
e-Portfolio Solutions	2	4	3	3	2	4	3
Total	54	71	70	52	46	80	62

**Table 3.** Rating of IT Architecture maturity of domestic universities

Rate	Name of University	Score
1	Nazarbayev University	80
2	Kazakh National Univeristy	79
3	KIMEP University	71
4	Suleyman Demirel University	70
5	D. Serikbaev East Kazakhstan State Technical University	62
6	International Information Technology University	60
7	Kazakh-British Technical University	57
8	Kazakh National TechnivalUniveristy	55
9	L.N.Gumilyov Eurasian National University	48
10	BuketovKaragandy State University	46





**Figure 4.** Model of IT architecture of a university focused on deep integration and supporting data analysis and use of cloud services.

## Conclusion

The article considers the IT architecture of international leading and domestic universities. The analysis of the impact of the COVID-19 pandemic and the global economic crisis on the principles of building and planning the IT architecture of the university in the course of digital transformation is performed. In order to meet the requirements of the market and the stagnating economy, in the process of implementation of the university's IT architecture, priorities should be focused on ensuring security, introducing enterprise service buses, platforms for progressive and predictive analytics, expanding corporate data warehouses, planning for additional capacities for artificial intelligence and managing cloud services. The introduction of modern educational technologies based on the use of Open Educational Resources and improving the quality of UX design of courses and content will not only contribute to the sustainable development of universities, but will also allow to avoid slowing the pace of digital transformation, as well as save a significant part of the budget for supporting educational online processes. New research expanding the knowledge of education managers and scientists in the scope of more effective use of Open Educational Resources, approaches in the theory and practice of UX design of educational content and user interfaces, the introduction of progressive and predictive analytics platforms will contribute to a faster transition of universities to targeted digital transformation models. Furthermore, they will increase the competitiveness of universities in the new world order after the pandemic. As a result of the research, a universal model of the IT architecture of a university was developed. The results can be applied by digital transformation agents to develop new strategies for the development of universities in the context of the COVID-19 pandemic and the global economic crisis.

## References

1. Parker, S.: COVID19: How the coronavirus could transform higher education. KPMG Australia (2020)
2. President of the Republic of Kazakhstan: Decree on the introduction of a state of emergency in connection with the COVID-19 pandemic of March 15, 2020 (2020)
3. Minister of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Order of April 8, 2020 No. 135 (2020)
4. Sheehan, T.: COVID-19 in Higher Education: Responding to the Short- Term Challenge. Gartner Information Technology Research (2020)
5. Hong, P.: The pandemic crisis will worsen global inequality. Department of Economic and Social Affairs Economic Analysis United Nations (2020)
6. Arslanova N., Uskenbayeva R.: IITU- our university will be the first digital university in Kazakhstan. Profit <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/> (2020)
7. Ong, R.: World Bank Predicts Sharpest Decline of Remittances in Recent History. The World Bank (2020)
8. Altbach, P., Hans de Wit: Post pandemic outlook for HE is bleakest for the poorest. Center for International Higher Education, Boston College (2020)
9. Grajek, S.: COVID-19 Quick Poll Results: IT Budgets, 2020– 2021. EDUCAUSE (2020)

10. Heitz, Laboissiere, Sanghvi, Sarakatsannis: Getting the next phase of remote learning right in higher education, McKinsey (2020)
11. Tam, G., El-Azar, D.: 3 ways the coronavirus pandemic could reshape education. Minerva Project. World EconomicForum (2020)
12. Microsoft: Digital Transformation Playbook (2020)
13. Gartner: Enterprise Architecture (EA) Definition. Garther Glossary, <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/>
14. Zachman, J.: A Framework for Information Systems Architecture, IBM Systems Journal, vol. 26(3), 276-292 (1987)
15. Carrillo, J., Cabrera, A., Román, C., Abad, M., Jaramillo, D.: Roadmap for the implementation of an enterprise architecture framework oriented to institutions of higher education in Ecuador. In Software Technology and Engineering (ICSTE), 2010 2nd International Conference on (Vol. 2, pp. V2-7). IEEE (2010)
16. Arifin, I.: Design Of Architecture Enterprise Model Information System Academic And Student Administration Bureau Using Togaf Adm (2019)
17. Antonenko, P.: The instrumental value of conceptual frameworks in educational technology research. Educational Technology Research and Development 63.1, 53-71. (2015)
18. Brown, M., McCormack, M., Reeves, J., Brook, D. C., Grajek, S., Alexander, B., Gannon, K. Educause Horizon Report Teaching and Learning Edition (pp. 2-58). EDUCAUSE (2020)
19. Bradley, D.: Effective Online Learning for Adults: Ragan's Principles Applied. In Outcome-Based Strategies for Adult Learning (pp. 115-124). IGI Global (2019)
20. Oladipupo, O., Olugbara, O.: Evaluation of data analytics based clustering algorithms for knowledge mining in a student engagement data. Intelligent Data Analysis, 23(5), 1055-1071 (2019)
21. Downing, L.: The Case for Character Strengths In College Admissions Advising: The Way You Are is a Great Way to Be (2019).
22. Gray, C. M., Parsons, P., Toombs, A. L.: Building a holistic design identity through integrated studio education. In Educational Technology Beyond Content (pp. 43-55). Springer, Cham. (2020)
23. Grimaldi, P., Mallick, D., Waters, A., Baraniuk, R.: Do open educational resources improve student learning? Implications of the access hypothesis. PloS one, 14(3) (2019)
24. Jing, Y.: VR, AR, and Wearable Technologies in Education: An Introduction. In Handbook of Mobile Teaching and Learning. SpringerVerlag (2019)
25. Mohan, N.: Keynote: Beyond the Digital Revolution: Tertiary/Post- Secondary Education in the Age of Disruption. In SITE 2020–Society for Information Technology and Teacher Education International Conference. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE) (2020)
26. Lethbridge, T., Alghamdi, A.: Framework, model and tool use in higher education enterprise architecture: an international survey. In Proceedings of the 29th Annual International Conference on Computer Science and Software Engineering (pp.138-147) (2019)

# Spectral Measurements of Optic Fiber Using Tilted Fiber Bragg Gratings

Waldemar Wójcik<sup>1,2</sup>[0000–0002–6473–962],  
Piotr Kisala<sup>1,2</sup>[0000–0002–9985–5898],  
Aliya Kalizhanova<sup>1,3</sup>[0000–0002–5979–9756],  
Ainur Kozbakova<sup>1,3</sup>[0000–0002–5213–4882],  
Saltanat Amirgaliyeva<sup>1,4</sup>[0000–0001–5311–7227], and  
Zhalau Aitkulov<sup>1,3</sup>[0000–0002–5928–3258]

<sup>1</sup> Institute of information and computational technologies CS MES RK, Kazakhstan

<sup>2</sup> Lublin technical university, Poland

<sup>3</sup> Almaty university of energetics and communication, Kazakhstan

<sup>4</sup> International University of Information Technology  
kalizhanova\_aliya@mail.ru

**Abstract** The work herein presents possibilities of measuring the bending angle of the optic fiber by means of the tilted fiber Bragg grating (TFBG). Apart from that, there is shown, that one and the same TFBG element might be used for simultaneous measuring of tilt angle. There have been presented laboratory results of measuring those physical magnitudes by means of optical fibers, with tilted gratings, recorded on them. As well, there has been given the method, which allows the sensor system be independent on the temperature.

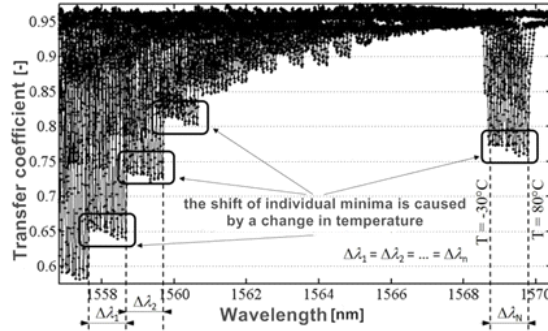
**Keywords:** photodetector, interrogation system, sensor, signal.

## Introduction.

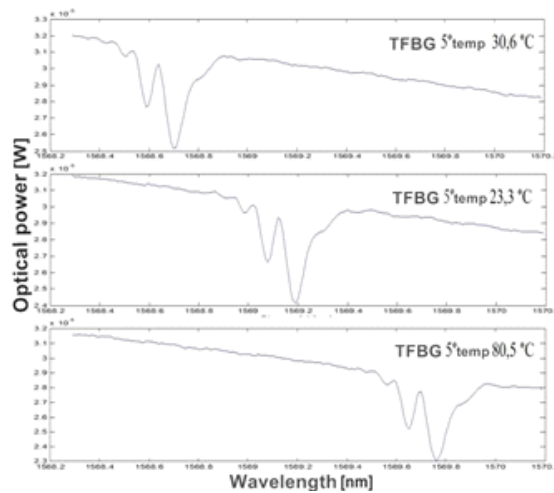
TFBG response to temperature change. In order to afford an opportunity to use one TFBG element for parallel measurement of bending angles and rotation, additionally making the total measuring system independent on the temperature, let's consider TFBG reaction at temperature changing, based on submitted results of laboratory measurements. TFBG, built on a single mode fiber SMF-28 with Bragg angle  $5^\circ$ , has been exposed to variable temperature effect in a climatic chamber. The temperature has been changed in the range from  $-30^\circ\text{C}$  to  $80^\circ\text{C}$  by means of measuring optical power of irradiation subsequent to passing through the structurer.

Spectral shifts of characteristic separate parts for all lengths of the waves  $\Delta\lambda_i$  (where  $i = 1, 2, \dots, n$ ) are identical according to spectral features. That property is more precisely represented in the Figure 1, which shows, that both the main offset of Bragg resonance (number of minimums on the right side of the figure between wave lengths from 1568 to 1570 Nm), and selected peaks, corresponding to cladding modes, have identical values. For measuring the temperature with a sensor, using TFBG elements, there should be used the property thereof, consisting in offset of spectral characteristics separate parts. Paradox is in the fact, that this peculiarity is also linked with the main

limitation, when the point of issue is the possibility of TFBG usage upon measuring physical magnitudes. Temperature effect causes TFBG spectral features change, which, if that effect is neglected, does not allow measure the change of positions of spectral characteristics separate parts by correct measurements of other physical magnitudes.



**Figure 1.** Offset of marked part of TFBG transmission characteristics, caused with temperature change from  $-30^{\circ}\text{C}$  to  $+80^{\circ}\text{C}$ .



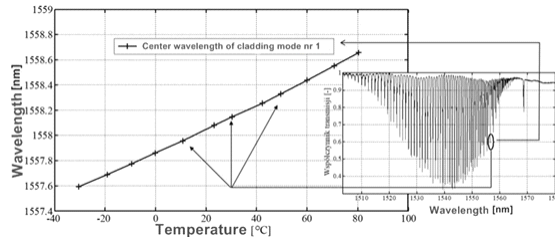
**Figure 2.** Offset of TFBG main Bragg resonance due to temperature changes .

Basic mode of TFBG has the biggest length of the wave, and corresponding peak at spectral characteristics is the narrowest. Main resonance wave length is characterized by the same temperature sensitivity ( $\sim 10\text{pm}/^{\circ}\text{C}$ ) as the standard direct Bragg

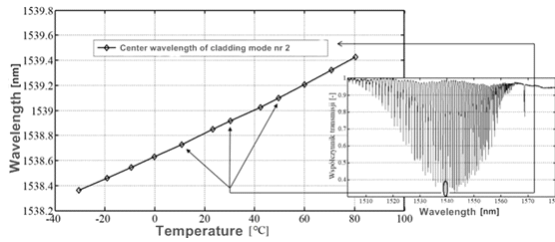
grating, as well, by the same sensitivity of fiber Bragg grating (FBG) to axial strain ( $\sim 1\text{pm}/\mu\epsilon$ )[2]. In the range being tested, that is for the temperatures from  $-30,5^\circ\text{C}$  to  $80,5^\circ\text{C}$ , sensitivity coefficient along the wave length of TFBG structure main mode to the temperature amounts to  $10\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ . Temperature dependence of Bragg resonance wave length is linear and it complies with theoretical sensitivity of FBG structure

Figure 3 describes wave length change characteristics upon temperature change in the range from  $-30,5^\circ\text{C}$  to  $80,5^\circ\text{C}$ , as well, the analysis of cladding modes spectral characteristics resonance. That mode is denoted herein as a cladding mode 1. Figure 4 shows similar outcomes, but for cladding modes of higher order, indicated in the work as a cladding mode 2. There are plenty of works, in which the authors denote cladding modes with sequence numbers. Out of dozens markings, the ones, offered in the works [3,5], are used most frequently, in which the modes are marked with two indices.

The first index means, whether the given mode is even-numbered or odd-numbered (designation: 0 - even-numbered, 1 - odd-numbered), while the second index means the sequential number of the given mode, even-numbered or odd-numbered, accordingly.



**Figure 3.** Wave length changes from temperature of cladding mode 1 (TFBG  $6^\circ$ ).



**Figure 4.** Changes in wavelength versus temperature for cladding mode 2 (TFBG  $6^\circ$ ).

Such wave length sensitivity, corresponding to minimum transmission for the given resonance, might be specified as:

$$K_T^{\lambda_{min}} = \frac{\Delta\lambda_{min}}{\Delta T} \quad (1)$$

where  $\Delta\lambda_{min}$  is change (realized as an offset) of minimal wave of the selected mode length, while  $\Delta T$  is change of temperature, causing such offset.

As angles of curves processing for selected modes are equal, we might right, that:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_n \quad (2)$$

As the equation (1) is observed, processing angle tangents, in this case, are also equal, therefore the sensitivity  $K_T^{\lambda_{min}}$  is the same for all cladding modes and core mode.

As all resonances of the main mode and cladding modes are characterized with identical temperature dependence, the peaks temperature offset along spectral characteristics might be compensated by measuring the relative shift of waves lengths (for instance, in respect to the peak, corresponding to the fundamental resonance). In further researches we use the property thereof, in order to do the sensor work on TFBG basis independent on temperature effects. Instead of measuring the absolute offset of separate cladding modes waves lengths, one can define those modes offset in respect to the principal mode.

*Optic fibers spectral measurements applying TFBG structures bend for various tilt angles of inlet light polarization.*

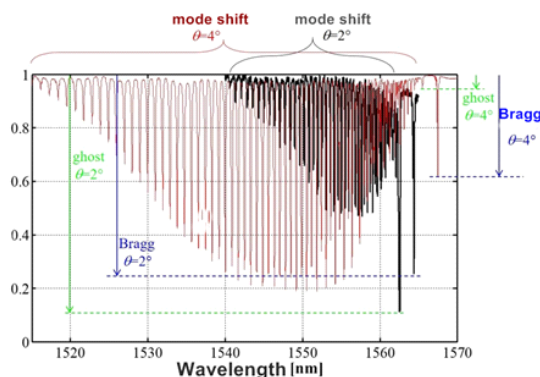
Offset sensors are used in many industry branches, such as aviation or construction industries. The main sensor types for offset measuring are inductive, impulse, potentiometric and capacitive transducers. An example of fiber-optic transducers for bend measuring are LPFG- long-period fiber gratings. There are known the bend measuring methods, at which the LPFG is recorded on standard single-mode fiber and placed into a composite of carbon fibers [6].

However, temperature changes make very big effect at sensors operation, based on TFBG. FBG as well, is used for measuring the mechanical parameters. To use those elements as bend sensors you are required, for example, to locate them in photonic fibers with photonic bandgap fibers (PBGFs) with photon gap (solid fibers with photon forbidden zone) [7]. But such decision is extremely sensitive to inaccuracy of micro-structured fibers geometry.

Bend measuring systems, using both LPFG and FBG, are also studied in [8]. Lowering the cross sensitivity to temperature is often fulfilled by means of hybrid structures, also consisting of two types of fiber-optic gratings: LPFG and TFBG. Thus, bend radius changes might be considered as in [9]. Some sensors, using TFBG elements, as well, can be considered as independent on the temperature [10], by inserting fiber multimode segment between a single mode fiber and TFBG element. As well, there known the constructions, used as bend sensors [11], in which FBG grating is stored in the same place as the TFBG (structure with tilt grating). In such system the signal, reflected from FBG grating, is modulated by TFBG, which is sensitive to a bend [12].

For the sensors, using Bragg gratings for measuring the offset, there is usually required a construction of additional arm or mechanical element, transmitting the offset from the being tested object to optic fiber [13]. The main problem in such solutions is Bragg gratings sensitivity to axial elongation and to temperature. Therefore, the measuring systems, using that sensor type, demand temperature compensation upon measuring other physical magnitudes. Unfortunately, very often the methods of lowering the cross sensitivity to the temperature, decrease the system measuring range

with TFBG and FBG gratings. There are known the solutions, which extremely sensitive to deformation, but have narrow measuring range, for instance, on the order of 1 Nm [14]. Measuring range also changes in the result of covering the fiber with TFBG grating, for example, with additional protective layer [15].



**Figure 5.** Comparison of TFBG spectral characteristics with angles:  $\theta = 2^\circ$  (red line) and  $\theta = 4^\circ$  (black line).

Ghost modes are the ones of the lowest order, and they make up the group of the so called strongly guided cladding modes. That type modes are influenced, mainly, with fiber parameters change (for example, distribution constants) at core cladding boundary. On the other hand, fiber parameters change close to cladding outer diameter (at optic fiber boundary) does not influence at peaks position and form (and, in principle, one peak is a ghost), obtained from those modes, found in compliance with spectral characteristics [19]. It is explained with the fact, that the resonances, received from those modes, are always (irrespective of structure angle) close to lengths of waves, corresponding to core resonance. Usually that distance is up to several Nm from Bragg resonance (shorter wave length). These modes, as it has been mentioned previously, create a common resonance, which is by spectrum is similar to the core mode and it is placed close to the core mode.

## Conclusion.

The article herein presents the method and system for parallel measuring of inlet light polarization angle and bend of optic fiber by means of tilted fiber Bragg grating. There is analyzed, what spectral parameters of the sensor should be chosen and how to get minimal temperature sensitivity, and at the same time, the sensitivity to light polarization and fiber bend. Apart from insensitivity to the temperature, the main advantage of the offered solution is its scalability. Measurement range and resolution might be regulated depending on concrete application.

Experimental researches have been conducted at Optoelectronic laboratories of electric engineering and computer sciences faculty of Lublin technical university



in the frame of the project GF No. AP05132778 "Research and development of signals interrogation system with optic-fiber refractometer, using telecommunication networks", IICT CS MES RK.

## References

1. Chen Ch., Laronche A., Bouwmans G., Bigot L., Quiquempois Y., Albert J., Sensitivity of photonic crystal fiber modes to temperature, strain and external refractive index, *Optics Express*. doi: 10.1364/OE.16.009645.16(13), 9645-9653 (2008)
2. Dong X., Zhang H., Liu B., Miao Y., Tilted Fiber Bragg Gratings: Principle and Sensing Applications, *Photonic Sensors*. doi: 10.1007/s13320-010-0016-x.1(1), 6-30 (2011)
3. Albert J., Shao L. Y., Caucheteur C., Tilted fiber Bragg grating sensors, *Laser Photonics Reviews*. doi: 10.1002/lpor.201100039. 7(1), 83-108 (2013)
4. Guo T., Liu F., Guan B.-O., Albert J., Tilted fiber grating mechanical and biochemical sensors, *Optics Laser Technology*. doi: dx.doi.org/10.1016/j.optlastec.2015.10.007. 78, 19-33 (2016)
5. Laffont G., Ferdinand P., Tilt short-period fibre-Bragg-grating-induced coupling to cladding modes for accurate refractometry, *Meas. Sci. Technol.* doi: 10.1088/0957-0233/12/7/302. 12, 765-770 (2001)
6. Tan D., Sharafudeen K. N., Yue Y., Qiu J., Femtosecond laser induced phenomena in transparent solid materials: Fundamentals and applications. *Progress in Materials Science*. doi: 10.1016/j.pmatsci.2015.09.002. 76, 154-228 (2016)
7. Jin L., Wang Z., Fang Q., Liu Y., Liu B., Kai G., Dong X., Spectral characteristics and bend response of Bragg gratings inscribed in all-solid bandgap fibers, *Optics Express*. doi:10.1364/OE.15.015555. 15(23), 15555-15565 (2007)
8. Swanson A. J., Raymond S. G., Janssens S., Breukers R. D., Bhuiyan M. D. H., Lovell-Smith J. W., Waterland M. R., Development of novel polymer coating for FBG based relative humidity sensing. *Sensors and Actuators*. doi: 10.1016/j.sna.2016.08.034. A 249, 217-224 (2016)
9. Shao L. Y., Albert J., Compact fiber-optic vector inclinometer. *Optics Letters*. doi: 10.1364/OL.35.001034. 35(7), 1034-1036 (2010)
10. Jin Y. X., Chan C. C., Dong X. Y., Zhang Y. F., Temperature- independent bending sensor with tilted fiber Bragg grating interacting with multimode fiber, *Optics Communications*. doi: 10.1016/j.optcom.2009.06.058. 282(19), 3905-3907 (2009)
11. Amanzadeh M., Aminossadati S. M., Kizil M. S., Rakić A. D., Measurement. doi: 10.1016/j.measurement.2018.06.034. 128, 119-137 (2018)
12. Dong X., Liu Y., Shao L. Y., Kang J., Zhao Ch. L., Temperature-Independent Fiber Bending Sensor Based on a Superimposed Grating, *IEEE Sens. J.*. doi: 10.1109/JSEN.2011.2157124. 11(11), 3019-3022 (2011)
13. An J. L., Liu T., Ji Y. G., Fiber optic vibration sensor based on the tilted fiber bragg grating. *Advances in Materials Science and Engineering 2013.*, doi: 10.1155/2013/545013. 346-349 (2013)
14. Shen C., Lou W., Shentu F., Wang Y., Tong L., Tilted fiber Bragg gratings and its fiber humidity and twist sensing applications, 2016 15th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON), Hangzhou,. doi: 10.1109/ICOON.2016.7875786. 1-3 (2016)
15. Guo T., Chen Ch., Laronche A., Albert J., Power-Referenced and Temperature-Calibrated Optical Fiber Refractometer. *IEEE Photonics Technology Letters*. doi: 10.1109/LPT.2008.919457. 20(8), 635-637 (2008)

# Vorticity Confinement Lattice Boltzmann Simulation of the Double-diffusive Convection in a Cubic Cavity

Dauren Zhakebayev<sup>1</sup>[0000–0002–0642–327X],  
Ainur Zhumali<sup>2</sup>[0000–0003–3632–5483],  
Nikita Tsoy<sup>3</sup>[0000–0001–7259–9268], and  
Dilyara Agadayeva<sup>4</sup>[0000–0001–9695–4498]

<sup>1</sup> National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, 050010 Almaty, Kazakhstan

Dauren.zhakebayev@gmail.com (D.Z.)

Ainura.z89@gmail.com (A.Z.)

Nktatsoy@gmail.com (N.T.)

Agadaeva.dilyara@gmail.com (D.A.)

<sup>2</sup> Al-Farabi Kazakh National University, 050040 Almaty, Kazakhstan

**Abstract** This work presents the results of a numerical study of double diffusive convection in a cubic cavity. The mathematical model presented in this work takes into account the influence of both temperature and concentration on the buoyancy force, since with simultaneous heat and mass transfer, the flow movement is caused not only by the temperature gradient, but also by the concentration gradient. The numerical algorithm is based on vorticity confinement Lattice Boltzmann method (VCLBM) with  $D3Q27$  scheme. Based on the results obtained, the effects of Grashof number on the temperature and velocity distributions at the mid-planes have been researched. An investigation of the buoyancy ratio influence on heat and mass transfer under double diffusion convection was carried out.

**Keywords:** Lattice Boltzmann method, double diffusive convection, buoyancy ratio,  $D3Q27$ , cubic cavity

## Introduction

Investigation of double diffusive convection phenomenon is one of the urgent problems due to its wide distribution in manufacturing applications, as well as in processes of natural and anthropogenic origin [1]. Fires are one of many natural and anthropogenic factors causing great environmental and material damage. Severe fires are often accompanied by the thermal energy release in which a large-scale thermal is formed. At thermal's high temperature, pressure and complex chemical composition, a settling mechanism can occur, converting hazardous chemical components into an active volatile form. The impossibility of experimental measurements of the thermal's evolution and its interaction with the environment due to the formation and propagation transience necessitates the use of mathematical modelling methods for the short-term prediction of harmful substances' spread and environmental hazard assessment.

A numerical study of double diffusion processes was carried out in works [2],[3],[4],[5]. The mathematical model presented in this work takes into account the

influence of both temperature and concentration on the buoyancy force, since with simultaneous heat and mass transfer, the flow movement is caused not only by the temperature gradient, but also by the concentration gradient. The model consists of: the continuity equation, the momentum equations, the equations for the concentration of components and the equation for the temperature.

The numerical algorithm is based on vorticity confinement Lattice Boltzmann method (VCLBM), which prevents loss of details of thermal's motion in LBM double diffusive convection simulation [6]. Model utilizes three distribution functions, the momentum distribution function, the vorticity distribution function, and the distribution function for the concentration and temperature. Each distribution function is discretized into  $D3Q27$  scheme. The simulation results are presented for the Prandtl number value 0.73, Lewis number value 1.0, Grashof number value and various values of the buoyancy ratio 0, 0.5, 2 and 4. Based on the results obtained, an investigation of the buoyancy ratio influence on heat and mass transfer under double diffusion convection was carried out. An increase in the average value of the Nusselt number with an increase in the buoyancy ratio from 0.5 to 4 was revealed. A change in the direction of the buoyancy force and, as a consequence, the subsidence are observed at a buoyancy ratio greater than 1. The results demonstrate realistic visual effect and show that the mathematical model coupled with the VCLBM is suited to simulate the three-dimensional double diffusive convection.

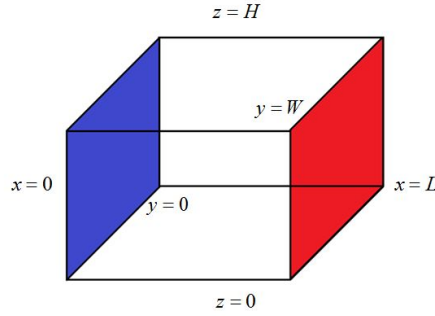
## Problem statement

Figure 1 shows the calculated double diffusion domain. The computational domain is a cube. The front, back, top and bottom walls of the cube are adiabatic and impenetrable. An increased temperature  $T_h$  and an increased concentration  $C_h$  are set on the right wall, while a reduced temperature  $T_l$  and a reduced concentration  $C_l$  are set on the left wall. All boundary conditions are constant in this work.

The governing equations for double diffusive convection are as follows:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_f \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + F_x^{conf}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_f \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + F_y^{conf}, \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu_f \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + d + F_z^{conf}, \\ \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right), \end{array} \right. \quad (1)$$

where  $d = \rho g$ ,  $u, v, w$  are the velocity components,  $p$  is the pressure,  $\rho$  is the density,  $T$  is the temperature,  $C$  is the concentration of component,  $\nu_f$  is the kinematic viscosity,  $t$  is the time,  $\alpha$  is the thermal diffusivity,  $D$  is the diffusion coefficient,  $T_r = T_l$ ,  $C_r = C_l$ ,  $\beta_T$  is the thermal expansion coefficient,  $\beta_C$  is the solute expansion coefficient,  $\vec{F}^{conf} = (F_x^{conf}, F_y^{conf}, F_z^{conf}) = \varepsilon \Delta x (N \times \vec{\omega})$  is the additional force contributing to the appearance of lost vorticity in calculations,  $N = \frac{\vec{\eta}}{|\eta|}$ ,  $\vec{\eta} = \text{grad}|\vec{\omega}|$ ,  $\vec{\omega} = \nabla \times \vec{U}$  is the vorticity vector,  $\varepsilon$  is the nonphysical parameter responsible for the amount of vorticity [6].



**Figure 1.** The computational domain

Using Boussinesq approximation the gravity force can be expressed as:

$$\rho g = \rho_r g [1 - \beta_T (T - T_r) + \beta_C (C - C_r)] \quad (2)$$

where  $\rho_r$  - is the fluid density at temperature  $T_r$  and concentration  $C_r$ .

The initial and boundary conditions are given by:

$$\begin{aligned} u = v = w = 0, \quad T = T_r, C = C_r, \text{ at } t = 0, 0 < x < L, 0 < y < W, \\ 0 < z < H; \\ u = v = w = 0, \quad T = T_l, C = C_l, \text{ at } x = 0, 0 \leq y \leq W, 0 \leq z \leq H; \\ u = v = w = 0, \quad T = T_h, C = C_h, \text{ at } x = L, 0 \leq y \leq W, 0 \leq z \leq H; \\ u = v = w = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \frac{\partial C}{\partial y} = 0, \text{ at } y = 0, 0 < x < L, 0 < z < H; \\ u = v = w = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \frac{\partial C}{\partial y} = 0, \text{ at } y = W, 0 < x < L, 0 < z < H; \\ u = v = w = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \frac{\partial C}{\partial z} = 0, \text{ at } z = 0, 0 < x < L, 0 < y < W; \\ u = v = w = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \frac{\partial C}{\partial z} = 0, \text{ at } z = H, 0 < x < L, 0 < y < W. \end{aligned}$$

In dimensionless variables

$$x^* = \frac{x}{L}, \quad y^* = \frac{y}{L}, \quad z^* = \frac{z}{L};$$

$$\begin{aligned}
u^* &= \frac{uL}{\alpha}, & y^* &= \frac{vL}{\alpha}, & z^* &= \frac{wL}{\alpha}; \\
\theta &= \frac{T-T_l}{T_h-T_l}, & C^* &= \frac{C-C_l}{C_h-C_l}, & p^* &= \frac{pL^2}{\rho\alpha^2}; \\
Pr &= \frac{\nu_f}{\alpha}, & t^* &= \frac{\alpha t}{L^2}, & Le &= \frac{\alpha}{D}; \\
Br &= \frac{\beta_C(C_h-C_l)}{\beta_T(T_h-T_l)}, & Gr &= \frac{g\beta_T(T_h-T_l)l^3}{\nu_f^2}; \\
(F_x^{conf})^* &= \frac{LF_x^{conf}}{\alpha}, (F_y^{conf})^* = \frac{LF_y^{conf}}{\alpha}, (F_z^{conf})^* = \frac{LF_z^{conf}}{\alpha}.
\end{aligned}$$

The double diffusive convection is described by the following system of equations:

$$\left\{ \begin{aligned}
& \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} + \frac{\partial w^*}{\partial z^*} = 0, \\
& \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial u^*}{\partial z^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} + Pr \left( \frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^{*2} u^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^{*2} u^*}{\partial z^{*2}} \right) + \frac{L^2}{\alpha} (F_x^{conf})^*, \\
& \frac{\partial v^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial v^*}{\partial z^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial y^*} + Pr \left( \frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^{*2} v^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^{*2} v^*}{\partial z^{*2}} \right) + \frac{L^2}{\alpha} (F_y^{conf})^*, \\
& \frac{\partial w^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial w^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial w^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial w^*}{\partial z^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial z^*} + Pr \left( \frac{\partial^2 w^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^{*2} w^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^{*2} w^*}{\partial z^{*2}} \right) + Gr \cdot Pr^2 (\theta - Br \cdot C^*), \\
& \frac{\partial \theta}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial \theta}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial \theta}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial \theta}{\partial z^*} = \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^{*2}} \right), \\
& \frac{\partial C^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial C^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial C^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial C^*}{\partial z^*} = \frac{1}{Le} \left( \frac{\partial^2 C^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 C^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 C^*}{\partial z^{*2}} \right),
\end{aligned} \right. \quad (3)$$

The dimensionless initial and boundary conditions:

$$\begin{aligned}
& u^* = v^* = w^* = 0, \quad \theta = 0, C^* = 0, \text{ at } t^* = 0, 0 < x^* < 1, 0 < y^* < 1, \\
& 0 < z^* < 1; \\
& u^* = v^* = w^* = 0, \quad \theta = -1, C^* = -1, \text{ at } x^* = 0, 0 \leq y^* \leq 1, 0 \leq z^* \leq 1; \\
& u^* = v^* = w^* = 0, \quad \theta = 1, C^* = 1, \text{ at } x^* = 1, 0 \leq y^* \leq 1, 0 \leq z^* \leq 1; \\
& u^* = v^* = w^* = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial y^*} = 0, \frac{\partial C^*}{\partial y^*} = 0, \text{ at } y^* = 0, 0 < x^* < 1, 0 < z^* < 1; \\
& u^* = v^* = w^* = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial y^*} = 0, \frac{\partial C^*}{\partial y^*} = 0, \text{ at } y^* = 1, 0 < x^* < 1, 0 < z^* < 1; \\
& u^* = v^* = w^* = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial z^*} = 0, \frac{\partial C^*}{\partial z^*} = 0, \text{ at } z^* = 0, 0 < x^* < 1, 0 < y^* < 1; \\
& u^* = v^* = w^* = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial z^*} = 0, \frac{\partial C^*}{\partial z^*} = 0, \text{ at } z^* = 1, 0 < x^* < 1, 0 < y^* < 1.
\end{aligned}$$

## Numerical method

### Thermal Lattice Boltzmann simulation

In this paper, two relaxation time LBM with D3Q27 model (figure 2) is applied for 3D flow simulation. The lattice Boltzmann equations with the BGK approximation for the fluid flow, temperature and concentration are estimated as:

$$\vec{f}_i(x + \vec{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - \vec{f}_i(x, t) = \Delta t \left[ -\frac{\vec{f}_i(x, t) - \vec{f}_i^{eq}(x, t)}{\tau_f} + F_i \right] \quad (4)$$

$$\vec{g}_i(\vec{x} + \vec{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - \vec{g}_i(\vec{x}, t) = -\frac{\Delta t}{\tau_g} [\vec{g}_i(\vec{x}, t) - \vec{g}_i^{eq}(\vec{x}, t)] \quad (5)$$

$$\vec{h}_i(\vec{x} + \vec{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - \vec{h}_i(\vec{x}, t) = -\frac{\Delta t}{\tau_h} [\vec{h}_i(\vec{x}, t) - \vec{h}_i^{eq}(\vec{x}, t)] \quad (6)$$

where  $\vec{f}_i, \vec{g}_i, \vec{h}_i$  are the velocity, the temperature and the concentration distribution functions, respectively.  $\vec{e}_i$  is the discrete lattice velocity,  $\tau_f, \tau_g, \tau_h$  are the relaxation times,  $F_i$  is the force component,  $\Delta t$  is the lattice time step,  $\vec{f}_i^{eq}, \vec{g}_i^{eq}$  and  $\vec{h}_i^{eq}$  are the equilibrium distribution functions for velocity, temperature and concentration fields, respectively.

The equilibrium distribution functions are determined by the following formulas:

$$\vec{f}_i^{eq} = \omega_i \rho [1 + 3 \frac{\vec{e}_i \vec{u}^{eq}}{c^2} + \frac{9}{2} \frac{(\vec{e}_i \vec{u}^{eq})^2}{c^4} - \frac{3}{2} \frac{\vec{u}^{eq} \vec{u}^{eq}}{c^2}] \quad (7)$$

$$\vec{g}_i^{eq} = \omega_i T [1 + 3 \frac{\vec{e}_i \vec{u}^{eq}}{c^2} + \frac{9}{2} \frac{(\vec{e}_i \vec{u}^{eq})^2}{c^4} - \frac{3}{2} \frac{\vec{u}^{eq} \vec{u}^{eq}}{c^2}] \quad (8)$$

$$\vec{h}_i^{eq} = \omega_i C [1 + 3 \frac{\vec{e}_i \vec{u}^{eq}}{c^2} + \frac{9}{2} \frac{(\vec{e}_i \vec{u}^{eq})^2}{c^4} - \frac{3}{2} \frac{\vec{u}^{eq} \vec{u}^{eq}}{c^2}] \quad (9)$$

where,  $c = \frac{\Delta}{\Delta t}$ ,  $\Delta x$  and  $\Delta t$  are the lattice space and time steps, which are equal to unity. The values of weight coefficients are as follows:

$$\omega_i = \begin{cases} \frac{8}{27}, i = 0, \\ \frac{2}{27}, i = 1 - 6, \\ \frac{1}{54}, i = 7 - 18, \\ \frac{1}{216}, i = 19 - 26, \end{cases} \quad (10)$$

In the D3Q27 model ( figure 2) the discrete velocities are calculated using the formulas:

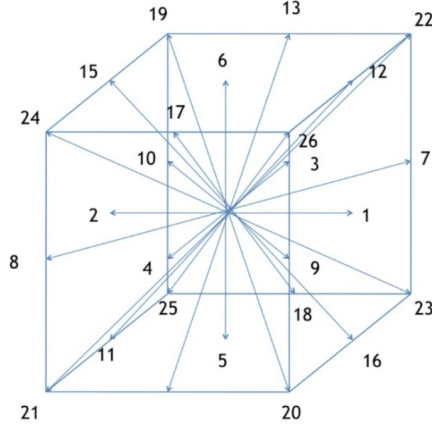


Figure 2. D3Q27 model

$$\vec{e}_i = \begin{cases} (0, 0, 0)c, i = 0, \\ (\pm 1, 0, 0)c, (0, \pm 1, 0)c, (0, 0, \pm 1)c, i = 1 - 6, \\ (\pm 1, \pm 1, 0)c, (0, \pm 1, \pm 1)c, (\pm 1, 0, \pm 1)c, i = 7 - 18, \\ (\pm 1, \pm 1, \pm 1)c, i = 19 - 26, \end{cases} \quad (11)$$

In this paper, to add the force term  $\vec{F} = -\rho_r g[\beta_T(T - T_r) - \beta_C(C - C_r)] + \vec{F}^{conf}$  to LBM we apply the scheme suggested by Guo et al. [7] :

$$F_i = \omega_i \left( 1 - \frac{\Delta t}{2\tau_f} \right) \left[ \frac{\vec{e}_i \cdot \vec{u}}{c_s^2} + \frac{\vec{e}_i (\vec{e}_i \cdot \vec{u})}{c_s^4} \right] \vec{F} \quad (12)$$

where  $c_s = \frac{c}{\sqrt{3}}$  is the lattice speed of sound.

Equations for the distribution functions can be divided into two steps, collision and streaming:

$$\begin{aligned} 1. \tilde{f}_i(\vec{x}, t) &= f_i(\vec{x}, t) + \Delta t \left( -\frac{f_i(\vec{x}, t) - f_i^{eq}(\vec{x}, t)}{\tau_f} + F_i \right) \\ \tilde{g}_i(\vec{x}, t) &= g_i(\vec{x}, t) + \Delta t \left( -\frac{g_i(\vec{x}, t) - g_i^{eq}(\vec{x}, t)}{\tau_g} \right) \end{aligned}$$

$$\vec{\tilde{h}}_i(x, t) = \vec{h}_i(x, t) + \Delta t \left( -\frac{\vec{h}_i(x, t) - \vec{h}_i^{eq}(x, t)}{\tau_h} \right) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} 2. \vec{\bar{f}}_i(x + e_i \Delta t, t + \Delta t) &= \vec{\tilde{f}}_i(x, t) \\ \vec{\bar{g}}_i(x + e_i \Delta t, t + \Delta t) &= \vec{\tilde{g}}_i(x, t) \\ \vec{\bar{h}}_i(x + e_i \Delta t, t + \Delta t) &= \vec{\tilde{h}}_i(x, t) \end{aligned} \quad (14)$$

This procedure is similar for the temperature and concentration distributions. After the second step, it is necessary to calculate the macroscopic variables for density, velocity temperature and concentration:

$$\rho = \sum_{i=0}^{26} \bar{f}_i, \rho u = \sum_{i=0}^{26} \bar{f}_i e_i + \frac{\Delta t}{2} F, T = \sum_{i=0}^{26} \bar{g}_i, C = \sum_{i=0}^{26} \bar{h}_i \quad (15)$$

To close the system of equations, the following boundary conditions were used. Zero velocity condition for all walls:

$$\vec{\bar{f}}_i(x_w, t + \Delta t) = \vec{\bar{f}}_{-i}(x_w, t + \Delta t), e_i \cdot n > 0, \quad (16)$$

For the boundary where the temperature and concentration are constant, the distribution functions can be obtained as:

$$\begin{aligned} \vec{\bar{g}}_i(x_w, t + \Delta t) &= -\vec{\bar{g}}_{-i}(x_w, t + \Delta t) + 2\omega_i T_w, e_i \cdot n > 0, \\ \vec{\bar{h}}_i(x_w, t + \Delta t) &= -\vec{\bar{h}}_{-i}(x_w, t + \Delta t) + 2\omega_i C_w, e_i \cdot n > 0, \end{aligned} \quad (17)$$

where  $T_w$  means the wall temperature,  $C_w$  means the wall concentration. Neumann's condition for temperature and concentration on all other walls:

$$\begin{aligned} \vec{\bar{g}}_i(x_w, t + \Delta t) &= \vec{\bar{g}}_{-i}(x_w, t + \Delta t), e_i \cdot n > 0, \\ \vec{\bar{h}}_i(x_w, t + \Delta t) &= \vec{\bar{h}}_{-i}(x_w, t + \Delta t), e_i \cdot n > 0, \end{aligned} \quad (18)$$

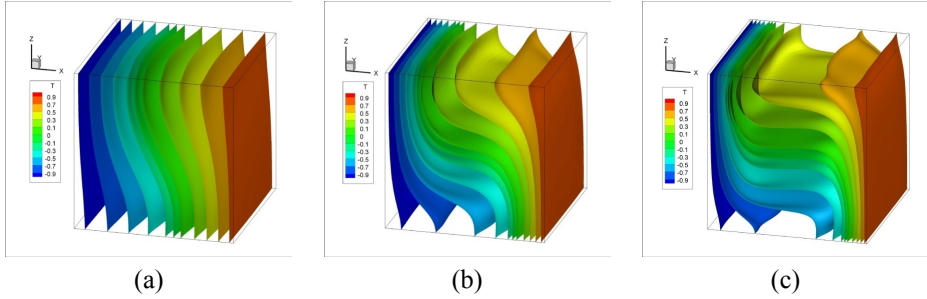
## Results and discussion

Numerical experiments were carried out to simulate double diffusion in a cubic cavity. The problem was solved on a computational area of size  $70 \times 70 \times 70$ . The following values were used as dimensionless parameters: Prandtl number  $Pr = 0.73$ , Lewis number  $Le = 1$ , Grashof number  $Gr = 2 \times 10^3, 2 \times 10^4, 2 \times 10^5$ , buoyancy ratio  $Br = 0, 0.5, 2, 4$ . In this paper to ensure that the flow is incompressible, we set



Mach number to 0.1. The viscosity is found as follows [8]  $\nu = \frac{Ma \cdot Nz \cdot c}{\sqrt{Gr}}$ . Relaxation parameters are defined as [7]  $\tau_f = 3\nu + 1/2$  and  $\tau_g = 4\alpha + 1/2$ , where  $\alpha = \nu/Pr$ .

The output of velocity, temperature and concentration contours is very important for the understanding of flow behavior. Figure 3 shows the temperature isosurfaces for different Grashof numbers. One can see that an increase of Grashof number leads to an enhance of convection process, as well as to an increase of temperature difference between the upper and lower parts of the cavity.



**Figure 3.** Isothermal surfaces for (a)  $Gr = 2 \times 10^3$ , (b)  $Gr = 2 \times 10^4$ , (c)  $Gr = 2 \times 10^5$ .

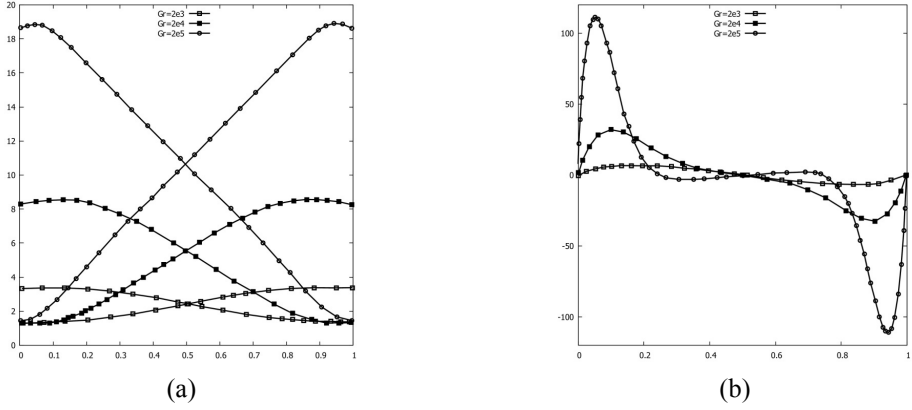
In Figure 4, (a) the local Nusselt number on the hot and cold walls has been considered for different values of Grashof number. One can see that the local Nusselt number on the constant temperature walls increases by increasing of Grashof number.

The contours of dimensionless vertical velocity  $W = -wL/\alpha$  on the midline ( $Y = 0.5$  and  $Z = 0.5$ ) of the cubic cavity for different values of Grashof number are shown in Figure 4, (b). Obviously, increasing the Grashof number leads to increase the value of velocity.

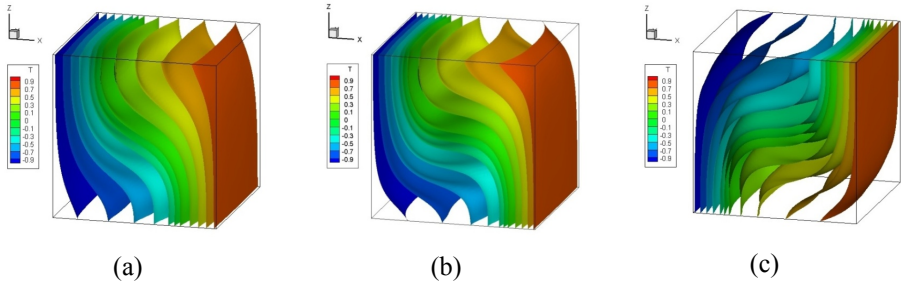
The following results were obtained for a constant value of the Grashof number  $Gr = 2 \times 10^4$ . Figure 5 shows the temperature isosurfaces for various values of the buoyancy ratio. For the buoyancy ratio  $Br = 0$ , the double diffusion problem turns into a natural convection problem. To check the numerical algorithm, the experimental results were compared with the results presented in the article by Sajjadi [7], and showed good agreement.

Below (Figure 6, (a)) the results of the change in the Nusselt number along the right and left walls in the same plane  $Y = 0.5$  are presented. Here, the solid line represents the results for the buoyancy ratio  $Br = 0$ , and the dots in the form of circles represent the results for  $Br = 2$ . We observe the coincidence of the results of the Nusselt number for these experiments, which indicates a similar course of the heat transfer process with a difference only in its direction.

Figure 6, (b) shows the vertical component of the velocity in the plane  $Y = 0.5$  along the straight line  $Z = 0.5$ . Symmetry is visible for experimental results at  $Br = 0$  and  $Br = 2$ . This symmetry indicates that only the propagation direction changes due to a change in the sign of the buoyancy force.



**Figure 4.** (a) Local Nusselt number on the hot and cold walls for different Grashof numbers; (b) Vertical velocity at the  $Y = 0.5$  and  $Z = 0.5$  for different Grashof numbers.

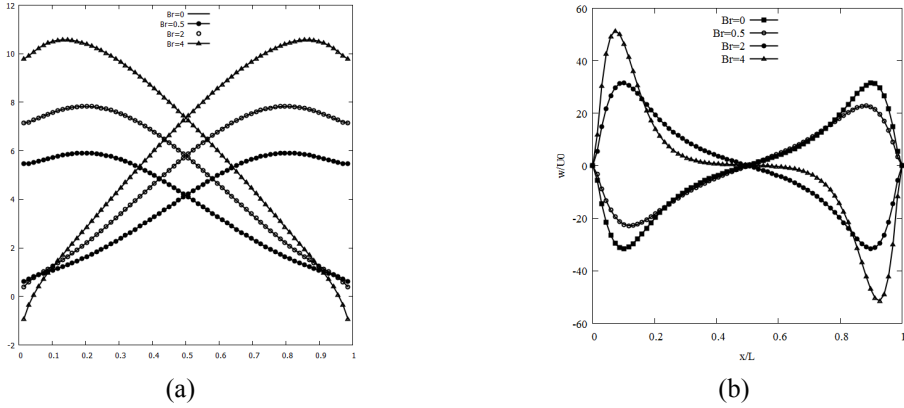


**Figure 5.** Isosurfaces of temperature for different values of the buoyancy ratio (a)  $Br = 0$ ; (b)  $Br = 0.5$ ; (c)  $Br = 2$ .

The following results were obtained for a constant value of the Grashof number  $Gr = 2 \times 10^5$ , values of the buoyancy ratio  $Br = [0, 2]$  and different values of the vorticity parameter  $\varepsilon = [0, 0.5, 1]$ . In figure 7 the temperature profiles in the plane passing through the middle of the cube  $Y = 0.5$  are presented. At  $Br = 0$ , the temperature profile completely coincides with the results of [7], which shows that there is no effect of concentration on double diffusion. At values of  $Br = 2$  we observe a subsidence of high temperature due to an increase in gravity.

Figure 8 shows the concentration isosurfaces. Here we observe the correspondence between the temperature (Figure 5) and concentration profiles, which is due to the value of the Lewis number. Here you can also notice the symmetry of the results for  $Br = 0$  and  $Br = 2$ .

Using the vorticity confinement method, we caught the appearance of small-scale vortices (Figures 7-9). The vortex dynamics can be clearly observed in the figure 9. At  $\varepsilon = 0$ , the vorticity is zero. More realistic results can be obtained for  $\varepsilon > 0$ . An increase



**Figure 6.** (a) Values of the Nusselt number along the left and right walls in the plane  $Y = 0.5$ ; (b) The vertical component of the velocity in the plane  $Y = 0.5$  along the straight line  $Z = 0.5$ .

in the value of the  $\varepsilon$  leads to an increase in the number of small vortices and an increase in the chaos of motion.

## Conclusion

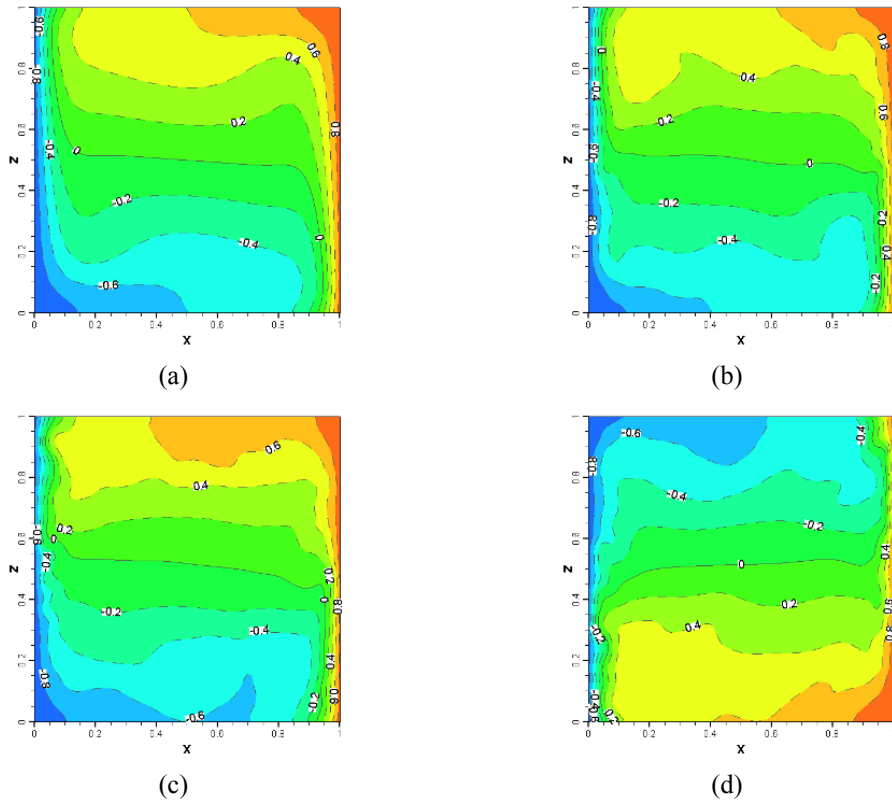
Lattice Boltzmann method with two relaxation time model has been applied to simulate numerically 3-D double diffusive convection in a cubic cavity. Numerical algorithm has been parallelized using OpenMP directives. The parallelization of the algorithm could largely improve the computation efficiency. The thermal, concentration and flow fields has been solved with the D3Q27 scheme. The effects of Grashof number on the temperature and velocity distributions at the mid-planes have been researched.

And also on the basis of the results obtained, a study of the influence of the buoyancy ratio on heat and mass transfer during double diffusion was carried out. An increase in the average value of the Nusselt number with an increase in the buoyancy coefficient from  $Br = 0.5$  to  $Br = 4$  was revealed. There is also a change in the direction of the buoyancy force and, as a consequence, subsidence at  $Br > 1$ . Results obtained using the vorticity confinement approach have been demonstrated a realistic visual effect.

From the above results it is clear that the numerical method using the D3Q27 scheme is capable of simulating double diffusive convection problems. This means that it may well be applied for numerical implementation of the evolution model of large-scale thermals generated in emergency situations of natural and anthropogenic origin in the atmospheric surface layer.

## Acknowledgement

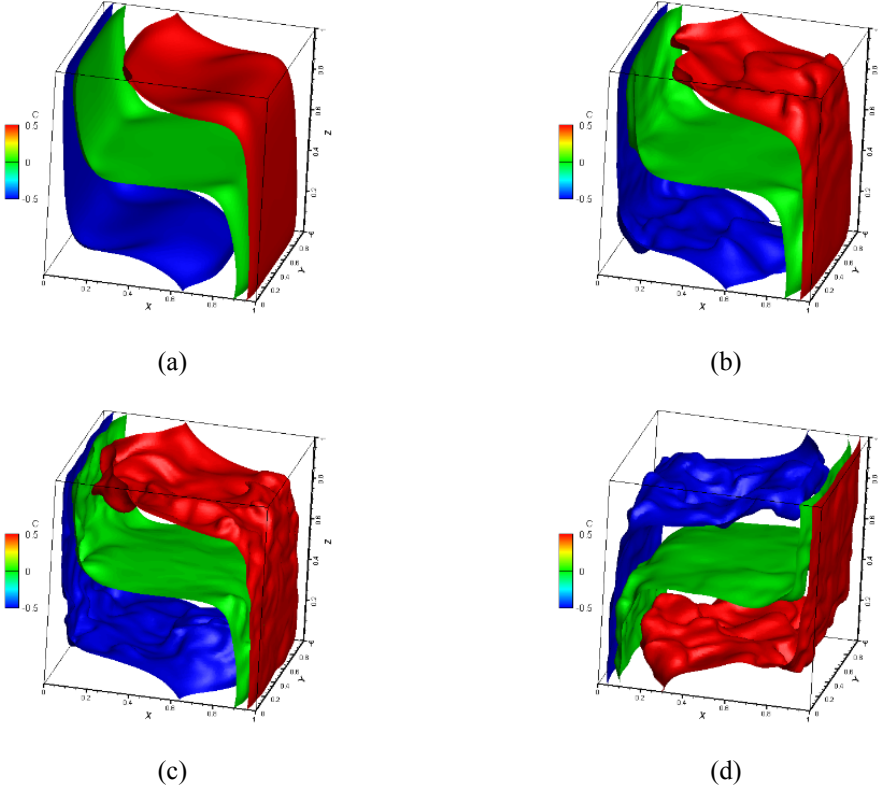
This work was supported by Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan [Grant No. AP05132121, 2020]



**Figure 7.** Temperature profiles in the plane  $Y = 0.5$  for (a)  $\varepsilon = 0$ ,  $Br = 0$ , (b)  $\varepsilon = 0.5$ ,  $Br = 0$ , (c)  $\varepsilon = 1$ ,  $Br = 0$ , (d)  $\varepsilon = 1$ ,  $Br = 2$ .

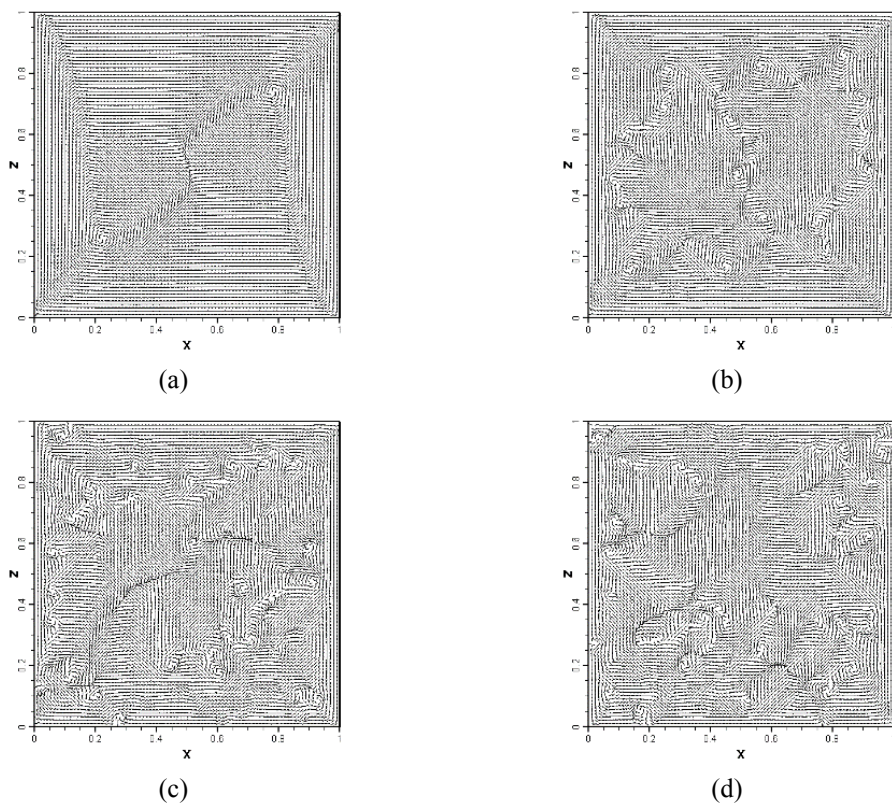
## References

1. Gebhart, B., and Jaluria, Y., and Mahajan, R.L., and Sammakia, B.: *Bouyancy-Induced Flows and Transport*. Hemisphere Publishing Corporation, 971 (1988).
2. Teamah, A.M.: Numerical simulation of double diffusive natural convection in rectangular enclosure in the presences of magnetic field and heat source. *International Journal of Thermal Sciences* **47**(3), 237–248 (2008).
3. Nikbakhti, R., and Khodakhah, J.: Numerical investigation of double diffusive buoyancy forces induced natural convection in a cavity partially heated and cooled from sidewalls. *International Journal* **19**(1), 322–337 (2016).
4. Ren, Q., and Chan, C.L.: Numerical study of double-diffusive convection in a vertical cavity with Soret and Dufour effects by lattice Boltzmann method on GPU. *International Journal of Heat and Mass Transfer* **93** 538–553 (2016).
5. Xu, H., and Luo, Z., and Lou Q., and Zhang S., and Wang J.: Lattice Boltzmann simulations of the double-diffusive natural convection and oscillation characteristics in an enclosure with Soret and Dufour effects. *International Journal of Thermal Sciences* **136**, 159 – 171 (2019).
6. Wen, J., and Ma, H.: Real-time smoke simulation based on vorticity preserving lattice Boltzmann method. *The Visual Computer* **104**, 878 – 889 (2018).



**Figure 8.** Isosurfaces of concentration for (a)  $\varepsilon = 0, Br = 0$ , (b)  $\varepsilon = 0.5, Br = 0$ , (c)  $\varepsilon = 1, Br = 0$ , (d)  $\varepsilon = 1, Br = 2$ .

7. Guo, Z., and Zheng, C., and Shi, B.: Discrete lattice effects on the forcing term in the lattice Boltzmann method. *Physical Review E* **65**, 1–6 (2002).
8. Kefayati, G.H.R., and Gorji, M., and Sajjadi, H., and Ganji D.D.: Lattice Boltzmann simulation of MHD mixed convection in a lid-driven square cavity with linearly heated wall. *Trans. B - Mech. Eng.* **19**, 1053–1065 (2012).
9. Sajjadi, H., and Atashafrooz, M., and Delouei, A., and Sheikholeslami, M.: Simulation of the dimensional MHD natural convection using double MRT Lattice Boltzmann method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **515**, 474–496 (2019).



**Figure 9.** Vorticity dynamics for (a)  $\varepsilon = 0, Br = 0$ , (b)  $\varepsilon = 0.5, Br = 0$ , (c)  $\varepsilon = 1, Br = 0$ , (d)  $\varepsilon = 1, Br = 2$ .

# Stability of Fictive Region Method for Navier-Stokes Equations in Multiply-Connected Domains

Bakytzhan T. Zhumagulov

National engineering Academy of Kazakhstan, Kazakhstan

**Abstract** In the given work I examine numerical methods of solving Navier-Stokes equations in multiply-connected domains. Two methods of problem solution are examined. The first method is based on setting differential in variable velocity, stream function and use of pressure single value condition. Numerical solution of elliptic equation for stream function is as a sum of two simple problems of elliptic type. One problem is with uniform boundary conditions, and another one with a uniform equation. Alternative approach to solving the set problem is fictive region method with small coefficient extension. This method does not require satisfaction to the condition of pressure uniformity and is simple in realization.

**Keywords:** Navier-Stokes equation, velocity, pressure, stream function, multiply-connected domain, boundary condition, a priori estimate, stability, fictive region method.

The fictitious domain method is widely used for numerical solution of mathematical physics problems in an arbitrary domain. The theory of the fictitious domain method for solving the problem of an arbitrary domain in the numerical implementation of discrete models is constructed. A new class of locally two-sided approximations in direct and spectral problems is created on its basis. The method of fictitious domains for Navier-Stokes equations is discussed in the works of A. N. Bugrov and sh. S. Smagulov [1]. In the work of Smagulov sh. S. and Orunkhanov M. K., a method of fictitious domains for hydrodynamic equations in multi-connected domains is proposed [2]. In [3-5], a variant of the fictitious domain method is proposed for the Navier-Stokes equations of a viscous incompressible fluid in a variable velocity and pressure field. Moreover, at the boundary of the auxiliary region, a boundary condition is set for the pressure with a zero value. This condition allows us to obtain the Dirichlet problem for the Poisson equation for pressure, for which efficient iterative difference schemes can be developed using known methods. In R. Glowinski, T-W. Pan, and J. Periaux [6,7], we consider a family of domain division Methods based on explicit use of the Lagrange multiplier defined on the actual boundary. The proposed technique associated with genuine boundary conditions is common for modeling inviscid incompressible potential flows. According to the proposed method, the initial differential problem is assigned an optimal control problem with a saddle point, and the iterative method of conjugate gradients is used for numerical implementation. In [8], the method of fictitious regions without Lagrange multipliers is used for numerical simulation of the suspension concentration. To distinguish between areas occupied by liquid and solid particles, the boundary is tracked as a function. A

particle indicator function constructed using the Heaviside function is introduced. Next, the Heaviside function in a small neighborhood (proportional to the grid step) around the boundary is approximated using a hyperbolic tangent. This continuous function will ensure smooth change and increase numerical accuracy and reliability. The paper [9,10] describes a method for numerical construction of curved structured grids in doubly connected regions and numerical modeling of convective flow of unevenly heated liquid in a curved coordinate system. The implicit scheme and the fractional step method are used for the numerical construction of curved meshes in doubly connected regions by equiradial distribution and Godunov-Thompson methods, and the explicit scheme and the fractional step method are used for the numerical implementation of incompressible fluid equations. In the direction of the outer and inner borders, a cyclic run is used, and in the direction of the normal, a scalar run is used. Calculations were performed for various cavity configurations and temperature conditions at the boundary. Graphs of numerical calculations of temperature changes and current functions are obtained. In this paper, we consider two methods for the numerical solution of the Navier – Stokes equation in a two-connected domain. One of the difficulties of numerical solution of the Navier – Stokes equation in the variables of the current function and the velocity vortex in the case of a multi-connected domain is caused by the uncertainty of the boundary values of the current function. The numerical solution of the Navier – Stokes equation in a multi – connected domain was considered by the authors [11-13], in which an explicit method for the numerical solution of the Navier-Stokes equation in a two-connected domain using the pressure uniqueness condition is proposed. In this case, the equivalence of the problem statements for the current and vortex functions, as well as for the velocity and pressure, is violated. In [14], the Navier-Stokes equations in a two-connected domain are solved using the pressure uniqueness condition. The test problem for the Navier-Stokes equations in variables current function, velocity vortex is solved using a parallel algorithm on CUDA technologies. In this paper, a new technique is used to implement a difference scheme of the splitting type in physical processes, which allows us to determine the current function in a closed two-connected region. In this case, the elliptic equation for the current function with complex boundary conditions decomposes into two simpler problems. The proposed methods are more economical than in [11,13], where the stability of the method has not been studied.

Let study Navier-Stokes equation in biconnected domain  $\Omega = \Omega_0 \cup \Omega_1$ , with  $\Omega_1 \subset \Omega_0$ , to make it easier we suppose  $\Omega_0, \Omega_1$  are rectangles.  $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + (\bar{u} \cdot \nabla) \bar{u} = \mu \Delta \bar{u} - \nabla p + \bar{f} \Omega$

$$\operatorname{div} \bar{u} = 0 \quad (1)$$

$$\bar{u} |_{t=0}, \bar{u} |_{\partial \Omega} = 0, \partial \Omega = \partial \Omega_0 \cup \partial \Omega_1 \quad (2)$$

where  $\bar{u} = (u, v)$  is velocity vector,  $p$  is pressure,  $\bar{f}$  is the field of mass force;  $\partial \Omega_1, \partial \Omega_2$  are boundaries of the regions correspondingly  $\Omega_1, \Omega_0$ . Suppose that boundary  $\partial \Omega$  of region  $\Omega$  belongs to coordinate curves. We cover  $\bar{\Omega}_0$  with parallelepipedic grid



$$\bar{\Omega}_0^k = \{x \in \Omega_0 : x_\alpha = i_\alpha h_\alpha, i_\alpha = 0, 1, 2, \dots, N_\alpha, \alpha = 1, 2\}$$

We denote

$$\gamma_1^h = \partial\Omega_0^h, \gamma_2^h = \partial\Omega_1^h, \gamma_h = \gamma_1^h \cup \gamma_2^h$$

and also

$$\omega_1^h = \{x_1 = (i_1 - 1/2) h_1, x_2 = i_2 h_2; i_1 = 1, 2, \dots, N_1; i_2 = 0, 1, 2, \dots, N_2\}$$

$$\omega_2^h = \{x_1 = i_1 h_1, x_2 = (i_2 - 1/2) h_2; i_1 = 1, 2, \dots, N_1; i_2 = 0, 1, 2, \dots, N_2\}$$

$$\bar{\omega}_1^h = \omega_1^h \cup \gamma_h, \bar{\omega}_2^h = \omega_2^h \cup \gamma_h$$

Let examine difference schemes of "particle-in-cell" type:

$$\frac{\tilde{u}_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1} - u_{i-\frac{1}{2}j}^n}{\Delta t} + L_h(\bar{u}^n, u^n)_{i-\frac{1}{2}j} = \mu \Delta_\beta u_{i-\frac{1}{2}j}^n + f_{1i-\frac{1}{2}j} B \omega_2 \quad (3)$$

$$\frac{\tilde{v}_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1} - v_{i-\frac{1}{2}j}^n}{\Delta t} + L_h(\bar{v}^n, v^n)_{ij-\frac{1}{2}} = \mu \Delta_h v_{ij-\frac{1}{2}}^n + f_{2ij-\frac{1}{2}} B \omega_1$$

$$u_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1} - \tilde{u}_{i-\frac{1}{2}j} + p_{ij\bar{x}_1}^{n+1} \cdot \Delta t = 0, i = 2, \dots, N_1 - 2, j = 1, \dots, N_2 - 1;$$

$$v_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1} - \tilde{u}_{ij-\frac{1}{2}} + p_{ij\bar{x}_2}^{n+1} \cdot \Delta t = 0, j = 2, \dots, N_2 - 2, i = 1, \dots, N_1 - 1; \quad (4)$$

$$\frac{u_{i+\frac{1}{2}j}^{n+1} - u_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1}}{h_1} + \frac{v_{ij+\frac{1}{2}}^{n+1} - v_{ij-\frac{1}{2}}^{n+1}}{h_2} = 0, i = 1, \dots, N_1 - 1; j = 1, \dots, N_2 - 1; \quad (5)$$

$$u_{i-\frac{1}{2}j}^0 = v_{ij-\frac{1}{2}}^0 = 0 \quad (6)$$

$$u_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1} |_{y_1} = v_{ij-\frac{1}{2}}^{n+1} |_{y_2} = 0$$

where

$$p_{ijx_1} = \frac{p_{ij} - p_{i-1,j}}{h_1}, p_{ijx_i} = \frac{p_{ij} - p_{ij-1}}{h_2}, L_h(\bar{u}, q)_{i,j} = u_{i,j} \frac{q_{i+1,j} - q_{i-1,j}}{2h_1} + v_{i,j} \frac{q_{i,j+1} - q_{i,j-1}}{2h_2}, \tilde{u}, \tilde{v}$$

are intermediate values and corresponding component  $u, v$ .

To realize difference scheme we use methods proposed in work [4]:

$$u_{i+\frac{1}{2}j}^{n+1} = \frac{\Psi_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} - \Psi_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}}^{n+1}}{h_2},$$

$$v_{ij+\frac{1}{2}}^{n+1} = \frac{\Psi_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} - \Psi_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1}}{h_2}, \quad (7)$$

From (6) it follows that

$$\Psi_{i-\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}} \text{ is determined in some close biconnected domain } \bar{\omega} = \omega \cup \gamma_1 \cup \gamma_2$$

Under (4) we have

$$(\Delta_h \Psi^{n+1})_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} \xrightarrow{\quad} \text{rot}_h \tilde{u}_{i-\frac{1}{2}j} \quad (8)$$

$$\psi^{n+1}|_{\gamma_1} = 0, \psi^{n+1}|_{\gamma_2} = \psi_0^{n+1} \quad (9)$$

$$\sum_{\gamma_5} ((\frac{\partial \psi}{\partial n})_h^{n+1})_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} \Delta l = \sum_{\gamma_3} \tilde{u}_{i-\frac{1}{2}j} \Delta l \quad (10)$$

where  $\Psi_0^{n+1}$  is to determine ( $\Psi_0^{n+1}$  is constant),  $y_3$  is any closed line consisting of sections parallel to coordinate axes and covering region  $\Omega_1$ ,  $(\frac{\partial \Psi}{\partial n})_h$  is difference analogue of normal derivative to line  $y_3$ ,  $\Delta l$  increment of curve arch length  $y_3$ .

It is easy to show that problem (3)-(6) and (3), (6), (8) - (10) will be equivalent. Problem (3), (6), (8) - (10) is solved in the following way:  $\tilde{u}, \tilde{v}$  are evidently found from (3);  $\Psi_{n+1}$  is found by iteration method from (8) - (10).

We present

$$\psi_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} = \overline{\psi}_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + F^{n+1} \overline{\overline{\psi}}_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} \quad (11)$$

where

$$\begin{aligned} & \overline{\psi}_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1}, \\ & \overline{\overline{\psi}}_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} \end{aligned}$$

is the solution of the following problem:

$$\begin{aligned} (\Delta_h \overline{\psi}^{n+1})_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} &= 0, \quad \overline{\psi}^{n+1}|_{\gamma_3} = \psi_0^{n+1}, \quad \overline{\psi}^{n+1}|_{\gamma_1} = 1 \\ (\Delta_h \overline{\overline{\psi}}^{n+1})_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} &= \text{rot}_h \tilde{u}_{i-\frac{1}{2}j}, \quad \overline{\overline{\psi}}^{n+1}|_{\gamma_3} = 0, \quad \overline{\overline{\psi}}^{n+1}|_{\gamma_1} = 0 \end{aligned}$$

$F^{n+1}$  is found from condition (10):

$$F^{n+1} = (\sum_{\gamma_3} \tilde{u}_{i-\frac{1}{2}j} \Delta l - \sum_{y_4} (\frac{\partial \overline{\psi}^{n+1}}{\partial n})_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} \Delta l) / \sum_{\gamma_5} ((\frac{\partial \overline{\overline{\psi}}^{n+1}}{\partial n})_h)_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} \Delta l$$

$\Psi^{n+1}$  is found from (11).

Let examine fictive region method for problem (1) [6]:

$$\frac{\partial \mathbf{u}^\varepsilon}{\partial t} + (\mathbf{u}^\varepsilon * \nabla) \mathbf{u}^\varepsilon = \mu \Delta \mathbf{u}^\varepsilon - \nabla p^\varepsilon - \frac{\xi(x)}{\varepsilon} \mathbf{u}^\varepsilon + \mathbf{f}^\varepsilon$$

$$\text{div} \mathbf{u}^\varepsilon = 0 \quad (12)$$

$$\mathbf{u}^\varepsilon|_{t=0} = 0, \quad \mathbf{u}^\varepsilon|_{\partial\Omega=y} = 0, \quad (13)$$

where

$$\xi(x) = \begin{cases} 0 & \text{in } \Omega_0 \\ 1 & \text{in } \Omega_1 \end{cases}$$

$f$  is supposed nought in  $\Omega_1$

For numerical solution of problem (12), (13) we will examine difference scheme:

$$\begin{aligned} \frac{\tilde{u}_{i-\frac{1}{2}j} - u_{i-\frac{1}{2}j}^n}{\Delta t} + L_h(\mathbf{u}, u^n)_{i-\frac{1}{2}j} &= \mu \Delta_h u_{i-\frac{1}{2}j}^n + f_{1i-\frac{1}{2}j} \quad \text{in } \Omega_0^1 \\ \frac{\tilde{v}_{ij-\frac{1}{2}} - v_{ij-\frac{1}{2}}^n}{\Delta t} + L_h(\mathbf{u}, v^n)_{ij-\frac{1}{2}} &= \mu \Delta_h v_{ij-\frac{1}{2}}^n + f_{2ij-\frac{1}{2}} \quad \text{in } \overline{\Omega_0^2} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\operatorname{div}_h((1 + \Delta t \frac{\xi(x)}{\varepsilon}) \nabla_h \psi^{n+1}) = -\operatorname{rot}_h \tilde{\mathbf{u}} \quad (15)$$

$$\psi^{n+1} |_{\partial\Omega} = 0$$

$$u_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1} = -(\psi_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}j} - \psi_{i-\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}j})/h,$$

$$v_{ij-\frac{1}{2}}^{n+1} = -(\psi_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} - \psi_{i-\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}})/h,$$

$$u_{i-\frac{1}{2}j}^0 = v_{ij-\frac{1}{2}}^0 = 0$$

$$u_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1} |_{\partial\Omega_0^1} = v_{ij-\frac{1}{2}}^{n+1} |_{\partial\Omega_0^2} = 0$$

$$u_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1} = -(\psi_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}j} - \psi_{i-\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}j})/h,$$

$$v_{ij-\frac{1}{2}}^{n+1} = -(\psi_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} - \psi_{i-\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}})/h, \quad (16)$$

We note, that there is no need to satisfy the condition of determining pressure single value (10). This is the advantage of method (14), (16) over method (3), (6), (8)-(10).

The following theorem is proved by prior estimate method.

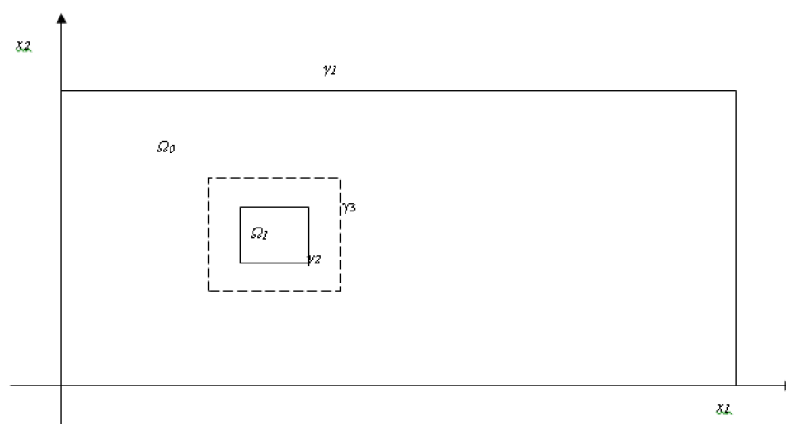
Theorem 1. Let  $f_1^{n+1}, f_{1t}^{n+1} \in L_{2\Delta t}(0, T; L_2(\overline{\Omega_0^1})), f_2^{n+1}, f_{2t}^{n+1} \in L_{2\Delta t}(0, T; L_2(\overline{\Omega_0^2}))$ , then, to solve problems (14)-(16) the estimate occurs

$$\begin{aligned} \|u_t^{n+1}\|_{L_{2\Delta t}(0, T; w_1^2(\Omega_0^1))} + \|v_t^{n+1}\|_{L_{2\Delta t}(0, T; w_1^{2n}(\Omega_0^2))} &= 0 \\ \left\| \frac{\xi(x)}{\varepsilon} u_t^{n+1} \right\|_{L_{2\Delta t}(0, T; L_2(\Omega_0^1))}^2 + \left\| \frac{\xi(x)}{\varepsilon} v_t^{n+1} \right\|_{L_{2\Delta t}(0, T; L_2(\Omega_0^2))}^2 &\leq C < \infty \end{aligned} \quad (17)$$

where C does not depend upon  $\varepsilon$

Taking into consideration estimate (17), we transfer to limit in (14), (15) at  $\Delta t \rightarrow 0$ . In the result, we note that the solution of differential problem (14), (16) is reduced to integrated solution of problem (12), (13), and the solution of problem (12), (13) is close to solving problem (1), (12) and estimate  $\|u_\varepsilon - u\| \leq c\sqrt{\varepsilon}$  occurs. The solution of problem (15) can be found using stabilizing correction method. If we use modified alternately - triangular method to solve problem (15), rate of convergence of iteration method does not depend upon  $\varepsilon$ .

Using proposed methods we did numerical calculations of viscous incompressible fluid flow in biconnected domain (Figure 1).



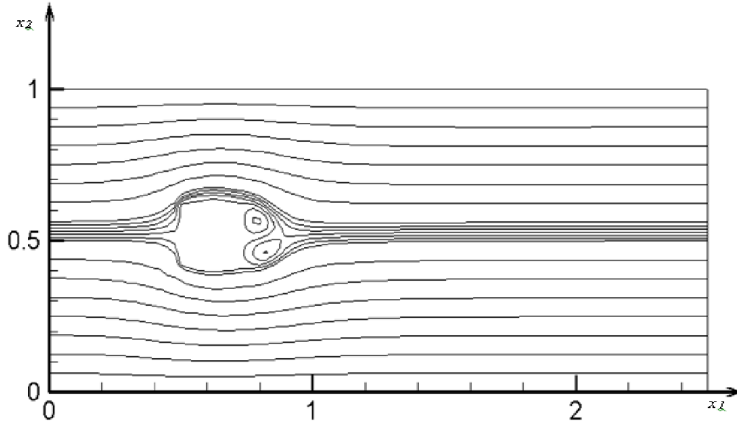
**Figure 1.** Physical region

During the calculations the following values  $\mu = 10_{-3}$ ,  $N_1 = 100$ ,  $N_2 = 50$  were used.

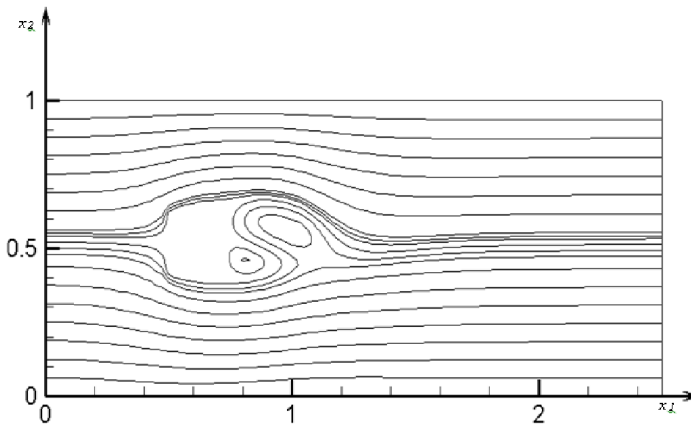
Both methods are well-considered and gives a qualitative picture of the flow of liquid. In the first method, the current function requires three arrays, which requires more machine resources. And the second method of fictitious regions allows errors due to the lower coefficients inside the fictitious region.

## Conclusion

Thus, we consider two methods for solving the Navier-Stokes equations of a viscous incompressible fluid in the variables velocity and current function. A method for solving the elliptic equation is developed, taking into account the condition of unambiguity of pressure. This condition allows you to determine the coefficient that is used in the



**Figure 2.** The results of problem (3), (6), (8) – (10) numerical solution



**Figure 3.** The results of problem (14) – (16) numerical solution

formula (11). The second method is the dummy area method, which does not require the use of the pressure uniqueness condition. The considered methods are used for numerical calculations of the flow of a viscous incompressible fluid in a two-connected region. The isolines of the current function are shown as graphs. The results of solving the original

problem by different methods coincide. From this we can conclude that the dummy area method is efficient and easy to implement.

## References

1. Bugrov A. N., Smagulov sh. S. method of fictitious domains in boundary value problems for the Navier-Stokes equation // Mathematical models of fluid flow/ an SSR Sib.otd-nie ITPM .Novosibirsk, 1978, Pp. 79-89.
2. Smagulov sh. S., Orunkhanov M. K. approximate method for solving the hydrodynamic equation in multi-connected domains // DAN SSR.-1981.-Vol. 260, No. 5, -Pp. 1078-1082.
3. Smagulov sh. S., Danaev N. T., Temirbekov N. M. modeling of boundary conditions for pressure and full head in hydrodynamic problems using the method of fictitious regions // Reports of the Russian Academy of Sciences. - 2000. - Vol. 374, No. 3. - Pp. 333-335.
4. Smagulov Sh. S, Temirbekov N. M. Kamerbaev K. Simulation by the method of fictitious regions of the pressure condition in problems of viscous fluid flow. math. 2000, Vol. 3, No. 1, pp. 57-62
5. Temirbekov, N.M., Zhaksylykova, Z.R. An iterative method for solving nonlinear Navier-Stokes equations in complex domains taking into account boundary conditions with uniform accuracy
6. R. Glowinski , T-W. Pan , J. Periaux, A fictitious domain method for Dirichlet problem and applications. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1994, 111, pp.283-303.
7. Guoliang Chai, Junwei Su, Le Wang, Chunlei Yu, Yigen Zhang, and Zhaolin Gu. Improving the Accuracy of Fictitious Domain Method Using Indicator Function from Volume Intersection //Advances in Mathematical PhysicsVolume 2019, Article ID 5450313, 18 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/5450313>
8. Stany Gallier, Elisabeth Lemaire, Laurent Lobry, François Peters. A fictitious domain approach for the simulation of dense suspensions. Journal of Computational Physics, Elsevier, 2014, 256, pp.367-387.
9. Temirbekov, N., Tokanova, S., Malgazhdarov, Y. Information technology for numerical simulation of viscous incompressible flow in biconnected domains // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2016.-88(3), P.441-448. ISSN: 18173195

# The Dynamics of Taylor Green Vortex Depending on the Magnetic Field

Bakhytzhan Zhumagulov<sup>1</sup>[0000–0003–0384–9344],  
Dauren Zhakebayev<sup>1,2</sup>[0000–0002–0642–327X],  
Aigerim Abdibekova<sup>1,3</sup>[0000–0002–2540–0508], and  
Aidar Assylbekuly<sup>1,4</sup>[0000–0003–1995–8967]

<sup>1</sup> Kazakh national university named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan  
zhumagulov.bakytzhan@gmail.com  
<sup>2</sup> Dauren.zhakebayev@gmail.com  
<sup>3</sup> Abdibekov.sultanbek@gmail.com  
<sup>4</sup> asylbekuly@gmail.com

**Abstract** In this paper, we consider the simulation of the magnetohydrodynamic (MHD) Taylor Green vortex problem using a hybrid method that combines finite-difference and spectral methods. To simulate the MHD turbulent process, the three-dimensional unsteady Navier - Stokes equation is used taking into account the Lorentz force. The dissipation problem of MHD turbulence is solved for different Hartmann numbers and for a fixed Reynolds number. The equation of motion is solved using the finite difference method in combination with a pentagonal matrix, which provides a third order of accuracy in space and a second order of accuracy in time, and a spectral method for solving the Poisson equation. The simulation results were compared with the analytical solution and the simulation results of other authors.

**Keywords:** Taylor Green vortex, Magnetohydrodynamics, Finite difference method, Spectral method

## Introduction

The Taylor-Green vortex problem is a pattern of the generation of small - scale vortices obtained by three-dimensional stretching of vortices and the resulting turbulence. [1] considers the influence of the fundamental process in a turbulent flow, the dissipation of vortices, the cascade transition of vortices into smaller and smaller vortices. The analytical solution of the Navier-Stokes equations by successive approximations is used, where the kinetic energy and its dissipation rate were determined analytically.

A dynamic model of a viscous and inviscid three - dimensional Taylor - Green vortex flow (TG) is studied by [2]. The problem is solved in two ways: by direct spectral numerical solution of the Navier-Stokes equations with a grid resolution of  $256^3$  and an analysis of power series in time. As a result of the study, it was shown that a strong extension of the vortices occurs at a later time, while at the early stage the flow is not laminar and viscous. At high Reynolds numbers, the curls of invisibly formed vortex sheets twist, which then undergo instability, accompanied by reconnection processes,

which make the flow more chaotic with expanded sections with high vorticity appearing away from impenetrable walls. Later, the incompressible Navier-Stokes equation is simulated by [3], on a grid with a resolution of  $864^3$  using the spectral method with flow symmetry, where the initial Taylor - Green condition with periodic boundary conditions are established. As a result, it is seen that turbulent activity strongly correlates with low pressure zones, and this is due to the fact that the square vorticity is spatially more concentrated than energy dissipation.

Henceforward, it began a study of the evolution and sustainability of decaying magnetohydrodynamic flow Taylor Green. For this purpose, the evolution of the forced Taylor - Green magnetohydrodynamic system by direct numerical simulation of the equations of MHD are studied by [4]. The magnetic field of stars and telluric planets is explained by the dynamo instability created by a turbulent electrically conductive fluid in which the induction due to motion captures magnetic diffusion. The system reaches a completely nonlinear magnetohydrodynamic (MHD) regime due to the energy exchange between the speed and the magnetic field. The trajectories of a liquid element vary from a chaotic quasi-isotropic (kinematic phase) to the average magnetic field alignment (saturated phase). The statistics of kinetic and magnetic fluctuations along the fluid trajectories also change. All this is accompanied by a sharp increase in the time of correlation of velocity and magnetic fields experienced by tracers, significantly exceeding one turbulent time of revolution of a large vortex. A remarkable consequence is the intermittent scaling of the structural functions of the Lagrange magnetic field at unusually large time scales.

In the paper[5] pseudo-spectral modeling with grid resolution of up to  $2048^3$  for simulation Taylor- Green vortex problem is used. It is shown that the selected flux leads to a steep spectrum of the total energy with power-law behavior  $k^{-2}$ . The symmetry violation of this flow was studied using exciting perturbations of various amplitudes, that the finite amplitude perturbation perturbs their Reynolds number, for which the perturbation will increase sufficiently at the peak of the dissipation rate, which will lead to nonlinear feedback into the Green flux and subsequent violation of Tay's symmetry.

This work deals with the modelling of magnetohydrodynamic (MHD) Taylor Green vortex problem using a hybrid method combining finite-difference and spectral methods. To simulate the magnetohydrodynamic turbulent process the three-dimensional non-stationary Navier - Stokes equation along with Lorentz force is used. The problem of MHD turbulence decay is solved at different Reynolds numbers: by using the hybrid method, where the equation of motion is solved by using a finite-difference method in combination with penta-diagonal matrix, which ensures a high-order accuracy, and a spectral method for solution of the Poisson equation, which is highly efficient.

Applying vertical magnetic field  $B = -H_0\bar{k}$  effect in the Navier-Stokes equations is the inclusion of the Lorentz force to the momentum equations  $F_l = J \times B$  where  $J = \sigma(E + V \times B)$  - is electric current density  $E$  - is electric field strength, which we set equal to zero, and  $\sigma$  is electric conductivity,  $V = u_1\bar{i} + u_2\bar{j} + u_3\bar{k}$  - velocity of fluid, and all of these in combination we obtain  $F_l = \sigma(V \times B) \times B$  - Lorentz force, where  $F_l = \sigma[(u_1\bar{i} + u_2\bar{j} + u_3\bar{k}) \times (-H_0\bar{k})] \times (-H_0\bar{k})$  is in detail, after using the properties of the multiplication of unit vectors, we obtain  $F_l = \sigma(u_1H_0\bar{j} - u_2H_0\bar{i}) \times (-H_0\bar{k})$ ,



or  $F_l = \sigma(-u_1 H_0^2 \bar{i} - u_2 H_0^2 \bar{j})$ , and  $F_l = F_1 + F_2 + F_3$ , where  $F_1 = -\sigma u_1 H_0^2 \bar{i}$ ,  $F_2 = -\sigma u_2 H_0^2 \bar{j}$ ,  $F_3 = 0$  by [7].

We define the occurrence of turbulence using perturbation expansion of Taylor Green as initial conditions for the convective term:

$$\begin{cases} u_1(x_1, x_2, x_3, t=0) = \cos(ax_1) \sin(ax_2) \sin(ax_3), \\ u_2(x_1, x_2, x_3, t=0) = -\sin(ax_1) \cos(ax_2) \sin(ax_3), \\ u_3(x_1, x_2, x_3, t=0) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

and assuming periodic conditions in a cubic domain:  $0 \leq x_1 \leq L_B$ ,  $0 \leq x_2 \leq L_B$  and  $0 \leq x_3 \leq L_B$ . The three dimensional Navier-Stokes equation with magnetic field:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}_i \bar{u}_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) + F_i, \\ \frac{\partial(\bar{u}_i)}{\partial x_i} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

where  $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3$  - the velocity components,  $x_1, x_2, x_3$  - coordinates,  $\bar{F}_1 = -N\bar{u}_1$ ,  $\bar{F}_2 = -N\bar{u}_2$ ,  $\bar{F}_3 = 0$  - non-dimensional Lorentz force,  $N = \sigma L H_0^2 / \rho V_0 = Ha^2 / Re$  is the Stuart number, where  $Ha = H_0 L \sqrt{\sigma / \mu}$  - Hartmann number,  $H$  - magnetic field strength,  $\sigma$  is the conductivity of the medium, which is determined from plasma physics.  $\bar{p}$  is the full pressure,  $Re$  is the Reynolds number.  $L_1 = L_2 = L_3 = L_B$  is the typical length of the domain,  $\nu$  is the kinematic viscosity coefficient,  $\rho$  is the density of the flow,  $t$  - nondimensional time. Taylor and Green obtained a perturbation expansion of the velocity field, up to  $O(t^5)$ . Solution of [1] for the velocity field is given as:

$$\begin{aligned} u_1(x_1, x_2, x_3, T) = & \delta_1 \cos(x_1) \sin(x_2) \sin(x_3) + \alpha_1 \sin(2x_1) \cos(2x_3) + \\ & + \frac{2}{3} \gamma_2 \cos(3x_1) \sin(x_2) \sin(x_3) + \gamma_2 \cos(x_1) \sin(3x_2) \sin(x_3) - \\ & - \gamma_3 \cos(x_1) \sin(x_2) \sin(3x_3) - \beta_1 \cos(3x_1) \sin(x_2) \sin(3x_3); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} u_2(x_1, x_2, x_3, T) = & -\delta_1 \sin(x_1) \cos(x_2) \sin(x_3) + \alpha_1 \sin(2x_2) \cos(2x_3) - \\ & - \gamma_2 \sin(3x_1) \cos(x_2) \sin(x_3) - \frac{2}{3} \gamma_2 \sin(x_1) \cos(3x_2) \sin(x_3) + \\ & + \gamma_3 \sin(x_1) \cos(x_2) \sin(3x_3) + \beta_1 \sin(x_1) \cos(3x_2) \sin(3x_3); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} u_3(x_1, x_2, x_3, T) = & -\alpha_1 [\cos(2x_1) + \cos(2x_2)] \sin(2x_3) - \\ & - \gamma_2 \sin(3x_1) \sin(x_2) \cos(x_3) + \gamma_2 \sin(x_1) \sin(3x_2) \cos(x_3) + \\ & + \beta_1 \sin(3x_1) \sin(x_2) \cos(3x_3) - \beta_1 \sin(x_1) \sin(3x_2) \cos(3x_3); \end{aligned} \quad (5)$$

where

$$\delta_1 = \left[ 1 - \frac{3T}{Re} + \left( \frac{9}{Re^2} - \frac{1}{16} \right) \frac{T^2}{2} - \left( \frac{27}{2Re^2} - \frac{23}{32} \right) \frac{T^3}{3Re} + \right. \\ \left. + \left( \frac{31}{132 \cdot 64} - \frac{185}{48Re^2} + \frac{27}{2Re^4} \right) \frac{T^4}{4} - \left( \frac{555}{44 \cdot 32 \cdot 8} - \frac{2575}{192Re^2} + \frac{81}{8Re^4} \right) \frac{T^5}{5Re} \right];$$

$$\alpha_1 = -\frac{1}{8} \left[ T - \frac{7T^2}{Re} + \left( \frac{74}{3Re^2} - \frac{43}{44 \cdot 12} \right) T^3 - \left( \frac{175}{3Re^3} - \frac{43}{44} \right) \frac{T^4}{4} \right];$$

$$\beta_1 = -\frac{1}{16} T^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{13}{2} \frac{T}{Re} \right);$$

$$\gamma_2 = -\frac{15}{176} T^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{31}{6} \frac{T}{Re} \right);$$

$$\gamma_3 = -\frac{1}{16} T^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{31}{6} \frac{T}{Re} \right).$$

$T$  is dimensional time defined in Table 1.

The resulting average kinetic energy is:

$$E_k = \frac{U_0^2}{8} u'^2, \quad (6)$$

where

$$u'^2 = 1 - \frac{6T}{Re} + \frac{18T^2}{Re^2} - \left( \frac{5}{24} + \frac{36}{Re^2} \right) \frac{T^3}{Re} + \left( \frac{5}{2Re^2} + \frac{54}{Re^4} \right) T^4 - \\ - \left( \frac{5}{44 \cdot 12} + \frac{367}{24Re^2} + \frac{4.81}{5Re^4} \right) \frac{T^5}{Re} + \left( \frac{361}{44 \cdot 32} + \frac{761}{12Re^2} + \frac{324}{5Re^4} \right) \frac{T^6}{Re^2}.$$

The dissipation rate is written in the following form:

$$W = \mu \frac{3U_0^2 a^2}{4} W', \quad (7)$$

where

$$W' = 1 - \frac{6T}{Re} + \left( \frac{5}{48} + \frac{18T^2}{Re^2} \right) T^2 - \left( \frac{5}{3} + \frac{36}{Re^2} \right) \frac{T^3}{Re} + \\ + \left( \frac{50}{99 \cdot 64} + \frac{1835}{9 \cdot 16Re^2} + \frac{54}{Re^4} \right) T^4 - \left( \frac{361}{44 \cdot 32} + \frac{761}{12Re^2} + \frac{324}{5Re^4} \right) \frac{T^5}{Re}.$$

## Numerical method

To solve the MHD Taylor Green vortex problem, a scheme of splitting by physical parameters is used:

$$\begin{aligned} \text{I. } & \frac{(\bar{u}^*)^{n+1} - (\bar{u})^n}{\Delta t} - \frac{1}{2Re} \nabla^2 (\bar{u}^*)^{n+1} = \frac{1}{2Re} \nabla^2 \bar{u}^n + \frac{3}{2} K^n - \frac{1}{2} K^{n-1}; \\ \text{II. } & \Delta p = \frac{\nabla(\bar{u}^*)^{n+1}}{\tau}; \\ \text{III. } & \frac{(\bar{u})^{n+1} - (\bar{u}^*)^{n+1}}{\Delta t} = -\nabla p; \end{aligned}$$

where  $K^n = -(\bar{u}^n \nabla) \bar{u}^n + F_l^n - (\nabla \tau^u)^n$ .

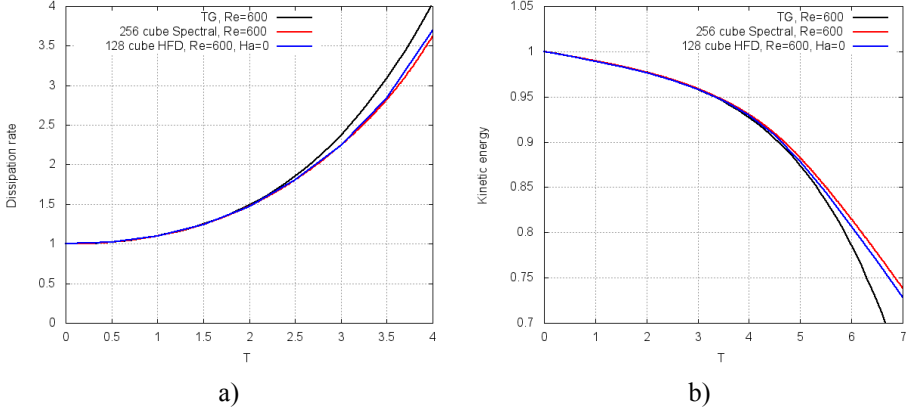
During the first stage, the full magneto hydrodynamic equation system is solved without the pressure consideration. For approximation of the convective and diffusion terms of the intermediate velocity field a finite-difference method in combination with penta-diagonal matrix is used, which allowed to increase the order of accuracy in space. The numerical algorithm for the solution of incompressible MHD turbulence without large eddy simulation is considered at [6]. The intermediate velocity field is solved using the Adams-Bashfort scheme in combination with the five-point sweep method. At the second step, the pressure Poisson equation is solved, which ensures that the continuity equation is satisfied. The Poisson equation is transformed from the physical space into the spectral space by using a Fourier transform. To solve the three-dimensional Poisson equation, the spectral conversion in combination with matrix sweeping algorithm is developed [6]. The resulting pressure field in the third stage is used to recalculate the final velocity field [9]. At the fourth stage, the equation for temperature is solved by using Adams-Bashforth scheme. At the fifth stage, for the solution of concentration electron equation the similar algorithm as for solution of temperature the Adams Bashforth scheme is used.

## Simulation results

Simulation of Taylor Green vortex without magnetic field at different Reynolds numbers was compared with the analytical solution from the point of view of: the average kinetic energy the average dissipation rate of the turbulent flow, and microscale. The grid resolution was set to  $128 \times 128 \times 128$ . The Reynolds numbers is equal to  $Re = 600$ .

Quantitative measure of the solution Taylor Green vortex with respect to non-dimensional time for various methods, such as spectral method, analytical solution and HFDM method are furnished in Figures 1 for  $Re = 600$  and  $Ha = 0$ . The spectral method solution at  $256^3$  grid resolution can be viewed as benchmark by [12] for others, since the analytical solution valid only for short-term time. At Fig. 1a we observe that analytical solution provides a good agreements of dissipation rate only for  $T < 2.4$ . HFDM is in good quantitative agreement with the spectral method till  $T = 3.5$ , as numerical solution can provide good results for long term. The average error between analytical and numerical solutions for dissipation rate is equal to  $Error(\varepsilon) = |\varepsilon^{HFDM} - \varepsilon^{TG}| = 10^{-2}$ . At Figure 1 the comparison result of energy spectra for Taylor Green vortex problem by analytical solution, spectral method and HFDM demonstrates excellent agreements till  $T = 4$ . The error between analytical and numerical solutions

for the average kinetic energy is defined as:  $Error(E_k) = |E_k^{HFD} - E_k^{TG}| = 10^{-4}$  for  $Ha = 0$ .



**Figure 1.** Comparison of: a) dissipation rate; b) kinetic energy results with analytical solution and spectral method solution at  $Re = 600$  for Hartmann number:  $Ha = 0$

In Table 1, parameters used in the simulations are compared with those used in the analytical solution of the Taylor-Green vortex problem.

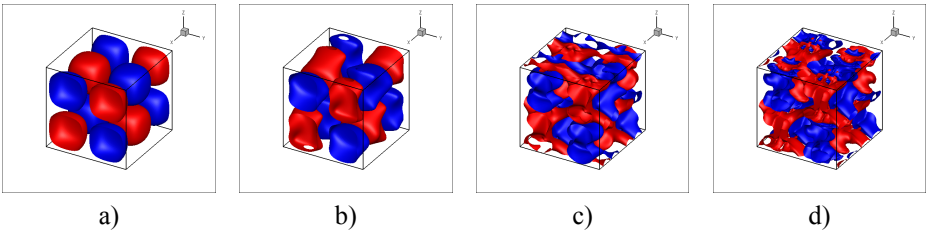
Visualization of the velocity and vorticity of the Taylor Green vortex problem without magnetic field are shown at Figures 2-4. At Figure 2 illustrates the velocity component  $u_1$ , at Figure 3 the velocity component  $u_2$  and at Figure 4 the velocity

**Table 1.** The preset parameters for the comparison results of exact solution with numerical solution of vortex problem Taylor - Green

Initial parameters for Taylor- Green vortex problem	Initial parameters for this simulation problem
$L_B = 2\pi$	$L_B = 1$
$a = \frac{2\pi}{L_B} = 1$	$a = \frac{2\pi}{L_B} = 2\pi$
$Re = \frac{U_0}{va} = \frac{U_0 L_B}{v(2\pi)}$	$Re = \frac{U_0}{va} = \frac{U_0 L_B}{v(2\pi)}$
$v = \frac{U_0 L_B}{2\pi Re} = \frac{1}{Re}$	$v = \frac{U_0 L_B}{2\pi Re} = \frac{1}{2\pi Re}$
$dt = 0.01 = \frac{dx}{U_0} CFL = \frac{2\pi}{128} CFL$	$dt = \frac{dx}{U_0} CFL = \frac{0.10185916}{128}$
$CFL = 0.10185916$	$CFL = 0.10185916$
$T = aU_0 t = \frac{2\pi U_0 t}{L_B}$	$T = aU_0 t = \frac{2\pi U_0 t}{L_B}$
$k(t=0) = \frac{1}{8} U_0^2 = 0.125d0$	$k(t=0) = \frac{1}{8} U_0^2 = 0.125d0$
$\epsilon(t=0) = \frac{3}{4} v U_0^2 a^2 = \frac{0.75}{Re} \left( \frac{2\pi}{L_B} \right)^2$	$\epsilon(t=0) = \frac{3}{4} v U_0^2 a^2 = \frac{0.75}{2\pi Re} \left( \frac{2\pi}{L_B} \right)^2$

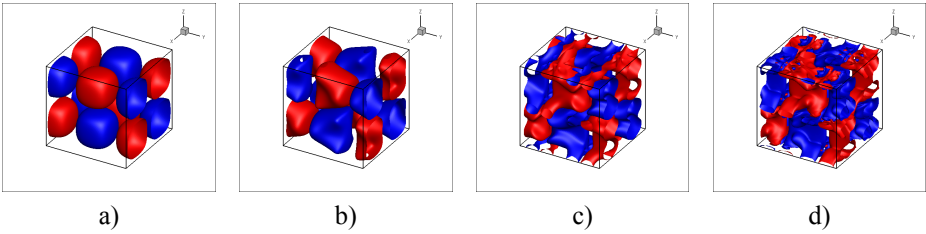
component  $u_3$  and vorticity components for the initial conditions of Taylor Green vortex and maximum dissipation rate at non-dimensional time  $T = 6$  for  $Re = 600$ .

At Figure 2 it is demonstrates the evolution of  $u_1$  component of velocity with contour levels of  $-0.25$  which is blue colour and  $+0.25$  which is highlighted to red colour over non-dimensional times. Starting from the non dimensional time  $T = 2$ , the evolution and stretching of vortices are clearly visible, turning into highly turbulent dynamics, where relatively smooth structures rotate, and eventually dissipate at approximately  $T = 6$  at the final stage of the simulation, the dissipation of turbulent structures is observed in such a way that enstrophy tends to its original value.



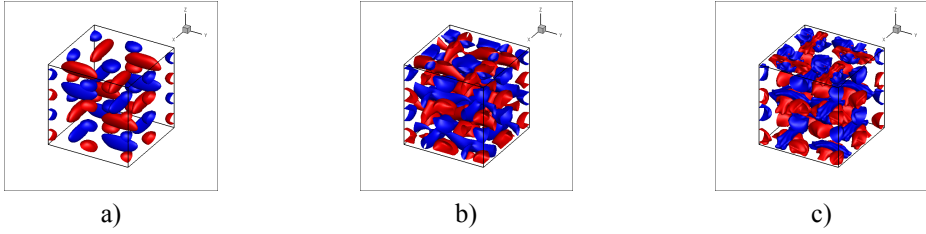
**Figure 2.** Visualisations of the  $u_1$  component vorticity iso-contours for  $Ha = 0$  at various non-dimensional times: a)  $T = 0$ - initial Taylor Green vortex , b)  $T = 2$ , c)  $T = 4$ , d)  $T = 6$ .

The dynamics of  $u_2$  component of the vorticity field at various non-dimensional times are shown in Figure 3. At Figure 4 the component  $u_3$  of the vorticity field at various nondimensional times is illustrated.



**Figure 3.** Visualisations of the  $u_2$  component vorticity iso-contours for  $Ha = 0$  at various non-dimensional times: a)  $T = 0$ , b)  $T = 2$ , c)  $T = 4$ , d)  $T = 6$ .

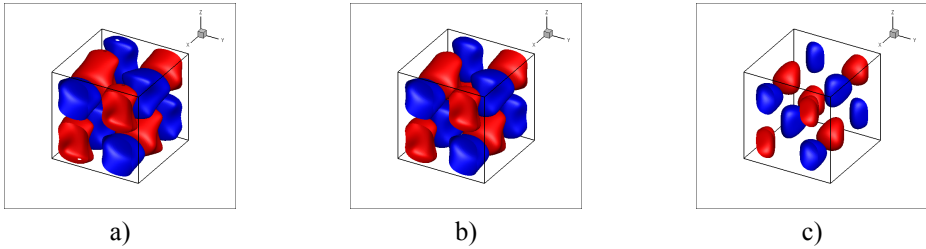
The affection of different magnetic field depending on Hartmann numbers to the Taylor -Green vortex are shown in Figures 5-8. The dynamics of  $u_1$  velocity component at  $T = 2$  non dimensional time in Figure 5 and at  $T = 4$  non dimensional time in Figure 6 for different Hartmann numbers: a)  $Ha = 25$ ; b)  $Ha = 50$ ; c)  $Ha = 100$  are showed. Also dynamics of  $u_2$  components at  $T = 2$  non dimensional time step in Figure 7 and at  $T = 4$  in Figure 8 for different Hartmann numbers are illustrated. It is seen that with



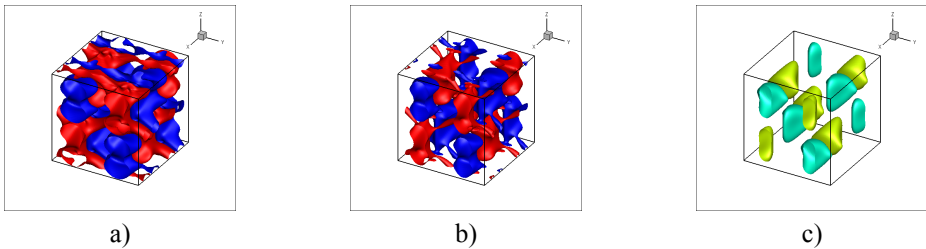
**Figure 4.** Visualisations of the  $u_3$  component vorticity iso-contours for  $Ha = 0$  at various non-dimensional times: a)  $T = 2$ , b)  $T = 4$ , c)  $T = 6$ .

an increase of the Hartmann number, the rate of vortex dissipation under the influence of a magnetic field occurs faster.

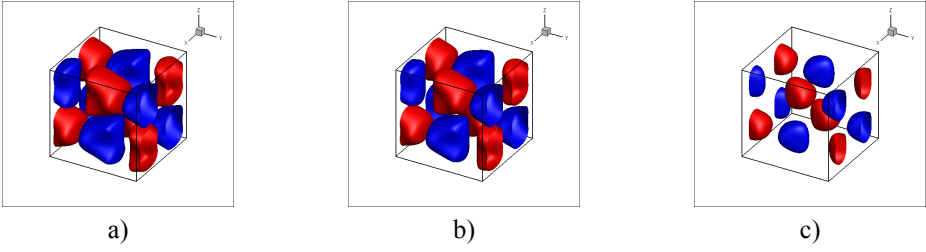
In Figures 2 - 4 without the influence of a magnetic field  $Ha = 0$ , the dissipation rate occurs at the moment of non-dimensional time  $t = 6$ , and in Figures 5-8 the Taylor Green vortex flow at initial time with taking into account the influence of the magnetic field for Hartmann number  $Ha = 100$ , the vortex dissipation occurs at the moment  $T = 4$ , which means the frictional forces occurs under the influence of magnetic fields and leads to the rapid decay of turbulence and vortex dissipation.



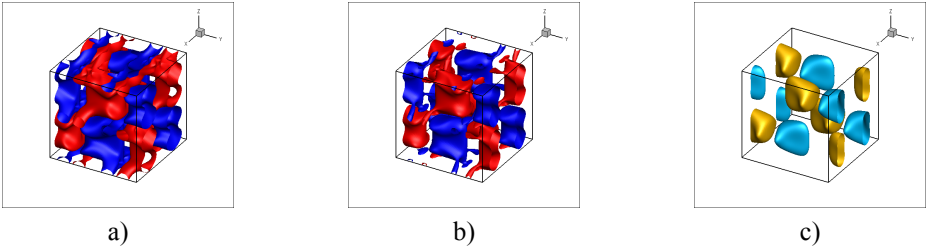
**Figure 5.** Dynamics of  $u_1$  vortex components at  $T = 2$  for different Hartmann  $Ha$  numbers: (a)  $Ha = 25$ ; (b)  $Ha = 50$ ; (c)  $Ha = 100$ .



**Figure 6.** Dynamics of  $u_1$  vortex components at  $T = 4$  for different Hartmann  $Ha$  numbers: (a)  $Ha = 25$ ; (b)  $Ha = 50$ ; (c)  $Ha = 100$ .



**Figure 7.** Dynamics of  $u_2$  vortex components at  $T = 2$  for different Hartmann  $Ha$  numbers: (a)  $Ha = 25$ ; (b)  $Ha = 50$ ; (c)  $Ha = 100$ .



**Figure 8.** Dynamics of  $u_2$  vortex components at  $T = 4$  for different Hartmann  $Ha$  numbers: (a)  $Ha = 25$ ; (b)  $Ha = 50$ ; (c)  $Ha = 100$ .

## Conclusion

Solution of MHD Taylor Green vortex problem based on the three-dimensional unsteady Navier - Stokes equation with taking into account the Lorentz force by hybrid finite difference method depending on Hartmann number. The finite difference method in combination with a pentagonal matrix is used for solving equation of motion, which provides a third order of accuracy in space and a second order of accuracy in time, and spectral method for solving the Poisson equation by fast Fourier transform library. The simulation results in non-magnetic case were compared with the analytical solution and the Spectral method results and show good agreements. Analyzing the simulation results it is possible to make the following conclusion: vertical oriented magnetic field producing by Lorentz have a significant impact on MHD Taylor Green vortex flow, with increasing Hartmann number, the amplitude of the velocity components  $u_1$  and  $u_2$  decrease by half, while the amplitude of the velocity of the component  $u_3$  remains unchanged, since the magnetic field is directed parallel to the  $u_3$  coordinate axis and has no influence of external forces. Also it was found that with an increase in the Hartman number the vortices are dissipated faster, which means that friction forces occur when a magnetic field is applied and lead to rapid dissipation of turbulence. The

obtained simulation results allow us to sufficiently calculate the change in turbulent characteristics for various Hartmann and Reynolds numbers.

## Acknowledgement.

This work was supported by Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan [Grant No. AP05133516, 2020]

## References

1. Taylor, G.I. and Green, A.E.: Mechanism of production of small eddies from large ones, Proceedings of the royal society, Mathematics and physical sciences. Proceedings of the royal society, Mathematics and physical sciences **158**, 499 – 521 (1937).
2. Brachet, M. and Meiron, D. and Orszag, S. and Nickel, B. and Rudolf, M. and Frisch, U.: Small - scale structure of the Taylor- Green vortex. Journal of Fluid Mechanics **130**, 411 – 445 (1983)
3. Brachet, M.: Direct simulation of three dimensional turbulence in the Taylor - Green vortex. Fluid Dynamics Research **8**, 1- 8 (1991)
4. Homann, H. and Ponty, Y. and Krstulovic, G. and Grauer, R.: Structures and Lagrangian statistics of the Taylor - Green dynamo. New journal of physics **16**, 1 – 17 (2014)
5. Dallas, V. and Alexakis, A.: Symmetry breaking of decaying magnetohydrodynamic Taylor-Green flows and consequences for universality. Phys. Rev E. **88**, 063017 (2013)
6. Abdibekova, A. and Zhakebayev, D. and Abdigaliyeva, A. and Zhubat, K.: Modeling of turbulence energy decay based on hybrid methods. Engineering Computation **35**, 1965 – 1977(2018)
7. Saijadi, H. and Atashafrooz, M.: Double MRT thermal lattice Boltzmann simulation for MHD natural convection of nanofluids in an inclined cavity with four square heat sources. Heat and Mass Transfer **126**, 489 - 503 (2018)
8. Saijadi, H. and Amri Delouei, A. and Sheikholeslam, M. and Atashafrooz, M. and Succi, S.: Simulation of the dimensional MHD natural convection using double MRT Lattice Boltzmann method. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications **515**, 474 - 496 (2019)
9. Zhakebayev, D. and Zhmagulov, B. and Abdibekova, A.: The decay of MHD turbulence depending on the conductive properties of the environment. Magnetohydrodynamics **50**, 121 – 138 (2014)
10. Kampanis, N. and Ekaterinaris, J.A.: A staggered grid, high - order accurate method for the incompressible Navier-Stokes Equations. Journal of Computational Physics **215**, 589 – 613 (1985)
11. Kim, J. and Moin, P.: Application of a fractional - step method to incompressible Navier-Stokes Equations. Journal of Computational Physics **215**, 308 – 323, (1985)
12. Bo, Yu. and Wang, P. and Guo, Zh. and Wang, L.P.: DUGKS simulations of three - dimensional Taylor- Green vortex flow and turbulent channel flow. Journal of Computers and Fluids **155**, 9 – 21 (2017)



# Наследие Аль-Фараби в современном образовании

Такир Оспанович Балыкбаев, Есен Ыкыласович Бидайбеков

Аль-Фараби (870-950 гг.) – один из величайших ученых, мыслителей и энциклопедистов раннего средневековья, уроженец Казахстана и представитель древних тюркских племен, на основе которых был образован нынешний Казахский народ. Как обладателю незаурядных способностей во всех отраслях знаний, ему принадлежит почетное место среди огромной плеяды ученых средневекового Востока, которые еще при жизни называли его вторым учителем - «ал - муаллимасани» после Аристотеля.

В текущем году 1150 летний юбилей ученого отмечается ЮНЕСКО и в Казахстане. Можно с гордостью говорить о проводимой в республике работе по изучению жизни и научного наследия аль-Фараби. Отделом восточной философии и фарабиведения института философии Академии наук РК проводятся исследования по диалектике, эпистемологии и социальной философии Абу Насира аль-Фараби. Центр фарабиведения в КазНУ имени аль-Фараби занимается переводом, исследованием, а также пропагандированием наследия ученого в совершенно новых направлениях, свободных от марксистских взглядов. В Казахском национальном педагогическом университете им. Абая на протяжении последних десятилетий проводятся научно-методические исследования по изучению и внедрению в систему образования математического наследия великого ученого на основе современных цифровых технологий с целью популяризации его трудов и привлечения подрастающего поколения к шедеврам науки, их духовно-нравственного и патриотического воспитания.

Математическое наследие аль-Фараби достаточно хорошо изучено крупным казахстанским ученым в области истории математической науки и педагогики исламского Востока Ауданбеком Кубесовым (1932-2008 гг.). Его труды «Математическое наследие аль-Фараби», «Математические трактаты» оцифрованы в Мичиганском университете (2007 г., 2010 г.), «Комментарии к «Альмагесту» Птолемея» – в Калифорнийском университете (2008 г.) [1-3], а монография «Математическое наследие аль-Фараби» [3] получила высокую оценку зарубежных ученых [4 и др.]. В ней на основе опубликованных и неопубликованных рукописей ученого освещены математика в классификации аль-Фараби, геометрия, тригонометрия и ее применение в астрономии, арифметика, алгебра, учение о вероятностях и математической теории музыки и др.

А. Кубесовым впервые изучен до него неизвестный геометрический трактат аль-Фараби «Книга духовных искусных приемов и природных тайн о тонкостях геометрических фигур», единственная известная нам рукопись которой хранится в библиотеке Упсальского университета в Швеции. Данный труд целиком посвящен геометрическим построениям, важным в землемерии, архитектуре, технике и геодезии, что соответствует общей характеристике математики средневекового Востока, которая, в основном, была прикладно-вычислительной.

В нем предлагаются уникальные алгоритмы огромного количества (143) геометрических задач на построение с помощью циркуля и линейки даже для задач, в

которых точное построение невозможно осуществить. Для них приводится алгоритм, позволяющий делать построение приближенно. Особый интерес среди них вызывают классические задачи древности: о трисекции угла, построении правильных многоугольников, вписанных в круг и ряд других задач, неразрешимых точно с помощью циркуля и линейки. Эти задачи, как указано в книге известных ученых Р. Куранта, Г. Роббинса [6], служат основой для движения к важным областям в современной науке.

Правильные многоугольники всегда привлекали к себе внимание ученых, строителей и архитекторов. Алгоритмы построения некоторых из них рассмотрены еще Евклидом, но большой вклад в решение задач построения подобных многоугольников внес немецкий математик Гаусс. В 1796 году он доказал возможность построения с помощью циркуля и линейки правильного семнадцатиугольника. Ему удалось найти критерий возможности построения правильного  $n$ -угольника с помощью циркуля и линейки и решить проблему построения правильных многоугольников до конца. Этим открытием Гаусс очень дорожил и завещал изобразить на своей могиле правильный семнадцатиугольник, вписанный в круг.

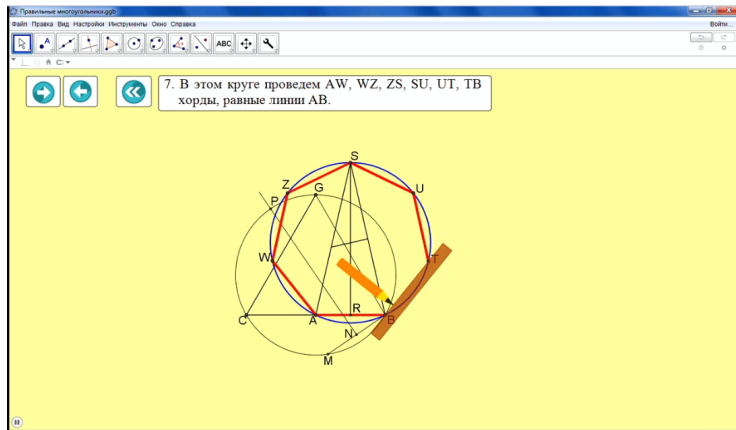
А у аль-Фараби в трактате приведены уникальные алгоритмы построения с помощью циркуля и линейки семи, и девятиугольников, благодаря которым достаточно просто, но с некоторой сравнительно малой погрешностью осуществляется их построение. К примеру, алгоритм построения правильного вписанного семиугольника он описывает так: «Если он скажет: как построить на линии АВ равносторонний семиугольник, то сделаем линию ВС, равной линии АВ, построим на линии АС равносторонний треугольник DAC и опишем около треугольника ADC круг. Проведем в нем хорду - линию АЕ, равную линии АВ, и разделим АЕ пополам в точке G, восставим перпендикуляр GH и продолжим его до окружности круга [рис.1]. Разделим АВ пополам в точке F, восставим в ней перпендикуляр FI, равный перпендикуляру GH. Проведем через точки А, В и I круг ABI и отложим [на нем] дуги АК, KL, LI, IM, MN и NB, равные дуге АВ. Проведем линии АК, KL, LI, IM, MN и NB; это – равносторонний и равноугольный семиугольник» [2].

Данное построение может быть наглядно продемонстрировано в программной среде GeoGebra (рис.1).

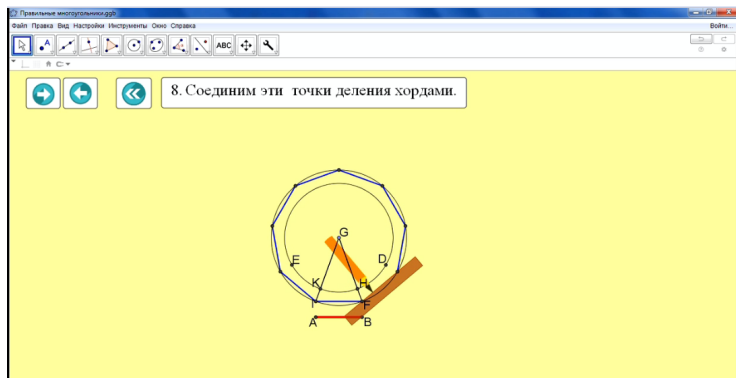
Несложно реализовать в среде GeoGebra и описанный им в трактате алгоритм построения правильного девятиугольника, в основе которой лежит приведенный там же алгоритм построения трисекции угла (рис.2).

Построение девятиугольника по алгоритму аль-Фараби является приближенным и допускает некоторую достаточно маленькую погрешность, которую на чертеже заметить невозможно, но ее несложно обосновать.

Большой интерес вызывают и, представленные в трактатах, задачи на построение в пространстве. Одной из таких задач является задача деления сферы на четыре равные части, являющиеся правильными сферическими треугольниками (рис.3).



**Рисунок 1.** Построение семиугольника по алгоритму аль-Фараби



**Рисунок 2.** Построение девятиугольника по алгоритму аль-Фараби

Достаточно увлекательными являются и алгоритмы решения задач на разделение квадратов, их составление и построение фигур, вписанных в них, которые часто встречаются на практике (рис.4).

Как видно из рисунков, алгоритмический подход ученого к решению математических задач, представление всех геометрических построений в его трактате в виде четкой последовательности действий существенно облегчает их компьютерную реализацию. Это же позволило сотрудникам кафедры информатики и информатизации образования Казахского национального педагогического университета имени Абая разработать цифровые образовательные ресурсы, использование которых может усилить мотивацию изучения геометрического наследия

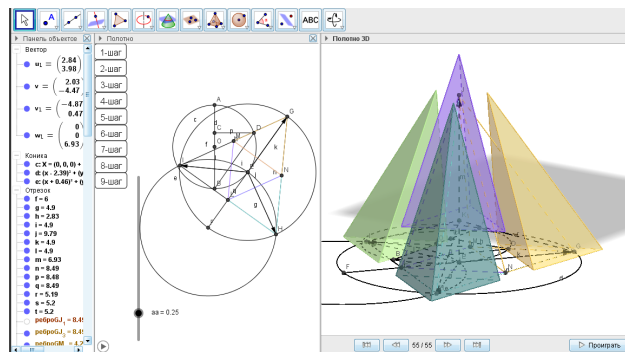


Рисунок 3. Анимирование частей сферы, разделенной по алгоритму аль-Фараби

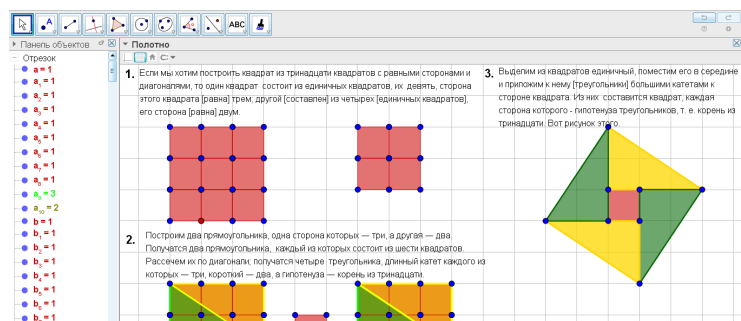


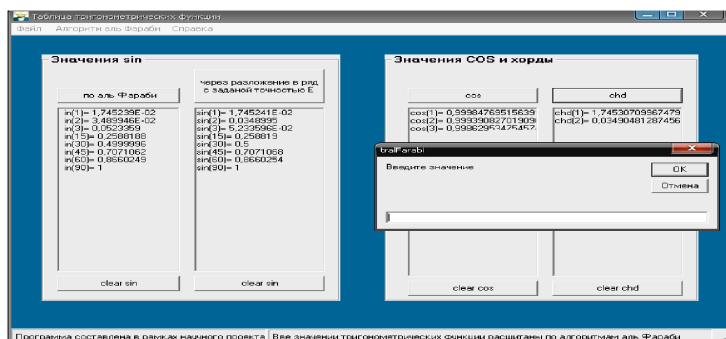
Рисунок 4. Разделение квадратов и составление на их основе нового квадрата

аль-Фараби, обеспечить формирование интереса учащихся к ним и повысить эффективность и качество их обучения.

Среди математических трудов аль-Фараби наряду с геометрией особое место занимает довольно развитая тригонометрия, созданная им в связи с применением математических методов для решения разнообразных задач математической астрономии и географии.

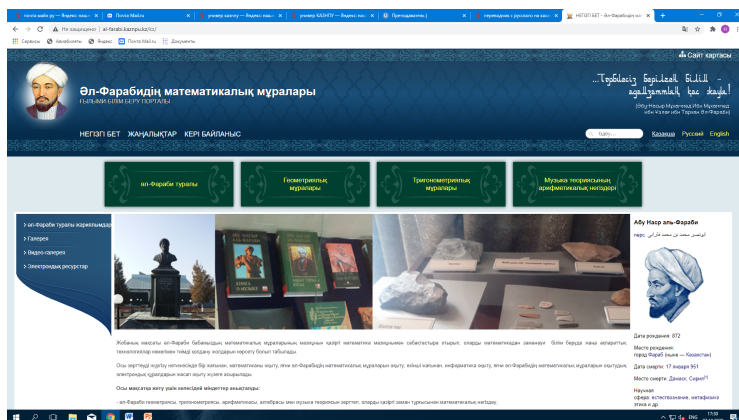
Аль-Фараби значительно улучшает точность вычислений Птолемея тригонометрических функций путем совершенствования приемов вычислений над шестидесятеричными дробями. По его алгоритму:  $\sin i^0 = \sin((i-1)^0 + 1^0) = \sin(i-1)^0 \cos 1^0 + \cos(i-1)^0 \sin 1^0$   $i = 1..n, n \in \mathbb{Z}$   $\cos i^0 = \sqrt{1 - \sin^2 i^0}$  строится таблица значений тригонометрических функций, реализованной в разработанном на кафедре информатики и информатизации образования КазНПУ имени Абая электронном средстве. Убедиться в правильности вычислений значений тригонометрических функций

по алгоритму аль-Фараби, которое точно до шести десятичных знаков, позволяют и реализованные в нем алгоритмы вычислений тригонометрических функций через разложение в ряд с некоторой наперед задаваемой точностью (рис.5).



**Рисунок 5.** Электронное средство для вычисления значений тригонометрических функций по алгоритму аль-Фараби

Все материалы, необходимые для обучения математическому наследию аль-Фараби, включая труды ученого, методические рекомендации по решению задач, представленных в них, разработанные цифровые ресурсы размещены на специально созданном в КазНПУ имени Абая научно-образовательном портале [6].



**Рисунок 6.** Научно-образовательный портал

Наряду с перечисленными достижениями продолжается работа по изучению трудов ученого в области физико-математической сферической тригонометрии и астрономии, арифметики и теории музыки, а также физике, возможностей их внедрения в современную систему образования, разработке цифровых образовательных ресурсов для эффективного их обучения.

Известно также, что аль-Фараби был одним из величайших личностей в истории педагогики, создавший первую на Востоке конструктивную педагогическую систему. Поэтому требует изучения и педагогическое наследие ученого, которое несомненно займет достойное место в современном образовании.

Сегодня в указанных направлениях ведется активная работа в «Образовательном центре аль-Фараби», открытом в 2019 году в КазНПУ имени Абая.

Следует отметить, что внедрение в систему современного образования богатейшего научно-педагогического наследия ученого окажет значительное влияние на качество подготовки учащихся в ее обучающем, развивающем и воспитательном аспектах, будет способствовать формированию и развитию их научного мировоззрения, чувства патриотизма и интернационализма, а также других социально-ценных мотивов учения за счет осознания огромной его значимости.

## Список литературы

1. Комментарии к «Альмагесту» Птолемея (1975). / пер. с араб. А. Кубесова и Дж. аль-Даббаха. Алма-Ата: Наука.
2. Кубесов, А. К. (1972). Аль-Фараби. Математические трактаты. Алма-Ата: Наука.
3. Кубесов, А. К. (1974). Математическое наследие аль-Фараби. Алма-Ата: Наука.
4. Carry J. Tee (University of Aucland), Kubesov A.K. The Mathematical Heritage of al-Farabi (in Russian). Journal for the history of Arabic science. -No.1 (1978), pp. 150–153.
5. Р. Курант, Г. Роббинс Что такое математика? – М.: МЦНМО, 2015. – 568с.
6. Бидайбеков Е.Ы., Гриншкун В.В., Бостанов Б.Г., Умбетбаев К.У. О разработке и использовании образовательного портала по геометрическому наследию Аль-Фараби в качестве средства информатизации обучения истории математики // Вестник МГПУ. 2015. № 4 (34).

# **Экспериментальное моделирование воздействия на организм лабораторных животных вредных производственных факторов**

Кулзипа Ж. Дакиева, Валерий А. Седелев, Светлана А. Гармашова, Гульфат Ж. Калелова, Асель С. Кайсарова, Жулдыз Т. Тергенбаева

Некомерческое акционерное общество "Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова", Усть-Каменогорск, Казахстан  
ecology2014@mail.ru

**Аннотация** АО "Усть-Каменогорский титано-магниевый комбинат" Казахстана является одним из крупнейших предприятий по производству титана, оснащенным высоко производительным оборудованием и выпускающим одну из лучших в мире титановую губку.

Титан и его сплавы хорошо поддаются обработке давлением и сварке, сохраняют высокие механические свойства и при пониженных температурах. Другим важным достоинством титана является его исключительно высокая химическая стойкость по отношению ко многим агрессивным средам неорганического и органического происхождения. Благодаря этим и другим качествам титан и его сплавы широко используются в современных сверхзвуковых самолетах и ракетах, подводных лодках и морских судах, в химической, пищевой промышленности, а также в других областях современной техники.

В настоящее время условия труда и трудовой процесс титано-магниевого комбината имеют выраженную специфику и оказывают не до конца изученное воздействие на здоровье рабочих, вызывая частые заболевания.

В этой связи представляет интерес изучение профессионального стресса, адаптационных и компенсаторных механизмов организма животных и работающих на титано-магниевом комбинате, а именно показатели симпато-адреналовой и каллекреин-кининовой систем.

Изучение влияния пыли титанового шлака на экспериментальных животных, как одного из основных факторов производственной среды является вопросом чрезвычайной актуальности, который до сих пор не был изучен. Эти исследования необходимы для разработки мероприятий по улучшению условий труда и состояния здоровья рабочих, подвергшихся воздействию комплекса вредных производственных факторов.

**Ключевые слова:** Титано-магниевое производство, пыль титанового шлака, экспериментальные животные, показатели симпато-адреналовой и каллекреин-кининовой систем.

## **Введение**

На промышленном предприятии АО «Усть-Каменогорский титано-магниевый комбинат» (АО «УК ТМК») условия труда до сих пор остаются неудовлетвори-

тельными, несмотря на то, что в последние годы значительно совершенствуются технологические процессы [1;2;3].

В процессе трудовой деятельности (при добыче, обогащении и переработке титановых руд, при получении различных титановых соединений, а также выбивке, переработке и сортировке титановой губки) работники могут подвергаться воздействию пыли металлического титана ( $Ti$ ) и его диоксида ( $Ti_2$ ), высокотоксичных химических соединений – газообразного четыреххлористого титана ( $TiCl_4$ ), продуктов его гидролиза, паров хлора и фосгена.

Многими авторами было изучено комбинированное действие продуктов гидролиза четыреххлористого титана и выявлены хронические заболевания легких у рабочих с длительным стажем работы в цехе по производству четыреххлористого титана и поражение нервной системы.

В таких производственных условиях у рабочих часто отмечались острые респираторные инфекции, хронические бронхиты. Течение хронического пылевого бронхита сопровождалось явлениями выраженной дыхательной недостаточности. Гипертонические риниты и субатрофические фарингиты выявлены при действии четыреххлористого титана и продуктов его двуокиси [4;5;6;7].

В последние годы появились научные сообщения о важности и необходимости исследования тканевых и клеточных процессов при воздействии комплекса неблагоприятных факторов в производстве губчатого титана на организм рабочего, высказывается роль калликреин-кининовой и симпато-адреналовой систем в защите клеточных структур от воздействия этих вредных веществ, ведется поиск критериев и информативных показателей – предвестников ранних нарушений. Однако же все эти литературные сведения фрагментарны и они не позволяют сделать определенные выводы о значимости этих систем в обеспечении адаптационности организма в процессе длительного воздействия комплекса вредных производственных факторов [8;9;10].

Оценка здоровья на современном этапе настоятельно требует разработки научных подходов к выявлению ранних изменений состояния организма под влиянием окружающей среды, в том числе и негативных последствий производственных факторов [11; 12;13].

Известно, что на функциональное состояние организма при трудовой деятельности оказывают влияние, в первую очередь факторы трудового процесса, которые вызывают напряжение регуляторных механизмов (нервные, гуморальные, метаболические) под регулирующим влиянием ЦНС. Степень выраженности их коррелирует с условиями, характером и тяжестью труда. Формирующееся при этом функциональное состояние организма на новой ступени регуляции оценивают как «цену» адаптации [14;15].

Биохимической основой стратегии толерантности является сочетанное снижение катехоламинергических и увеличение серотонинергических влияний на организм, приводящих к падению катаболизма эндогенных полимеров (углеводов, белков, липидов), энергозатрат и потребления кислорода.

Таким образом, адаптивность организма – это непрерывный процесс, состоящий из взаимной связи неспецифических адаптационных реакций, которые формируют относительно стабильное состояние в настоящее время с учетом возможностей



организма в конкретной ситуации и напрямую зависящую от ширины диапазона адаптационных реакций.

В профессиональных условиях адаптация к неблагоприятным факторам производства наиболее часто реализуется через стратегию резистентности [16], которая обеспечивает изменения функции молекулярных и надмолекулярных систем, обуславливая дезадаптацию и дозонологические проявления.

В последнее время вопросы донозологической диагностики становятся все более актуальными, а ее методология и методы активно разрабатываются. При этом привлекает внимание разработка интегральных подходов, позволяющих оценивать нарушения адаптационного процесса до развития заболевания, причем отдается предпочтение малозатратным (в связи с экономическим положением) методам, но имеющим диагностическую ценность как интегральные показатели гомеостаза, связанные с процессами энергообеспечения и регуляцией важных систем и органов жизнедеятельности.

В формировании донозологических состояний важную роль отводят показателям нейрогуморальной регуляции и тканевому метаболизму. Эти исследования представляют интерес в свете созданной в последние годы обобщающей концепции, согласно которой хроническое стрессорное воздействие производственных факторов вызывают изменения в нервной системе (как в центральной, так и в периферической), которые негативно влияют на нервнографические процессы и регуляцию кровообращения [17]

Общеизвестно, что на обменные процессы в клетках, тканях и органах, а также на регуляцию системы кровообращения действуют несколько групп физиологически активных веществ, из которых некоторые являются нейромедиаторами (адреналин, норадреналин, дофамин, ацетилхолин), другие – регуляторами местного действия – кинины и др.

В настоящее время доказано, что у человека симпато-адреналовая система является одной из наиболее ответственных неспецифических звеньев адаптации системы нейрогуморальной регуляции. Симпато-адреналовая система состоит из 3-х анатомо-физиологических отделов, объединенных общностью нейрогуморальной регуляции: центральный отдел – высшие центры регуляции вегетативных функций, расположенны в гипоталамусе и в ретикулярной формации; периферический отдел – симпатическая нервная система; эндокринный отдел – мозговое вещество надпочечников и внемозговое вещество хромаффинная ткань. Деятельность каждого из них реализуется через катехоламины, к которым относятся три биологически активных вещества: дофамин, норадреналин и адреналин, последовательно образующиеся из аминокислоты – диоксифенилаланина. При этом медиаторами нервной системы являются дофамин и норадреналин, а гормонами мозгового слоя надпочечников – адреналин [18;19].

Содержание катехоламинов в органах зависит, в основном, от симпатической иннервации. Наибольшее их количество содержится в сердце, селезенке, слюнных и ушных железах, поджелудочной железе. Эффекторы симпато-адреналовой системы – катехоламины, как химические регуляторы клеточных процессов, возникали уже на ранних стадиях эволюции. Они играют первостепенное значение в жизнедеятельности, обеспечивая нужный уровень адаптационно-

компенсаторных процессов через активацию гипофизарно-адренокортикоидной системы, влияя на нервную трофику и основные виды обмена веществ (в первую очередь – энергетический, затем углеводный, жировой и белковый).

Данные о роли симпато-адреналовой системы у стажированных рабочих титано-магниевого комбината, нами в литературе не обнаружены.

Калликреин-кининовая система – ключевая протеолитическая система, одна из важнейших регуляторных систем, роль которой в здоровом и больном организме раскрыта далеко не полностью. В последнее время расшифрованы структурно-функциональные особенности и молекулярная биология отдельных компонентов калликреин-кининовой системы, молекулярные механизмы взаимодействия и связи с другими системами регуляции. Открыты и изучены рецепторы брадикинина, клонированы гены кининогена и тканевых калликреинов, расшифрованы доменная структура кининогена, плазменного калликреина и некоторых кининов, механизмы контактной системы активации протеолитических систем плазмы крови. Выдвинута гипотеза активации калликреин-кининовой системы, позволяющая предположить, что эта система участвует в регуляции биологической функции сосудистой стенки. Широкий спектр действия кининов проявляется разнообразными эффектами, главными из которых является регуляция периферической микроциркуляции, увеличение проницаемости мембран гематоэнцефалического барьера, регионального кровообращения, передача импульсов в синапсах центральной и периферической нервной системы. Все это обуславливает изучение данной системы при воздействии профессиональных факторов. Последние исследования показали, что брадикинин является мощным фактором, активирующим фосфолипазу A<sub>2</sub> в мембране клеток, с высвобождением вторично генерируемых медиаторов – окиси азота, простагландинов, лейкотриенов. Считается установленной центральная роль ККС в регуляции активности каскадных протеолитических систем плазмы крови: кининогенеза, гемокоагуляции, фибринолиза, комплемента и ренин-ангиотензиновой системы, обеспечивающих процессы адаптации и защиты организма [20;21].

Кинины являются нормальными продуктами жизнедеятельности, образуются в жидких средах всех органов и тканей (плазма, лимфа, межтканевая жидкость). Они выполняют роль химических регуляторов скорости местного и общего кровотока, принимают участие в механизме возникновения функциональной гиперемии миокарда, мозга, некоторых эндокринных желез (панкреатической, слюнной, потовой).

Свободные кинины, образуясь в русле крови, вызывают изменения (расширение) просвета периферических сосудов, которые сопровождаются увеличением скорости местного кровотока и снижением артериального давления. В условиях физиологической нормы содержание свободных (биологически активных) кининов в жидких средах организма невелико (0,1-0,5 нг/мл). Они быстро образуются и быстро разрушаются, период их полужизни в кровяном русле человека и животных колеблется от 10 до 17 сек. Основная роль в регуляции сердечно-сосудистой деятельности принадлежит брадикинину, который образуется из неактивного предшественника – кининогенов. Кининогены являются полуфункциональными гликопротеинами, молекулы которых представлены одной полипеп-

тидной цепью. Они синтезируются, в основном, в печени, легких, почках и в меньшем количестве – в коже и в сердце и перед секрецией в кровь подвергаются посттрансляционному гликолизированию. Отщепление активного кинина от белка, содержащегося в структуре брадикининогена, катализируется ферментом плазмы крови – калликреином, обладающим широким спектром регулирующих функций.

Прекалликреин – предшественник калликреина крови является гликопротеином, синтезируется в гепатоцитах. В настоящее время детально расшифрован молекулярный механизм активации плазменного калликреина в так называемой «контактной системе активации»: активируя протеолитические системы крови, они ответственны за процессы адаптации и защиты, гемокоагуляцию, фибринолиз, комплимент, калликреин-кининовую и ренин-ангиотензивную систему [22]. При нарушении гомеостатического баланса, избыточное образование активных кининов, которое зачастую приобретают каскадный характер, вызывает формирование предельной устойчивости организма к экстремальному воздействию или к определенному патологическому синдрому. Так, установлена патогенетическая роль кининов при сосудистых заболеваниях и интоксикации свинцом. Имеются единичные работы, в которых отражены изменения калликреин-кининовой системы при вибрационной болезни. Так, Дзизинский А.А. и Куимов А.Д. наблюдали общую умеренную тенденцию активирования этой системы, о которой судили на основании снижения уровня КГ (кининогена) и повышения ВАЕЕ-ингибирующей (т.е. калликреиновой) активности у рабочих – клепальщиков, страдающих вибрационной болезнью. В последнее время высказано предположение, что кинины участвуют в системной организации регуляторных механизмов – выявлена взаимосвязь их с симпато-адреналовой системой и гормонами коры надпочечников [23].

Данных о роли показателей симпатической регуляции и калликреин-кининовой системы у рабочих титано-магниевого комбината, нами в литературы не найдены.

В настоящее время условия труда и трудовой процесс титано-магниевого комбината имеют выраженную специфику и оказывают не до конца изученное воздействие на здоровье рабочих, вызывая частые заболевания.

В этой связи представляет интерес изучение профессионального стресса, адаптационных и компенсаторных механизмов организма животных и работающих на титано-магниевом комбинате.

В процессе своей трудовой деятельности (при добыче, обогащении и переработке титановых руд, при получении различных титановых соединений, а также выбивке, переработке и сортировке титановой губки) работники могут подвергаться воздействию пыли металлического титана (Ti) и его диоксида (TiO<sub>2</sub>), высокотоксичных химических соединений – газообразного четыреххлористого титана (TiCl<sub>4</sub>), продуктов его гидролиза, паров хлора и фосгена, а также влиянию электромагнитных полей и факторов производственной среды и трудового процесса.

Изучение влияния вредных производственных факторов на гомеостаз организма рабочих и животных в натурном эксперименте, а также влияние пыли титанового шлака на экспериментальных животных, как одного из основных факторов производственной среды являются вопросами чрезвычайной актуальности, кото-

рые до сих пор не были изученными. Эти исследования необходимы для разработки мероприятий по улучшению условий труда и состояния здоровья рабочих, подвергшихся воздействию комплекса вредных производственных факторов.

## Материалы и методы исследования

Собственные исследования включают раздел – экспериментальный, выполненный на половозрелых белых крысах линии Wister

Экспериментальная часть работы проводилась на половозрелых белых крысах – самцах, массой 180-220 г. Животным однократно вводили под легким эфирным наркозом интратрахеально (с помощью металлического зонда) предварительно измельченный титановый шлак (50 мг), растворенный в 1мл физиологического раствора. Животным контрольной группы с помощью металлического зонда вводили физиологический раствор 1 мл под легким эфирным наркозом. Контрольные и опытные животные содержались на обычном лабораторном рационе.

Химический состав пыли:  $TiO_2$ -84,7%,  $SiO_2$ -10-12%,  $FeO$ -6,38%,  $Mn$ -1,0%, следы хрома, ванадия, алюминия, кремния, ниобия, тантала, циркония, углерода. Размеры пылевых частиц составляли в 95% случаев – 2мк.

Изучение биохимических изменений проводили через 2 недели (острый опыт), 4 недели (подострый опыт) и 12 недель (хронический опыт) после введения пыли титанового шлака. В эти же сроки исследовали животных контрольных групп.

Активность симпато-адреналовой системы оценивалась по экскреции катехоламинов – адреналина, норадреналина, дофамина и ДОФА-методом Матлиной Э.Ш. и соавт. (1965), который основан на выделении их из мочи путем колоночной хроматографии на окиси алюминия. Адреналин, норадреналин и почти половину адсорбированного ДОФА элюировали 0,25 моль/л раствором уксусной кислоты. Оставшийся на адсорбенте ДОФА снимали моль/л раствором соляной кислоты. Дифференцировали катехоламины путем окисления их ферроцианидом калия в среде с различными значениями pH и флюориметрировали на спектрофлуориметре с использованием различных наборов светофильтров. Дофамин определяли, применяя в качестве окислителя йод. Экскрецию адреналина определяли по формуле:

$$X = \frac{6 \cdot 7 \cdot 10}{E \cdot 17,5 \cdot 1000}$$

где 6 – показатель флюоресценции адреналина в 1 мл измеряемой пробы, 7 – количество элюата (мл); 10 – разведение элюата при окислении, d- суточное количество мочи (мл); E - флюоресценция 1 нг адреналина в 1 мл пробы находят по калибровке прибора; 17,5 - количество мочи в опытной пробе (мл), 1000-коэффициент для перевода значений из нг в мкг.

Исследования проводились на биохимическом автоматическом анализаторе «Cobas integra»-400 plus (Швейцария, 2003), на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS 1N, на спектрофотометре СФ-46, спектрофлуориметре.

Экскрецию норадреналина определяли по формуле:

$$X = \frac{8*4*d}{E_1*1000}$$

где 8 - флюоресценция норадреналина (при pH 4,2 и 6,2 в условиях метода свечение адреналина одинаково), 1-флюоресценция 1 нг норадреналина в условиях опыта.

Флюоресценцию ДОФА уксуснокислого рассчитывали следующим образом:

$$\Phi = 32 - \frac{6*E_2}{E} + \frac{8*E_3}{E_1}$$

где 32 – флюоресценция адреналина, норадреналина и ДОФА (уксуснокислого) при светофильтрах 360 – 550 нм,  $E_2$  – флюоресценция 1нг/мл стандартного раствора адреналина с pH 6,2 и при светофильтрах 360 – 550 нм,  $E_3$ – флюоресценция 1 нг/мл стандартного раствора норадреналина с pH 6,2 и при светофильтрах 360 и 550 нм.

Экскрецию дофамина определяли по формуле:

$$X = \frac{\left(20 - \frac{\Phi * E_4}{E_5 * 1000}\right) * 7 * 5 * d}{E_6 * 17,5}$$

где  $E_6$  – флюоресценция 1мкг/мл стандартного раствора дофамина, окисленного йодом, при светофильтрах 360 – 436 нм; 5- разведение элюата при окислении.

Определение показателей калликреин-кининовой системы по методу Пасхиной Т.С. и Егоровой Т.П. [24]: уровень кининогена и прекалликреиногена, активность кининазы и калликреина. Принцип метода определения брадикининогена основан на освобождении брадикинина из денатурированной трипсином плазмы. Запись сокращения изолированного рога матки девственных крыс в эструсе при воздействии брадикининогена крови графически регистрировали на бумаге Cardiomat (Бельгия) по предложенной Джангозиной Д.М.и соавт. методике [25].

Общая кининазная активность оценивалась по методу Пасхиной Т.С. и Егоровой Т.П. (1968). Принцип метода основан на измерении остаточной активности брадикинина после его инкубации с ферментом. Полученные результаты выражали в мкг Вг х 10-3 г/л мин. Определение проводилось на спектрофотометре СФ-4а.

Калликреин и прекалликреиноген в крови определяли по хроматографическому методу Пасхиной Т.С. и Яровой Г.А. Принцип метода: использованы катионные свойства каллекреина, в силу которых он не адсорбируется при pH 7,0 и низкой ионной А-50 и может быть определен в неадсорбированной фракции крови по скорости гидролиза эфирной связи с гидрохлоридом этилового эфира N-бензоил-альфа-аргинина. Количество прекалликреиногена выражали в мкЕ/мл, количество калликреина – в мкЕ/мл х мин.

## Результаты исследования

Анализ катехоламинов в органах животных выявил, что пыль титанового шлака при интратеальном введении вызывает увеличение адаптивного гормона-адреналина в печени (таблица 1; рисунок 1). Через 2 недели введения пыли адреналин печени увеличился на 300% до  $0,12 \pm 0,002$  мкг/на 1г сырого веса,

против контроля  $0,04 \pm 0,004$ ,  $p < 0,001$ . Через 4 недели эксперимента уровень адреналина печени увеличился на 33%, а через 12 месяцев опять был увеличен на 400% до  $0,20 \pm 0,05$  против контроля –  $0,05 \pm 0,004$ ,  $p < 0,001$ .

Параллельно в ткани печени установлено уменьшение норадреналина через 2 недели на 14% до  $0,36 \pm 0,02$ , против контроля,  $p < 0,01$ .

Через 4 недели эксперимента уровень норадреналина в ткани печени увеличивался на 60% до  $0,92 \pm 0,09$ , против контроля  $0,56 \pm 0,04$  мкг/1г сырого веса,  $p < 0,001$  и через 12 недель тоже на 60% до  $1,5 \pm 0,10$ , против контроля  $0,61 \pm 0,06$  мкг/1г сырого веса,  $p < 0,001$ . Параллельно выявлено снижение адреналина в

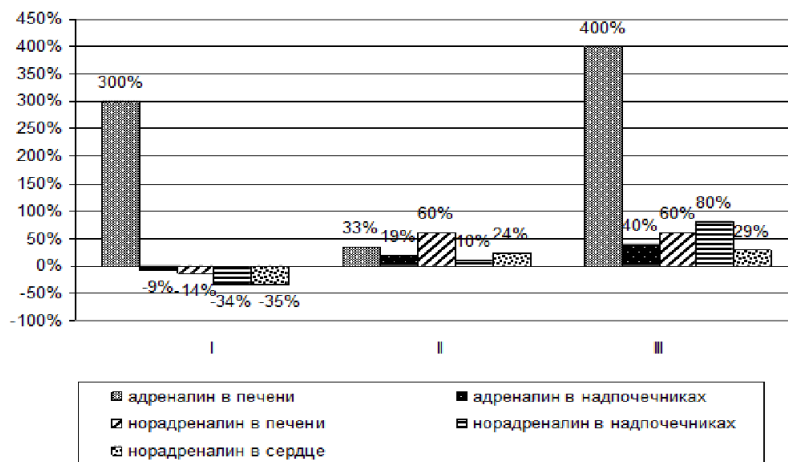
№ п/ п	Показатели Серии животных	n	Адреналин		Норадреналин		
			В печени	В надпочечниках	В печени	В сердце	В надпочечниках
			мкг/1г сырого веса				
1	Контроль:	1					
	2 недели	0	$0,04 \pm 0,004$	$814 \pm 76,2$	$0,42 \pm 0,03$	$0,660 \pm 0,04$	$379 \pm 9,0$
	4 недели	9	$0,06 \pm 0,05$	$826 \pm 81,2$	$0,56 \pm 0,04$	$0,669 \pm 0,05$	$392 \pm 12,0$
	12 недель	9	$0,05 \pm 0,004$	$870 \pm 79,4$	$0,61 \pm 0,06$	$0,720 \pm 0,06$	$410 \pm 9,0$
2	Пыль титанового шлака 50 мг интрахеально						
	2 недели	9	$0,12 \pm 0,002^{xxx}$	$727 \pm 87,2^{xxx}$	$0,36 \pm 0,02^{xx}$	$0,428 \pm 0,08^{xxx}$	$250 \pm 10,2^{xxx}$
	4 недели	8	$0,04 \pm 0,001^{xxx}$	$1016 \pm 75,1^{xx}$	$0,92 \pm 0,09^{xxx}$	$0,820 \pm 0,08^{xxx}$	$450 \pm 12,6^{xxx}$
	12 недель	8	$0,20 \pm 0,05^{xxx}$	$1270 \pm 32,1^{xxx}$	$1,5 \pm 0,10^{xxx}$	$0,902 \pm 0,07^{xxx}$	$727 \pm 12,0^{xxx}$
Примечание – xx – $p < 0,01$ ; xxx – $p < 0,001$ по сравнению с контрольной группой							

Таблица 1 - Содержание катехоламинов (адреналина и норадреналина) во внутренних органах животных, запыленных пылью титанового шлака (50 мг интрахеально)

надпочечниках через 2 недели на 9% до  $727 \pm 87,2$ , против контроля -  $814 \pm 76,2$  мкг/1 г сырого веса,  $p < 0,001$ .

Через 4 недели адреналин в надпочечниках увеличивался до 19%, против контроля ( $826 \pm 81,2$  мкг/1 г сырого веса), составляя  $1016 \pm 75,1$ ;  $p < 0,01$ . Через 12 недель адреналин в надпочечниках увеличивался на 40%, составлял  $1270 \pm 32,1$ ,  $p < 0,001$ , против контроля  $870 \pm 79,4$  мкг/1 г сырой ткани. Уровни содержания норадреналина в надпочечниках уменьшилась через 2 недели на 34% до  $250 \pm 10,2$  мкг/1 г сырой ткани (в контроле -  $379 \pm 9,0$ ). Затем, через 4 недели и 12 недель начиналось постепенное увеличение норадреналина на 10% и 80% до  $450 \pm 12,6$  и  $727 \pm 12,0$ ,  $p < 0,001$  против контроля ( $392 \pm 12$  и  $410 \pm 9,0$  мкг/1 г сырой ткани).

По-видимому, увеличение адреналина в ткани печени происходит не только за счет усиления метаболического его образования из норадреналина, но и за счет увеличения его образования в надпочечниках, особенно в сроки – 4 недели и 12 недель. Параллельно установлено уменьшение норадреналина в сердце через 2 недели опыта на 35% до  $0,428 \pm 0,08$  (контроль  $0,660 \pm 0,04$ ) и увеличение – на 24 и



**Рисунок 1.** Сроки эксперимента: I-2 недели, II-4 недели, III-12 недель. Приросты катехоламинов (+, -) в серии опытных животных

29% через 4 и 12 недель до  $0,820 \pm 0,08$  и  $0,902 \pm 0,07$ ,  $p < 0,001$ .

По-видимому, пыль титанового шлака действует на метаболизм катехоламинов в сердце, изменяя трофическое воздействие КА на сердце.

Анализ показателей каллекреин-кининовой системы в крови показал, что через 2 недели уровень брадикининогена-предшественника свободных кининов, проявлял тенденцию к снижению, через 4 недели снижался на 45% до  $1,0 \pm 0,18$  мкг Вг-10г/л, по сравнению с контролем  $1,92 \pm 0,3$ ,  $p < 0,01$  (таблица 2; рис.2). Такое снижение уровня брадикининогена косвенно свидетельствует об образовании из него свободных кининов, регулирующих систему кровообращения и выполняющих другие важные функции в организме.

Параллельно определялась повышенная общая кининазная активность: с 2 недель – тенденция к повышению, с 4 и 12 недель – увеличение активности фермента на 70% и 50% до  $0,42 \pm 0,04$  и  $0,30 \pm 0,03$ ,  $p < 0,001$ , по сравнению с контролем  $0,25 \pm 0,03$  и  $0,20 \pm 0,02$  нг/мл·мин, что также косвенно свидетельствует об увеличении свободных (активных) форм брадикинина, которые данный фермент расщепляют до неактивного состояния. Активность каллекреина-фермента, акти-

№ п/п	Показатели	n	Уровень кининогена 3 мкг Br · 10 <sup>-3</sup> г/л	Активность кининаз, нг/мл · мин	Активность КН, мкЕ/мл · мин	Содержание ПКН, мкЕ/мл
	Серия/ животных					
1	Контроль:	1				
	2 недели	0	1,75±0,21	0,18±0,02	88,9±3,1	67,4±3,9
	4 недели	9	1,92±0,3	0,25±0,03	75,6±2,5	72,4±4,0
	12 недель	9	2,2±0,25	0,20±0,02	62,8±2,0	81,3±3,0
2	Пыль титаново-го шлака 50 мг и/трахеально					
	2 недели	9	1,52±0,02	0,26±0,06	102,1±4,0 <sup>xxx</sup>	52,3±2,5 <sup>xxx</sup>
	4 недели	8	1,0±0,18 <sup>xxx</sup>	0,42±0,04 <sup>xxx</sup>	125,2±2,5 <sup>xxx</sup>	41,4±2,1 <sup>xxx</sup>
	12 недель	8	1,0±0,10 <sup>xxx</sup>	0,30±0,03 <sup>xxx</sup>	139,3±3,0 <sup>xxx</sup>	35,4±1,2 <sup>xx</sup>
Примечание – <sup>xx</sup> – p<0,01; <sup>xxx</sup> – p<0,001						

Таблица 2 - Показатели калликреин-кининовой системы крови у экспериментальных животных, запыленных пылью титанового шлака (50 мг интратрахеально)

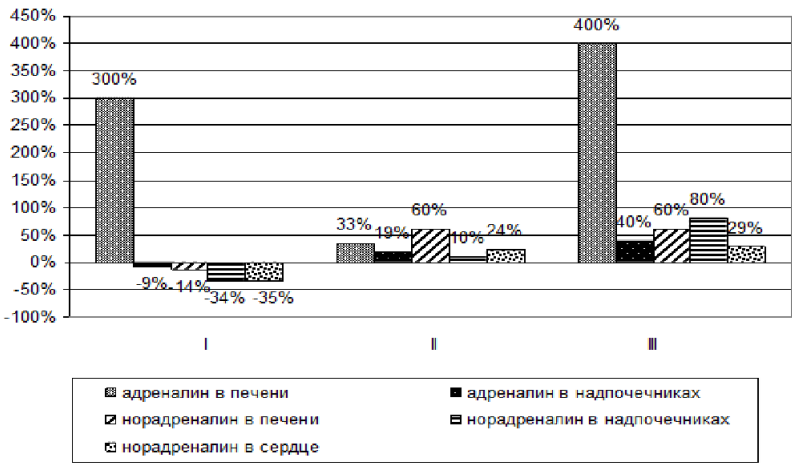


Рисунок 2. Сроки эксперимента: I - 2 недели, II - 4 недели, III - 12 недель. Приросты (+,-) показателей каллекреин-кининовой системы в крови животных, запыленных пылью титанового шлака (50 мг интратрахеально)



вирующего брадикининоген, постепенно увеличивается в зависимости от срока воздействия пыли титанового шлака. Через 2 недели эксперимента активность калликреина увеличивалась в крови на 10%,  $p < 0,01$  до  $102,1 \pm 4,0$  против контроля ( $88,9 \pm 3,1$  мкЕ/мл·мин).

Через 4 недели это увеличение продолжалось на 60% ( $125,2 \pm 2,5$ , против контроля  $75,6 \pm 2,5$ ,  $p < 0,001$ ). через 12 недель активность каллекреина увеличивалась на 220% до  $139,3 \pm 3,0$ ,  $p < 0,001$ , против контроля –  $62,8 \pm 2,0$  мкЕ/мл·мин. Все это явилось прямой причиной увеличения активных форм брадикинина.

Определялось снижение уровня прекалликреина – связанной формы неактивного фермента. Это снижение носило абсолютно достоверный характер ( $p < 0,001$ ) и было выявлено через 2 недели на 22,4% до  $52,3 \pm 2,5$  (в контроле –  $67,4 \pm 3,9$  мкЕ/мл), через 4 недели –  $41,4 \pm 2,1$  (контроль  $72,4 \pm 4,0$ ), т.е. на 43% больше. Через 12 недель активность каллекреина была на 56,4% ниже, чем в контроле –  $81,3 \pm 3,0$  мкЕ/мл.

Таким образом, нами выявлена активация всех звеньев каллекреин-кининовой системы и снижение активности ферментов, расщепляющих активные формы брадикинина.

Следовательно, экспериментальная модель (острого, подострого и хронического воздействия пыли титанового шлака) подтвердила токсичность действия пыли титанового шлака, содержащего в своем составе комплекс химических веществ, на внутренние органы.

## Заключение

Титано-магниевый комбинат в Усть-Каменогорске функционирует как один из самых передовых предприятий в Казахстане и как один из ведущих предприятий в странах СНГ по комплексному использованию сырья, степени извлечения металлов, качеству продукции.

Титано-магниевый комбинат в Усть-Каменогорске функционирует как один из самых передовых предприятий в Казахстане и как один из ведущих предприятий в странах СНГ по комплексному использованию сырья, степени извлечения металлов, качеству продукции. Ввиду того, что в литературе отсутствуют материалы по биохимическому изучению механизма адаптации к профессиональному стрессу (механизмы адаптации, компенсации и предпатологических проявлений у здоровых рабочих) нами выполнена работа в этом аспекте в следующем направлении:

1) эксперимент на животных (белых крысах - самцах) с ингаляционным интратрахеальным введением сырья – 50мг пыли титанового шлака;

Химический анализ титанового шлака выявил содержание двуокиси титана – 84,7%, окиси железа – 6,38%, двуокиси кремния – 5,5%, окиси алюминия – 2,8% и содержание микроэлементов –  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $V_2O_5$ ,  $P_2O_5$ ,  $S$ ,  $ZrO_2$ ,  $SC_2O_3$ ,  $Ta_2O_3$ ,  $Nb_2O_5$ .

Изучение биохимических изменений проводили через 2 недели (острый опыт), 4 недели (подострый опыт) и 12 недель (хронический опыт) после введения пыли титанового шлака. В эти же сроки исследовали животных контрольных групп.

Метаболические показатели у животных в остром опыте выявили увеличение адаптационного гормона – А в печени (в 3 раза), в надпочечниках – на 87% и медиатора, регулирующего кровообращение и функции сердца – норадреналина (в сердце – на 25%).

Активация системы катехоламинов (симпато-адреналовой системы) вызывала активацию калликреин-кининовой системы, о чем свидетельствует увеличение активности общих кининаз (на 44%), вызванное потребностью дезактивировать свободные кинины в плазме крови.

Результаты подострого эксперимента (4 недель). Активация симпато-адреналовой системы вызывает изменения показателей калликреин-кининовой системы; активность кининаз продолжает увеличиваться до 68% и присоединяется увеличение активности калликреина (на 60%) – фермента, активирующего свободные кинины, что также свидетельствует о компенсаторных изменениях сосудистой системы (в основном периферической).

У экспериментальных животных с интратрахеальным введением 50 мг пыли титанового шлака через 12 недель выявили на системном уровне активность двух основных звеньев симпато-адреналовой системы (А и НА). Эти изменения характеризуют компенсаторные сдвиги в организме животных на новом, патологическом уровне регуляции. Последующая активация калликреин-кининовой системы выявила увеличение фермента, активирующего данную систему (калликреина) в 2,2 раза, что свидетельствует о нарушении не только в общей системе кровотока (норадреналин), но и в периферической системе кровообращения.

Таким образом, интратрахеальное введение 50 мг пыли титанового шлака вызвало в организме экспериментальных животных биохимические изменения во всех сроках эксперимента, но наиболее выражены при хроническом опыте (12 недель).

## Список литературы

1. Павлов А.В. Разработка технологии вакуум термической регенерации и рафинирования магнезита в лабораторных и промышленных условиях / А.В.Павлов, Б.М.Шаяхметов, М. И.Онаев, А.И.Чепрасов // Комплексное использование минерального сырья.-2014.- №4.- С.30-36.
2. Пальцев Ю.П. Гигиеническая регламентация электромагнитных полей как мера обеспечения сохранения здоровья работающих / Ю.П.Пальцев, Н.Б. Рубцова, Л.В.Походзей, Г.И.Тихонова // Медицина труда и промышленная экология.-2015.- №5.-С.13-17.
3. Ерубаев Т.К. Гигиенические проблемы здоровья трудовых коллективов / Т.К.Ерубаев, Р.Б. Шин, Т.К. Рамазанов // Вопросы физиологии, гигиены труда и профпатологии, сб.ст.- Караганда.- 2014.- С. 132-137.
4. Буданова Л.Ф. Некоторые аспекты патогенеза, клиники и диагностики хронических бронхитов профессиональной этиологии / Н.Ф.Буданова, И.М. Суворов, И.Н. Пастушкова // Медицина труда и промышленная экология.- 2013.- №10.-С.24-28.
5. Султанбеков З.К. Влияние факторов условий труда на состояние физиологических функций организма рабочих основных профессий ТМП / З.К.Султанбеков // Актуальные вопросы профессиональной патологии в Казахстане: сб.ст.- Караганда, 2014.- С.365-368.
6. Карабалин С.К. Сочетанные действия факторов производственной среды титано-магниевого производства на функциональное состояние работающих / С.К.Карабалин,

- З.К.Султанбеков, Т.А. Таткеев, А.Ш.Букунова //Медицина труда и промышленная экология.-2015.-№14.-С.43-45.
7. Базарова Е.Л. Оценка профессионального риска нарушений здоровья работников производства титановых сплавов / Е.Л.Базарова //Медицина труда и промышленная экология.- 2017.-№3.-С.14-20.
8. Султанбеков З.К. Гигиеническая оценка условий труда и реальной дозой нагрузки производственных вредностей на рабочих магниевого производства / З.К.Султанбеков // Медицина.-2014.-№7.- С.57-58.
9. Баянова М.Ф. Цитогенетическая активность пыли металлического титана с учетом органо-специфичности в эксперименте /М.Ф. Баянова //Гигиена труда и промышленная экология.-2016.-№2(11).-С.60-64.
10. Дюсембаева Н.К. Гигиеническое значение оценки мутагенных эффектов химических факторов окружающей и производственной среды/ Н.К. Дюсембаева, М.Ф. Баянова //Гигиена труда и медицинская экология.-2016.-№1 (10).-С.24-34.
11. Абдикулов А.А. Совершенное состояние проблемы профилактики заболеваний и некоторые пути их решения /А.А.Абдикулов,О.В.Гребенева //Гигиена труда и профзаболевания в современных условиях.- 2013.-№4.-С.73-87.
12. Артамонова В.Г. Актуальные проблемы промышленной экологии и профилактики профессиональных заболеваний / В.Г.Артамонова //Вестник РАМН.- 2013.-№1.- С.38-42.
13. Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья / Р.М.Баевский //Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.- 2014.-№4.- С.473-497.
14. Беляев Е.Н.Охрана здоровья работающего населения в современных условиях / Е.Н. Беляев, С.Г. Домнин, С.А. Степанова// Медицина труда и промышленная экология.-2015.
15. Кулкыбаев Г.А. К оценке адаптационного потенциала организма работающих на современном этапе /Материалы V съезда физиологов Казахстана «Физиология, адаптация, стресс»// Г.А.Кулкыбаев.- Караганда, 2013.-С.9-13.
16. Барабой В.А. Механизмы стресса / В.А.Барабой // Успехи современной биологии.- 2015.-№3.- С.23-29.
17. Большакова Т.Д. Активность симпато-адреналовой системы как фактор риска развития адаптации /Т.Д.Большакова // Клиническая лабораторная диагностика.- 2013.- №5.- С.31-41.
18. Аманбекова А.У..Изменение каллекреин-кининовой системы при развитии легочного сердца у больных хроническим пылевым бронхитом / А.У.Аманбекова // Астана медициналық журналы.- 2013.- №2.-С.43-46.
19. Борисенкова Р.В.Экспериментальные исследования по оценке онкогенного действия пыли медно-никелевой сульфидной руды / Р.В.Борисенкова, Л.Н. Пылев, Л.А. Луценко, Г.Я. Липатов // Медицина труда и промышленная экология.-2014.-№6.- С.35-39.
20. Брахнова И.Т. Экспериментальная оценка влияния на организм аэрозолей мого и дисульфида титана / И.Т.Брахнова, Б.А.Цудзевич,Ю.Д. Бабенюк //Гигиена труда и профессиональные заболевания.- М.: Медицина.-2013.-№8.- С.50-52.
21. Будкарь Л.Н. Математический анализ влияния факторов риска на развитие профессиональных заболеваний органов дыхания / Л.Н.Будкарь, И.В.Бугаева, Т.Ю. Обухова // Медицина труда и промышленная экология.-2016.-№2.-С.9-12.
22. Кулинский В.И. Катехоламины: биохимия, фармакология, физиология, клиника / В.И.Кулинский, Л.С.Колесниченко // Вопросы медицинской химии.- 2015.-№1.-С.45-65.
23. Актасева Е.Л. Каллекреин – кининовая система при экспериментальном увеите / Е.Л. Актасева//Вестник офтальмологии.-2014.- №2.-С.50-53.
24. Пасхина Т.С. Метаболизм кининов и современные перспективы его изучения. Кинины и кининовая система крови /Т.С. Пасхина, Т.П.Егорова - М., 1976.- С.8-11.

25. Джангозина Д.М. Система биохимических, морфологических, иммунологических показателей оценки ранних функциональных реакций организма человека под воздействием факторов окружающей среды //Д.М.Джангозина // Алматы: Наука,2014.- С.87-100.

# **Моделирование процесса распространения активных примесей в приземном слое атмосферы с учётом диффузии, химической реакции и переноса вещества течением воздуха**

Нургали Заурбеков<sup>1</sup>, Аллаярбек Айдосов<sup>2</sup>, Нурбике Заурбекова<sup>3</sup>, Нурдаулет Дихамбай<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казахский национальный педагогический университет имени Абая

<sup>2</sup> Казахский национальный университет имени аль-Фараби

<sup>3</sup> Казахский национальный женский педагогический университет

**Аннотация** Разработана модель переноса и рассеивания активных вредных выбросов приземного слоя атмосферы и методика численного расчёта экспериментов вероятностного поля концентрации примеси в атмосфере с учётом диффузии, химической реакции и переноса вещества течением воздуха. Рассмотрен случай двумерного распространения вещества (аэрозоля) в нижнем слое атмосферы, где цепочка его превращения из одного химического состояния в другое согласно теории Михаэлиса-Ментена состоит из трёх звеньев. Принимаем, что свободное химическое вещество и воздух (субстрат) сначала создают в ходе обратимой реакции воздушную смесь (комплекс), которая, в свою очередь, необратимо распадается, образуя вновь свободное химическое вещество и продукт. В качестве примера рассмотрен одномерный случай стационарного распределения аэрозольного соединения (примеси) в результате распада его на два вида загрязняющего вещества. Предлагаемый метод даёт хорошую информацию для организации оперативных служб мониторинга, выбора районов рационального размещения объектов различного назначения, прост в реализации, экономичен, требует знания минимального числа параметров входной информации.

## **Введение**

Достоверная оценка экологического воздействия загрязнения может быть проведена только тогда, когда известна картина их распространения. Многие загрязняющие вещества (примеси) растворяются в воздухе или перемешиваются с ним и, следовательно, могут переноситься вместе с воздухом с одного места в другое. Проблеме математического моделирования процесса распространения вредных веществ в атмосфере посвящены множества работ. Так в работе Wilson, J. D., and B. L. Sawford [1] приведён обзор Лагранжевых стохастических моделей траекторий в турбулентной атмосфере. А в работе Wang, B., B. Chen, and J. Zhao [2] оценена дисперсия опасных газов в реальном времени с помощью нейросетевых и газодисперсионных моделей. В работе A.Aydosov, B.Urmashev & G.Zaurbekova [3] рассмотрены возможности моделирование распространения вредных веществ

в атмосфере при переменном профиле скорости ветра. В работе Kienle, A., and M. S. Patterson [4] предложены возможные улучшения решения стационарных и разрешенных во времени уравнений диффузии переноса и рассеивания примесей, в том числе для отражения от полубесконечной мутной среды. В [5] с помощью двумерного моделирования показано распространение вредных примесей от массо-и энергообмена в поверхностном слое атмосферы. Некоторые авторы, например Ebrahimzadeh, E., Shahsavand, A. [6] предлагают рассмотреть распространение каждого химического элемента в атмосфере в отдельности, без учета химических реакции между собой.

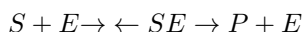
В работах [7-15] предложены и другие способы и методы математического моделирования распределения, рассеивания, а так же оценка загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Мы рассмотрим возможности математического моделирования процесса распространения активных примесей в приземном слое атмосферы с учётом диффузии, химической реакции и переноса вещества течением воздуха.

Будем отличать пассивные и активные примеси. Примесь называется пассивной, если вплоть до выпадения на поверхность земли она не претерпевает изменений. Если же она в процессе распространения в атмосфере вступает в химические реакции с водяным паром или с другими компонентами атмосферы или же переходит из одного химического состояния в другое, то такую примесь будем называть активной.

## Материалы и методы

Рассмотрим случай двумерного распространения вещества (аэрозоля) в нижнем слое атмосферы, где цепочка его превращения из одного химического состояния в другое согласно теории Михаэлиса-Ментена состоит из трех звеньев [Bezerga, R.M.F., Pinto, P.A., Fraga, I., Dias, A.A., 16]. Принимаем, что свободное химическое вещество и воздух (субстрат) сначала создают в ходе обратимой реакции воздушную смесь (комплекс), которая, в свою очередь, необратимо распадается, образуя вновь свободное химическое вещество и продукт. Эта реакция схематично может быть представлена в виде



где S, E, SE, P - соответственно субстрат (воздух), химическое вещество, воздушная смесь и продукт:  $k_1$ ,  $k_{-1}$  - скорости прямой и обратной реакции;  $k_2$  - скорость реакции распада смеси.

Под активным понимается только такое количество реагентов, которое фактически участвует в реакции. Если обозначить через s, e, se, p соответственно концентрацию субстрата, химического вещества, смеси и продукта, то согласно закону действующих масс имеем

$$\frac{ds}{dt} = -k_1 se + k_{-1} c$$

$$\frac{de}{dt} = -k_1 se + (k_1 + k_{-1}) c$$

$$\begin{aligned}\frac{dc}{dt} &= k_1 se - (k_1 + k_{-1}) c \\ \frac{dp}{dt} &= k_2 c\end{aligned}\quad (1)$$

Система (1) может быть записана с учётом диффузии, для описания которой используется баланс реагента  $\varphi$  :

$$\int_{(V)} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \int_{(S)} \mathbf{J} \mathbf{n} dS + \int_V f dV = 0 \quad (2)$$

Здесь первый интеграл описывает скорость изменения реагента ( $\varphi$  в объёме  $V$ ), второй интеграл - поток (за единицу времени) ( $\varphi$  из  $V$  через поверхность  $dS$ ), третий интеграл - скорость уменьшения ( $\varphi$  в  $V$  в результате реакции),  $\mathbf{n}$  - единичная внешняя нормаль к поверхности  $S$ . Из (2)

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -f + D \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right)$$

где  $D$  - коэффициент диффузии. Рассмотрим двумерный слой воздушной смеси единичной толщины, где происходит диффузия химического вещества. В смеси имеется компонент воздуха, который обратимо соединяется с веществом. Обозначим через  $D_r$  и  $D_f$  коэффициенты диффузии компонента воздуха и реагента соответственно. Уравнения баланса для концентрации компоненты воздуха, реагента и смеси реагент - воздуха записываются в виде

$$\begin{aligned}\frac{dC}{dt} &= f + D_r \Delta C, \quad \frac{dC_f}{dt} = -f + D_f \Delta C_f \\ \frac{dC_r}{dt} &= f + D_r \Delta C_r, \quad (\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2})\end{aligned}$$

где  $C_r, C_f$  - концентрации реагента и смеси воздух-реагент. Функцию согласно (1) можно представить в виде ( $k_3 = 0$ ).

$$f = k_1 C_f C - k_{-1} C_r$$

Если учитывать перенос вещества течением воздуха по направлениям осей  $OX$  и  $OY$  со скоростями  $u$  и  $v$  соответственно, то

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{dC}{dt} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + f &= D_r \Delta C \\ \frac{dC_f}{dt} + u \frac{\partial C_f}{\partial x} + v \frac{\partial C_f}{\partial y} - f &= D_f \Delta C_f \\ \frac{dC_r}{dt} + u \frac{\partial C_r}{\partial x} + v \frac{\partial C_r}{\partial y} - f &= D_f \Delta C_r\end{aligned}\quad (3)$$

Система (3) описывает процесс распространения активной примеси с учётом диффузии, химической реакции и переноса вещества течением воздуха.

Иной подход к описанию перехода части аэрозольных соединений в другие формы (под действием химической реакции) предложен в работе Г. И. Марчука [17]. При этом механизм реакции перехода детально не рассматривается, а используется только последовательность звеньев цепочки превращения. Например, для трёхзвенной цепочки в двумерном случае имеем

$$\begin{aligned}\frac{\partial \varphi_1}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi_1}{\partial y} + \sigma_1 \varphi_1 - \mu \Delta \varphi_1 &= F \\ \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi_2}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi_2}{\partial y} + \sigma_2 \varphi_2 - \sigma_1 \varphi_1 - \mu \Delta \varphi_2 &= 0 \\ \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi_3}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi_3}{\partial y} + \sigma_3 \varphi_3 - \sigma_2 \varphi_2 - \mu \Delta \varphi_3 &= 0\end{aligned}\quad (4)$$

где  $A$  - коэффициент турбулентной диффузии;  $F$  - интенсивность источника появления аэрозольного соединения. Если использовать уравнения кинетики обмена вещества между химическими реагентами в составе воздушной массы, где скорости обмена будут пропорциональны разности концентраций:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \varphi_1}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi_1}{\partial y} + \sigma_{11} \varphi_1 + \sigma_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + \sigma_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) - \mu_1 \Delta \varphi_1 &= 0 \\ \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi_2}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi_2}{\partial y} + \sigma_{22} \varphi_2 + \sigma_{12}(\varphi_2 - \varphi_1) + \sigma_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) - \mu_2 \Delta \varphi_2 &= 0 \\ \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi_3}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi_3}{\partial y} + \sigma_{33} \varphi_3 + \sigma_{31}(\varphi_3 - \varphi_1) + \sigma_{23}(\varphi_3 - \varphi_2) - \mu_3 \Delta \varphi_3 &= 0\end{aligned}\quad (5)$$

Системы уравнений (4) и (5) в отличие от (3) являются линейными, что существенно упрощает математическое описание процесса распространения и превращения аэрозольного соединения в атмосфере.

## Результаты и обсуждение

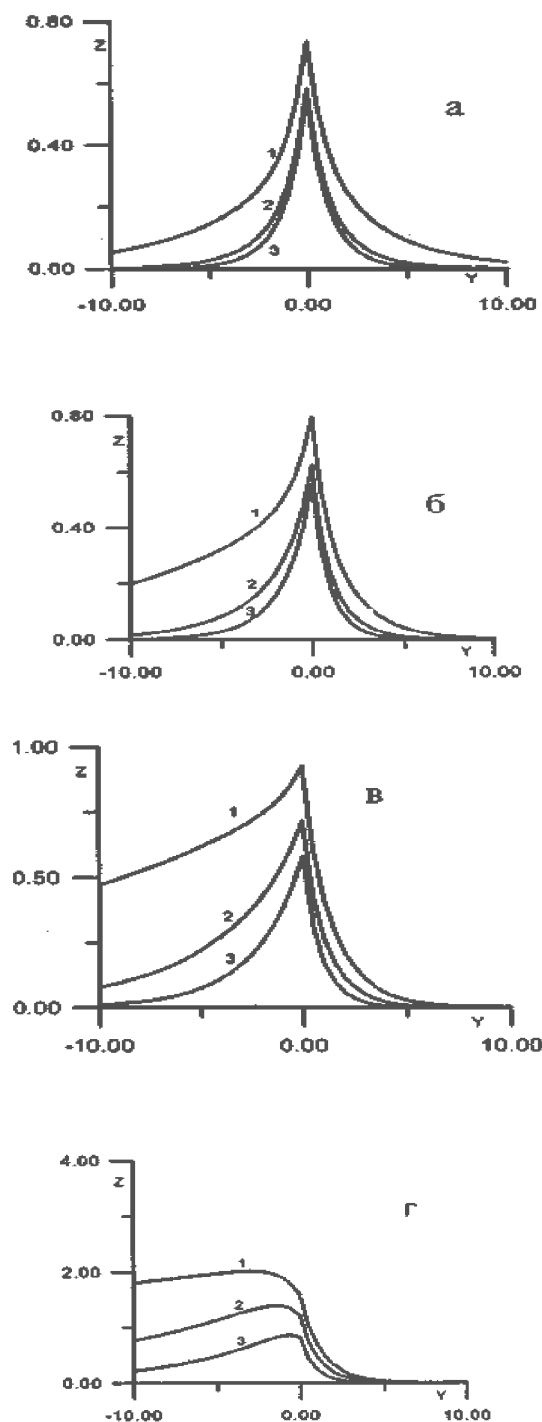
Рассмотрим одномерный случай стационарного распределения аэрозольного соединения (примеси) в результате распада его на два вида загрязняющего вещества (рисунок 1). Принимаем, что источник примеси находится в плоскости  $x=0$  и перенос веществ осуществляется по направлению оси  $OX$  постоянной

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= A_1 \exp(-\alpha_1 x) + A_2 \exp(-\alpha_2 x) \\ \varphi_2 &= A_1 \beta_1 \exp(-\alpha_1 x) + A_2 \beta_2 \exp(-\alpha_2 x)\end{aligned}$$

при  $0 \leq x < \infty$

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= A_3 \exp(-\alpha_3 x) + A_4 \exp(-\alpha_4 x) \\ \varphi_2 &= A_3 \beta_3 \exp(-\alpha_3 x) + A_4 \beta_4 \exp(-\alpha_4 x)\end{aligned}$$





**Рисунок 1.** Графики распределения концентрации вещества вдоль направления течения воздуха и различных значениях безразмерных параметров

при  $-\infty < x \leq 0$

$$u^0(a - u^0 = 1; b - u^0 = 3; c - u^0 = 0, 1; d - u^0 = 0, 5)$$

$$u\sigma_{22}^0(1 - \sigma_{22}^0 = 0, 2; 2 - \sigma_{22}^0 = 0.6; 3 - \sigma_{22}^0 = 1, 6)$$

где

$$\beta_k = -\frac{\mu_1\alpha_k^2 - u_0\alpha_k - \sigma_{11} - \sigma_{22}}{\sigma_{12}}, \alpha_i (i = 1, 2, 3, 4)$$

- корни уравнения.

$$\mu_1\mu_2a^4 - (\mu_1 + \mu_2)u_0a^3 - [(\mu_1 + \mu_2)\sigma_{12} + \mu_1\sigma_{22} + \mu_2\sigma_{11}]a^2 + u_0[\sigma_{11} + \sigma_{22} + 2\sigma_{12}]a + \sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}(\sigma_{11} +$$

причем  $\alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 < 0, \alpha_4 < 0$  Постоянные Д определяются из следующих граничных условий:

$$\varphi_1(+0) = \varphi_1(-0),$$

$$\varphi_2(+0) = \varphi_2(-0),$$

$$\mu_1[\varphi_1'(+0) - \varphi_1'(-0)] = q_1,$$

$$\varphi_1'(+0) = \varphi_1'(-0)$$

Рассмотрены распределения концентрации компонента вещества  $r = \varphi_1 \frac{\sqrt{\mu_1\sigma_{11}}}{q_1}$  от величины  $Y = \sqrt{\frac{\sigma_{11}}{\mu_1}}$  при различных значениях безразмерных параметров  $u^0 = \frac{u_0}{\sqrt{\mu_1\sigma_{11}}}, \sigma_{22}^0 = \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{11}}, \sigma_{12}^0 = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{11}}, \mu_2^0 = \frac{\mu_2}{\mu_1}$

## Заключение

Итак нами:

Разработана модель переноса и рассеивания активных вредных выбросов приземного слоя атмосферы и методика численного расчёта экспериментов вероятностного поля концентрации примеси в атмосфере с учётом диффузии, химической реакции и переноса вещества течением воздуха. Предлагаемый метод даёт хорошую информацию для организации оперативных служб мониторинга, выбора районов рационального размещения объектов различного назначения, прост в реализации, экономичен, требует знания минимального числа параметров входной информации.

## Список литературы

1. Wilson, J. D., and B. L. Sawford. 1996. Review of Lagrangian stochastic models for trajectories in the turbulent atmosphere. Boundary - Layer Meteorology 78: Pages 191–210.
2. Wang, B., B. Chen, and J. Zhao. 2015. The real-time estimation of hazardous gas dispersion by the integration of gas detectors, neural network and gas dispersion models. Journal of Hazardous Materials 300: Pages 433–42.

3. A.Aydosov, B.Urmashev & G.Zaurbekova. Modeling the spread of harmful substances in the atmosphere at a variable velocity profile - Open Engineering formerly Central European Journal of Engineering, vol. 6, issue 1. ISSN 2391-5439. - Warsaw, Poland, 2016: Pages 264–269
4. Kienle, A., and M. S. Patterson. 1997. Improved solutions of the steady-state and the time-resolved diffusion equations for reflectance from a semi-infinite turbid medium. *Journal of the Optical Society of America* 14 (1): Pages 246–54.
5. N.Zaurbekov, A.Aidosov, N.Zaurbekova, G.Aidosov, G.Zaurbekova & I.Zaurbekov. Emission spread from mass and energy exchange in the atmospheric surface layer: Two-dimensional simulation - *Energy Sources Part A Recovery Utilization and Environmental Effects*. volume 40, 2018 - Issue 23: Pages 2832-2841
6. Ebrahimzadeh, E., Shahsavand, A. Simulation of environmental pollution due to so 2 dispersion - (2014) *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 36 (19): Pages 2095-2105.
7. Sihang, Q., B. Chena, R. Wanga, Z. Zhua, Y. Wangc, and X. Qiu. 2018. Atmospheric dispersion prediction and source estimation of hazardous gas using artificial neural network, particle swarm optimization and expectation maximization. *Atmospheric Environment* 178: Pages 158–63.
8. Goulart, A. G. O., M. J. Lazo, J. M. S. Suarez, and D. M. Moreira. 2017. Fractional derivative models for atmospheric dispersion of pollutants. *Physica A* 477: Pages 9–19.
9. Denglong, M., and Z. Zhang. 2016. Contaminant dispersion prediction and source estimation with integrated Gaussian-Machine learning network model for point source emission in atmosphere. *Journal of Hazardous Materials* 311: Pages 237–45.
10. A.Aidosov, G.Aidosov, N.Zaurbekov, N.Zaurbekova, G.Zaurbekova, I.Zaurbekov. Mathematical Modelling of Atmospheric Pollution in an Industrial Region with a View to Design an Information System Software for Ecological Situation - *Ekoloji*, 2019, Issue 107: Pages 349-358
11. A.Aidosov, G.Aidosov, N.Zaurbekov, G.Zaurbekova, S.Sibanbaeva, B.Talpakova, B.Zaurbekov, N.Zaurbekova. Informational and Matematical Modeling of the Impact of Emissions into the Atmosphere on Public Health - *Ad Alta – Journal of Interdisciplinary Research*, vol. 9, issue 1, special issue V. – Pages: 74-79
12. Ma, D., Zhang, Z. Contaminant dispersion prediction and source estimation with integrated Gaussian-machine learning network model for point source emission in atmosphere - (2016) *Journal of Hazardous Materials*, 311, pp. 237-245.
13. Huimin, L., Xuezhi, Z., Haiping, C., Shunxiang, H., Feng, L., Gang, W. Numerical simulation and field experiment validation of atmospheric pollution chemical accidents based on canopy model (2012) *Procedia Environmental Sciences*, 12 (A), pp. 30-37.
14. Lateb, M., Meroney, R.N., Yataghene, M., Fellouah, H., Saleh, F., Boufadel, M.C. On the use of numerical modelling for near-field pollutant dispersion in urban environments - A review (2016) *Environmental Pollution, Part A* 208, pp. 271-283.
15. Qiu, S., Chen, B., Wang, R., Zhu, Z., Wang, Y., Qiu, X. Atmospheric dispersion prediction and source estimation of hazardous gas using artificial neural network, particle swarm optimization and expectation maximization (2018) *Atmospheric Environment*, 178, pp. 158-163.
16. Bezerra, R.M.F., Pinto, P.A., Fraga, I., Dias, A.A. Enzyme inhibition studies by integrated Michaelis-Menten equation considering simultaneous presence of two inhibitors when one of them is a reaction product (2016) *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 125, pp. 2-7.
17. Марчук Г.Н. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – Москва, Наука, 2002.

# Биометрическое распознавание с использованием глубокого обучения

Оркен Ж. Мамырбаев<sup>1</sup>[0000–0001–8318–3794],  
Айзат С. Кыдырбекова<sup>2</sup>[0000–0001–5740–4100],  
Б. Ж. Жумажанов,  
Толганай Турдалыкызы<sup>3,4</sup>[0000–0002–7720–7945]

<sup>1</sup> Казахский национальный университет имени аль-Фараби, 050040 Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Институт информационных и вычислительных технологий, 050010 Алматы, Казахстан  
morkenj@mail.ru  
kas.aizat@mail.ru

**Аннотация** Модели, основанные на глубоком обучении, были очень успешными в достижении современных результатов во многих задачах компьютерного зрения, распознавания речи и обработки естественного языка в последние несколько лет. Эти модели кажутся вполне подходящими для решения постоянно растущего масштаба проблем биометрического распознавания, от аутентификации мобильного телефона до систем безопасности аэропорта. В последние годы все шире используются модели, основанные на глубоком обучении, для повышения точности различных систем биометрического распознавания. В этой работе мы предоставляем работ по биометрическому распознаванию голоса, в которых используются модели глубокого обучения. Для голосовой биометрии мы сначала вводим доступные наборы данных. Мы также обсудим некоторые из основных проблем при использовании этих моделей для биометрического распознавания и возможные будущие направления, к которым направляются исследования в этой области.

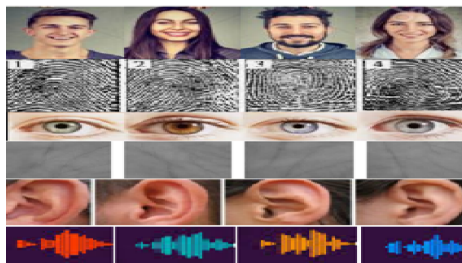
**Ключевые слова:** биометрическое распознавание, глубокое обучение, распознавание голоса

## Введение

Биометрические характеристики занимают уникальное место в приложениях распознавания, аутентификации и безопасности [1], [2]. Они не могут быть потеряны, в отличие от функций на основе токенов, таких как ключи и идентификационные карты, и их нельзя забыть, в отличие от функций, основанных на знаниях, таких как пароли или ответы на секретные вопросы [3]. Кроме того, их практически невозможно идеально имитировать или дублировать. Несмотря на то, что в последнее время предпринимались попытки генерировать и подделывать различные биометрические характеристики [4], [5], также были предложены методы, позволяющие отличить поддельные биометрические признаки от подлинных [6], [7], [8]. Изменения во времени для многих биометрических признаков также крайне незначительны. По этим причинам они используются во многих приложениях,

включая проверку подлинности мобильных телефонов, безопасность в аэропортах и криминалистику. Биометрические признаки могут быть физиологическими, то есть признаками, которыми обладает любой человек, такими как отпечатки пальцев [9], отпечатки ладоней [10], [11], черты лица [12], уши [13], ирисы [14], [15], и сетчатки [16], или поведенческие, которые проявляются во взаимодействии человека с окружающей средой, такие как подписи [17], походки [18] и нажатия клавиш [19]. Голос/Речь содержит как поведенческие особенности, такие как акцент, так и физиологические особенности, такие как высота голоса [20]. Лицо и отпечаток пальца, пожалуй, наиболее часто используемые физиологические биометрические характеристики. Отпечаток пальца является самым старым, начиная с 1893 года, когда он использовался для осуждения подозреваемого в убийстве в Аргентине [21]. Лицо имеет много отличительных черт, которые могут быть использованы для задач распознавания [22]. Тем не менее, его восприимчивость к изменениям из-за таких факторов, как экспрессия или старение, может представлять проблему. Отпечаток пальца состоит из гребней и долин, которые образуют уникальные узоры. Мелкие детали являются основными локальными частями отпечатка пальца, которые могут быть использованы для определения уникальности отпечатка пальца, двумя из наиболее важных из которых являются окончание гребня и бифуркации гребня. Palmprint - еще одна альтернатива, используемая для аутентификации. Помимо мелких деталей, отпечатки пальцев также состоят из геометрических элементов, треугольников, главных линий и морщин. Радужная оболочка и сетчатка являются двумя наиболее популярными биометрическими показателями, которые присутствуют в глазу, и могут быть использованы для распознавания по текстуре радужной оболочки или по образцу кровеносных сосудов в сетчатке. Стоит отметить один интересный момент: даже два глаза одного и того же человека имеют разные модели. Уши могут также использоваться в качестве биометрических по форме их долей и спирали, и, в отличие от большинства биометрических признаков, не нуждаются в непосредственном взаимодействии человека. Правое и левое уши симметричны у человека в большинстве случаев. Однако их размеры могут изменяться со временем. Среди поведенческих особенностей подписи, пожалуй, наиболее широко используются сегодня. Штрихи в подписи могут быть проверены на давление пера по всей подписи, а также на скорость, которая является фактором, определяющим толщину штриха. Походка относится к манере ходьбы, которая в последние годы привлекает все больше внимания. Благодаря вовлечению многих суставов и частей тела в ходьбу, походка также может быть использована для однозначной идентификации человека на расстоянии [23]. Образцы различных биометрических данных показаны на рисунке 1.

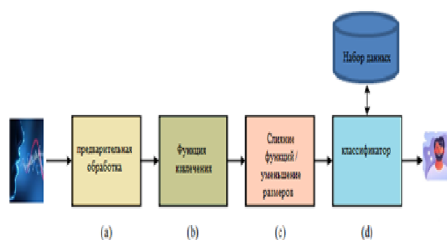
Традиционно процесс биометрического распознавания включал несколько ключевых этапов. На рисунке 2 показана блок-схема традиционных систем биометрического распознавания. Во-первых, данные изображения получают с помощью (различных) камер или оптических датчиков, а затем предварительно обрабатывают, чтобы заставить алгоритм работать с максимально возможным количеством полезных данных. Затем функции извлекаются из каждого изображения. Классические работы по биометрическому распознаванию в основном основыв-



**Рисунок 1.** Образцы изображений для различных биометрик. Изображения в первом-шестом рядах обозначают образцы лица, отпечатка пальца, радужки, ладони, уха и голос соответственно.

вались на ручных функциях (разработанных специалистами по компьютерному зрению) для работы с определенным типом данных [24],[25],[26]. Анализ главных компонент также используется во многих работах для уменьшения размерности функций [27],[28]. Как только объекты извлечены, они вводятся в классификатор для выполнения распознавания.

Многие проблемы возникают в традиционной задаче биометрического распознавания. Например, созданные вручную элементы, которые подходят для одной биометрии, не обязательно будут хорошо работать на других. Следовательно, потребовалось бы большое количество экспериментов, чтобы найти и выбрать наиболее эффективный набор функций ручной работы для определенной биометрии. Также многие классические модели были основаны на мультиклассовых SVM, обученных по принципу «один против одного», который не будет хорошо масштабироваться при большом количестве классов.



**Рисунок 2.** Блок-схема большинства классических алгоритмов биометрического распознавания.

Однако смена парадигмы начала происходить в 2012 году, когда модель глубокого обучения AlexNet [29] с большим отрывом выиграла конкурс ImageNet. С тех пор, модели глубокого обучения были применены к широкому кругу про-

блем в компьютерном зрении и обработке естественного языка (NLP), и достигли многообещающих результатов. Неудивительно, что биометрические методы распознавания не стали исключением и были перенесены на модели глубокого обучения. Модели, основанные на глубоком обучении, обеспечивают комплексную структуру обучения, которая может совместно изучать представление признаков при выполнении классификации/регрессии. Это достигается с помощью многослойных нейронных сетей, также известных как глубокие нейронные сети (DNN), для изучения нескольких уровней представлений, которые соответствуют различным уровням абстракции, что лучше подходит для выявления базовых шаблонов данных. Основная идея нейронной сети состоит в том, чтобы передавать (необработанные) данные через ряд взаимосвязанных нейронов или узлов, каждый из которых эмулирует линейную или нелинейную функцию на основе своих собственных весов и смещений. Эти веса и смещения будут меняться во время обучения за счет обратного распространения градиентов от выходных данных [30], как правило, возникающих в результате различий между ожидаемым выходным сигналом и фактическим выходным током, нацеленных на минимизацию функции потерь или функции затрат (разница между прогнозируемой и фактические результаты согласно некоторой метрике) [31]. Мы поговорим о различных глубоких архитектурах более подробно в разделе 2.

В этой статье представляем всесторонний обзор последних достижений в области биометрического (голосого) распознавания с использованием систем глубокого обучения. Для голосовой биометрии мы предоставляем некоторые из самых популярных наборов данных, используемых сообществом компьютерного зрения, и самые многообещающие современные глубокие учебные работы, используемые в области биометрического распознавания. Затем мы предоставляем количественный анализ известных моделей для голосовой биометрии. Наконец, мы исследуем проблемы, связанные с методами глубокого обучения в области биометрического распознавания и исследовательских возможностей в будущем. Мы предоставляем всесторонний обзор и глубокий анализ биометрического распознавания с использованием глубокого обучения, включая данные обучения, выбор сетевых архитектур, стратегии обучения и их ключевые вклады. Предоставляем сравнительный обзор свойств и производительности рассмотренных методов для биометрического распознавания и предлагаем потенциальное будущее направление для моделей биометрического распознавания на основе глубокого обучения.

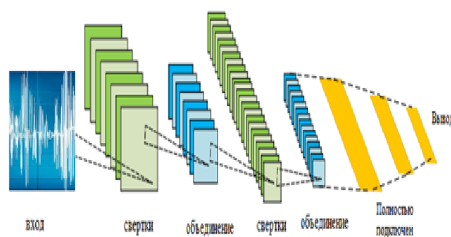
## **Глубокая нейронная сеть**

В этом разделе предоставляем обзор некоторых наиболее перспективных архитектур глубокого обучения, используемых сообществом компьютерного зрения, включая сверточные нейронные сети (CNN) [32], рекуррентные нейронные сети (RNN) и одну из их специфических версий, называемых long short термин «память» (LSTM) [33], автокодеры и порождающие состязательные сети (GAN) [34]. Следует отметить, что с популярностью глубокого обучения в последние годы, было предложено несколько других глубоких нейронных архитектур.

### Сверточные нейронные сети (CNN)

Сверточные нейронные сети (CNN) (вдохновленные зрительной корой млекопитающих) являются одной из наиболее успешных и широко используемых архитектур в сообществе глубокого обучения (особенно для задач компьютерного зрения). CNN был первоначально предложен Фукусимой в оригинальной статье под названием «Неокогнитрон» [35], основанной на модели зрительной системы человека, предложенной нобелевскими лауреатами Хьюбелом и Визелом. Позже Ян Лекун и его коллеги разработали структуру оптимизации (основанную на обратном распространении), чтобы эффективно изучать веса моделей для архитектуры CNN [32]. Блок-схема одной из первых моделей CNN, разработанных Lecun et al. показано на рисунке 3.

CNN в основном состоят из трех типов слоев: сверточных слоев, где к изображению применяется скользящее ядро (как в операции свертки изображения) для извлечения признаков; нелинейные слои (обычно применяемые поэлементно), которые применяют функцию активации к элементам, чтобы обеспечить возможность моделирования нелинейных функций сетью; и объединение слоев, которое берет небольшую окрестность карты объектов и заменяет ее некоторой статистической информацией (среднее, максимальное и т.д.) окрестности. Узлы в слоях CNN локально связаны; то есть каждая единица в слое получает входные данные из небольшого соседства предыдущего уровня (известного как поле восприятия). Основным преимуществом CNN является механизм распределения веса за счет использования скользящего ядра, которое просматривает изображения и собирает локальную информацию для извлечения функций. Поскольку веса ядра распределены по всему изображению, CNN имеют значительно меньшее количество параметров, чем аналогичная полностью подключенная нейронная сеть. Также, сложив несколько слоев свертки, слои более высокого уровня изучают свойства из все более широких восприимчивых полей. CNN применялись для различных задач компьютерного зрения, таких как: семантическая сегментация [36], сегментация медицинских изображений [37], обнаружение объектов [38], суперразрешение [39], улучшение изображений [40], генерация титров для изображений и видео [41] и многое другое.



**Рисунок 3.** Архитектура сверточной нейронной сети (CNN), показывающая две основные операции свертки и объединения.



## Рекуррентные нейронные сети и LSTM

Рекуррентные нейронные сети (RNN) [42] широко используются для обработки последовательных данных, таких как речь, текст, видео и временные ряды (например, цены на акции), где данные в любой момент времени/позиции зависят от ранее обнаруженных данных. Высокоуровневая архитектура простого RNN показана на рисунке 4. Как мы видим, на каждой временной отметке, модель получает входные данные из текущего времени  $x_t$  и скрытое состояние из предыдущего шага  $h_{t-1}$  и выводит скрытое состояние (и, возможно, выходные значение). Скрытое состояние с самой последней отметки времени (или средневзвешенное значение всех скрытых состояний) может затем использоваться для выполнения задачи.

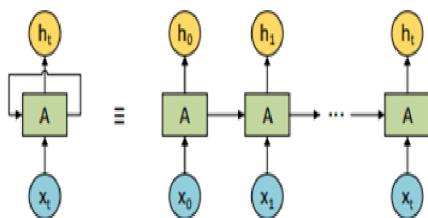


Рисунок 4. Архитектура рекуррентной нейронной сети (RNN).

RNN обычно страдают при работе с длинными последовательностями, поскольку они не могут уловить долгосрочные зависимости многих реальных приложений (хотя в теории ничто не ограничивает их в этом). Тем не менее, существует разновидность RNN, называемая LSTM, которая предназначена для лучшего захвата долгосрочных зависимостей. Долгосрочная кратковременная память (LSTM): LSTM - это популярная рекуррентная архитектура нейронной сети для моделирования последовательных данных, которая разработана для лучшей способности фиксировать долгосрочные зависимости, чем ванильная модель RNN [33]. Как упомянуто выше, ванильный RNN часто страдает от градиента исчезновения или взрыва, и сеть LSTM пытается преодолеть эту проблему путем введения некоторых внутренних элементов. В архитектуре LSTM есть три шлюза (входной шлюз, выходной шлюз, шлюз забывания) и ячейка памяти. Ячейка запоминает значения за произвольные промежутки времени, а три других шлюза регулируют поток информации в ячейку и из нее. Рисунок 5 иллюстрирует внутреннюю архитектуру одного модуля LSTM.

Соотношение между входом, скрытыми состояниями и различными воротами показано в уравнении 1:

$$f_t = \sigma * (W^{(f)} * x_t + U^{(f)} * h_{t-1}) + b^{(f)}$$

$$i_t = \sigma * (W^{(i)} * x_t + U^{(i)} * h_{t-1}) + b^{(i)}$$

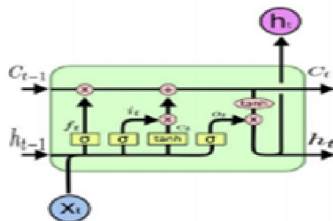


Рисунок 5. Архитектура стандартного модуля LSTM.

$$\begin{aligned}
 \sigma_t &= \sigma * (W^{(\sigma)} * x_t + U^{(\sigma)} * h_{t-1}) + b^{(\sigma)} \\
 c_t &= f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \tanh * (W^{(c)} * x_t + U^{(c)} * h_{t-1} + b^{(c)}) \\
 h_t &= \sigma_t \odot \tanh(c_t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

является вводом на временном шаге  $t$ , и  $d$  обозначает размерность признака для каждого слова,  $\sigma$  обозначает поэлементную сигмоидальную функцию (для сжатия/отображения значений в пределах  $[0, 1]$ ), обозначает поэлементное произведение.  $c_t$  обозначает ячейку памяти, предназначенную для снижения риска исчезновения/взрыва градиента и, следовательно, обеспечения возможности изучения зависимостей в течение более длительных периодов времени, что невозможно в традиционных рекуррентных сетях. Строб забывания  $f_t$  предназначен для сброса ячейки памяти. он и не обозначает входные и выходные вентили и, по существу, контролирует вход и выход ячейки памяти.

### Авто-кодеры

Авто-кодеры - это семейство моделей нейронных сетей, используемых для обучения эффективному кодированию данных без присмотра. Они достигают этого, сжимая входные данные в представление скрытого пространства, а затем реконструируют выходные данные (которые обычно совпадают с входными данными) из этого представления. Авто-кодеры состоят из двух частей:

Кодер: это часть сети, которая сжимает входные данные в представление скрытого пространства. Это может быть представлено функцией кодирования  $z = f_x$ .

Декодер. Эта часть предназначена для восстановления входных данных из скрытого пространственного представления. Это может быть представлено функцией декодирования  $y = g_z$ .

Архитектура простой модели авто-кодировщика показана на рисунке 6. Авто-кодировщики обычно обучаются путем минимизации ошибки восстановления,  $L(x, \tilde{x})$  (без присмотра, т.е. нет необходимости в помеченных данных), которая измеряет различия между нашим исходным вводом  $x$  и последующая реконструкция  $\tilde{x}$ . Среднеквадратичная ошибка и среднее абсолютное отклонение являются популярными вариантами потерь при восстановлении во многих приложениях.

Среднеквадратичная ошибка и среднее абсолютное отклонение являются популярными вариантами потерь при восстановлении во многих приложениях

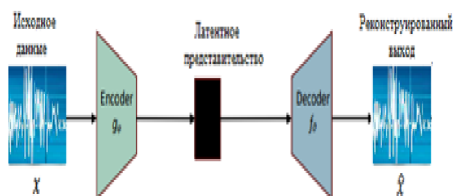


Рисунок 6. Архитектура стандартной модели авто-кодера.

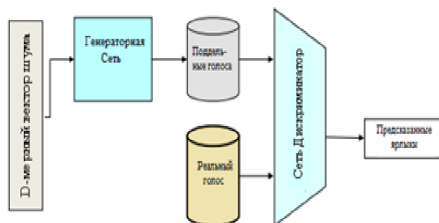
Есть несколько вариантов авто-кодировщиков, которые предлагались в прошлом. Одним из популярных является стековый автошифровщик с шумоподавлением (SDAE), который укладывает несколько авто-кодировщиков и использует их для шумоподавления изображения [43]. Другой популярный вариант автоэнкодеров - это «вариационный авто-кодер (VAE)», который налагает предварительное распределение на скрытое представление [44]. Вариационные авто-кодеры способны генерировать реалистичные выборки из распределения данных. Другой вариант авто-кодировщиков - это состязательные авто-кодеры, которые вносят состязательные потери в скрытое представление, чтобы побудить их быть близкими к предыдущему распределению.

## Генеративные Состязательные Сети (GAN)

Генеративные состязательные сети (GAN) - это новое семейство моделей глубокого обучения, которое состоит из двух сетей, одного генератора и одного дискриминатора [34]. На высоком уровне работа генератора состоит в том, чтобы генерировать выборки из распределения, которые достаточно близки к реальным выборкам, с целью обмануть дискриминатор, в то время как работа дискриминатора состоит в том, чтобы отличать сгенерированные выборки (подделки) от подлинных. Общая архитектура ванильной модели GAN показана на рисунке 7.

Сеть генераторов в ванильной сети GAN изучает отображение из  $z$  (с предварительным распределением, например, гауссова) в целевое распределение  $y$ ,  $G = y \rightarrow z$ , которое выглядит как реальные выборки, в то время как сеть дискриминатора  $D$  пытается отличать образцы, сгенерированные моделями генератора, от реальных. Функция потерь GAN может быть записана как уравнение 2:

$$L_{GAN} = E_{x \sim P_{data}(x)} [\log D(x)] + E_{z \sim P_z(z)} [\log(1 - D(G(z)))] \quad (2)$$



**Рисунок 7.** Архитектура порождающей состязательной сети.

в которой мы можем думать о GAN, как о минимаксной игре между  $D$  и  $G$ , где  $D$  пытается минимизировать ошибку классификации при обнаружении поддельных выборок из реальных (максимизировать вышеуказанную функцию потерь), а  $G$  пытается максимизировать дискриминатор ошибку сети (минимизируйте вышеуказанную функцию потерь). После обучения этой модели обученная модель генератора будет:

$$G^* = \arg \min_G \max_D L_{GAN} \quad (3)$$

На практике функция потерь в уравнении 3 может не обеспечивать достаточного градиента для  $G$ , чтобы хорошо обучиться, особенно в начале, когда  $D$  может легко обнаружить поддельные образцы из реальных. Одним из решений является максимизация:

$$E_z \sim p_z[\log(D(G(z)))] \quad (4)$$

со времени изобретения GAN было несколько работ, направленных на улучшение / модификацию GAN в различных аспектах.

### Подход к обучению

Теперь, когда мы поговорили о некоторых популярных архитектурах глубокого обучения, давайте кратко поговорим о том, как эти модели применяются в новых приложениях. Конечно, эти модели всегда можно обучить новым приложениям с нуля, при условии, что они снабжены достаточным количеством маркированных данных. Но в зависимости от глубины модели (то есть, насколько велико число параметров), может быть не очень просто заставить модель сходиться к хорошему локальному минимуму. Кроме того, для многих приложений может быть недостаточно доступных данных с метками для обучения глубокой модели с нуля. В этих ситуациях может быть использован подход к обучению с переносом, чтобы лучше обрабатывать помеченные ограничения данных и проблему локального минимума.

В трансферном обучении модель, обучаемая одной задаче, переориентируется на другую связанную задачу, обычно путем некоторой адаптации к новой задаче. Например, можно представить себе использование модели классификации

голоса, обученной в ImageNet, для использования в других задачах, таких как классификация текстур или распознавание радужной оболочки. Существует два основных способа использования предварительно обученной модели для другой задачи. В одном подходе предварительно обученная модель, например языковая модель рассматривается как средство извлечения признаков, и над ней обучается классификатор для выполнения классификации (например, классификации настроений). Здесь внутренние веса предварительно обученной модели не адаптированы к новой задаче. В другом подходе вся сеть или ее часть настраиваются на новую задачу. Поэтому предварительно обученные весовые коэффициенты модели рассматриваются как начальные значения для новой задачи и обновляются на этапе обучения.

Многие из основанных на глубоком обучении моделей для биометрического распознавания основаны на трансферном обучении (за исключением голоса из-за различий в характере данных и лица из-за доступности крупномасштабных наборов данных).

## Распознавание голоса

В этом разделе мы представляем обзор наиболее перспективных работ по глубокому обучению для голосовому распознаванию.

Распознавание голоса (также известное как распознавание говорящего) - это задача определения личности человека с использованием характеристик голоса. В некотором смысле, распознавание говорящего включает в себя как поведенческие, так и физиологические особенности, такие как акцент и высота соответственно. Использование автоматических способов распознавания докладчиков восходит к 1960-м годам, когда правоохранительные органы обращались в Bell Laboratories с просьбой идентифицировать звонящих, которые угрожали по телефону словесной бомбой [45]. За прошедшие годы исследователи разработали множество моделей, которые могут эффективно выполнять эту задачу, особенно с помощью глубокого обучения. В дополнение к приложениям безопасности, он также используется в виртуальных личных помощниках, таких как Google Assistant, чтобы они могли распознавать и отличать голос владельца телефона от других [46].

Распознавание говорящего можно классифицировать на идентификацию говорящего и его проверку. Идентификация говорящего - это процесс определения личности человека из набора зарегистрированного голоса с использованием данного высказывания [47], тогда как проверка говорящего - это процесс принятия или отклонения предложенной личности, заявленной для говорящего [48]. Поскольку эти две задачи обычно используют один и тот же процесс оценки в рамках часто используемых метрик, термины иногда используются взаимозаменяемо в ссылочных документах. Распознавание голоса также тесно связано с диаризацией голосов, когда входной аудиопоток делится на однородные сегменты в соответствии с идентификацией голосов [49].

### Наборы голосовых данных

Вот некоторые из популярных наборов данных по распознаванию голоса/ говорящего:

**NIST SRE:** Начиная с 1996 года, Национальный институт стандартов и технологий (NIST) организовал серию оценок для исследования распознавания говорящих [50]. Таким образом, наборы данных для оценки распознавания говорящих (SRE), скомпилированные NIST, стали наиболее широко используемыми наборами данных для оценки систем распознавания говорящих. Эти наборы данных собираются по мере развития, и каждый план оценки имеет немного различную направленность. Эти наборы оценочных данных различаются по длине звука [51], записывающим устройствам (телефон, трубки и видео) [52], источникам данных [53] и сценариям сопоставления/несовпадения. В последние годы SRE 2016 и SRE 2018 являются самыми популярными наборами данных в этой области.

**SITW:** Набор данных *Speakers in the Wild* (SITW) был получен в неограниченных условиях [54]. В отличие от наборов данных SRE, эти данные не были собраны в контролируемых условиях и, таким образом, содержат реальный шум и реверберацию. База данных состоит из записей 299 докладчиков, в среднем восемь различных сессий на человека.

**VoxCeleb:** набор данных VoxCeleb [55] и набор данных VoxCeleb2 [56] являются общедоступными наборами данных, скомпилированными из видео интервью, загруженных на YouTube, чтобы подчеркнуть отсутствие крупномасштабных неограниченных данных для распознавания докладчиков. Эти данные собираются с использованием полностью автоматизированного конвейера. Двухпоточковая синхронизация CNN используется для оценки корреляции между звуковой дорожкой и движением рта видео, а затем методы распознавания лиц на основе CNN используются для идентификации говорящих для речевого аннотирования. VoxCeleb1 содержит более 100 000 высказываний для 1251 знаменитости, а VoxCeleb2 содержит более миллиона высказываний для 6 112 идентификаторов.

Помимо наборов данных, разработанных исключительно для задач распознавания говорящих, многие наборы данных, собранные для автоматического распознавания речи, также можно использовать для обучения или оценки систем распознавания говорящих. Например, набор данных Switchboard [57] и Fisher Corpus [58], которые первоначально были собраны для задач распознавания речи, также используются для обучения модели в оценках распознавания речи NIST. С другой стороны, исследователи могут использовать существующие наборы данных для распознавания речи, чтобы подготовить свой собственный набор данных для оценки распознавания говорящего, чтобы доказать эффективность своих исследований. Например, набор данных Librispeech [59] и набор данных TIMIT [60] предварительно обработаны автором в [61], чтобы служить оценочным набором для задачи распознавания говорящего.

### Глубокие учебные работы по распознаванию голоса

До эры глубокого обучения большинство современных систем распознавания говорящих создавалось с использованием подхода *i – vector vector* [62], в котором

используется факторный анализ для определения низкоразмерного пространства, которое моделирует вариации как говорящего, так и канала. В последние годы становится все более и более популярным исследовать подходы глубокого обучения для распознавания говорящего. Одним из первых подходов в этих усилиях является включение акустических моделей на основе DNN в структуру  $i - vector$  [63]. В этом методе используется акустическая модель DNN, подготовленная для автоматического распознавания речи (ASR), для сбора статистики выступающих для обучения модели  $i - vector$ . Было показано, что это улучшение приводит к 30%-ному относительному снижению равной частоты ошибок.

Примерно в то же время  $d - vector$  был предложен в [64] для распознавания текстозависимого динамика с помощью нейронной сети. При таком подходе DNN обучается для классификации ораторов на уровне кадра. Во время регистрации и тестирования обученный DNN используется для извлечения специфических особенностей говорящего из последнего скрытого слоя. Затем вычисляют  $d - vector$  путем усреднения этих признаков и используют в качестве встраивания динамик для распознавания. Этот метод показывает 14% и 15% относительное улучшение по сравнению с системой  $i - vector$  в чистых и шумных условиях, соответственно.

В [65] нейронная сеть с задержкой по времени обучается извлекать  $- vector$  уровня сегмента для независимого от текста распознавания речи. Эта сеть принимает особенности речевых сегментов и пропускает их через несколько нелинейных уровней, за которыми следует слой объединения для классификации ораторов на уровне сегментов. Затем  $- vector$  извлекаются из пула для регистрации и тестирования. Показано, что система  $- vector$  может обеспечить лучшую производительность распознавания говорящего по сравнению с традиционным подходом  $i - vector$  с помощью дополнения данных.

Сквозные подходы, основанные на нейронных сетях, также рассматриваются в различных статьях. В [66] и [67] нейронные сети спроектированы так, чтобы принимать пары речевых сегментов, и обучаются классифицировать цели совпадения/несоответствия. Специально разработанная функция потерь триплета предложена в [68] для замены двоичной функции потерь классификации. Обобщенная сквозная потеря (GE2E), которая аналогична потере триплета, предложена в [69] для распознавания текстозависимого динамика по внутреннему набору данных.

В [70] предложена дополнительная оптимизационная цель, называемая внутриклассовой потерей, для улучшения глубокого встраивания говорящего, усвоенного с триплетной потерей. В статье показано, что модели, обученные с использованием внутриклассовых потерь, могут привести к значительному относительному уменьшению на 30% при одинаковой частоте ошибок (EER) по сравнению с исходной триплетной потерей. Эффективность оценивается как для наборов данных VoxCeleb, так и для VoxForge.

В [61] авторы предложили метод обучения встраивания спикеров из необработанного сигнала путем максимизации взаимной информации. Этот подход использует архитектуру кодировщика-дискриминатора, аналогичную архитектуре генерирующих состязательных сетей (GAN), для неявной оптимизации взаимной информации. Авторы показывают, что этот подход эффективно усваивает полез-

ные представления докладчиков, что приводит к превосходной производительности в корпусе VoxCeleb по сравнению с системами i-vector baseline и CNN на основе потерь в три раза.

В [71] авторы объединяют функции извлечения глубоких сверточных функций, функции самообслуживания и функции больших потерь в свои сквозные устройства распознавания глубоких динамиков. Индивидуальные и ансамблевые модели из этого подхода достигли самых современных показателей на VoxCeleb с относительным улучшением на 70% и 82% соответственно, по сравнению с лучшими результатами, о которых сообщалось. Авторы также предложили использовать нейронную сеть для подстановки классификатора PLDA, что позволяет им получать самые современные результаты в наборе данных NIST-SRE 2016.

## **Производительность разных моделей на разных наборах данных**

В этом разделе мы представим работу различных моделей биометрического распознавания, разработанных за последние несколько лет. Мы собираемся представить результаты каждой модели биометрического распознавания в отдельности, обеспечив выполнение нескольких многообещающих работ над одним или двумя широко используемыми наборами данных этой биометрии. Прежде чем перейти к количественному анализу, мы сначала кратко представим некоторые популярные метрики, которые используются для оценки моделей биометрического распознавания.

### **Популярные метрики для оценки биометрических систем распознавания**

Различные метрики предназначены для оценки производительности систем биометрического распознавания. Здесь мы представляем обзор некоторых популярных метрик для оценки проверки и идентификации алгоритмов. Биометрическая проверка имеет отношение к проблеме повторной идентификации, где мы хотим увидеть, соответствуют ли данные данным зарегистрированному образцу. Во многих случаях производительность измеряется с точки зрения точности проверки, особенно когда предоставляется тестовый набор данных. Равный коэффициент ошибок (EER) - это еще один популярный показатель, который представляет собой коэффициент ошибок, определяемый порогом, который дает равные ложные отрицательные и ложноположительные показатели. Рабочая характеристика приемника (ROC) также является другой классической метрикой, используемой для проверки производительности. ROC по существу измеряет истинную положительную скорость (TPR), которая является долей подлинных сравнений, которая правильно превышает порог, и ложную положительную скорость (FPR), которая является долей сравнений самозванцев, которые неправильно превышают порог, при различных пороговых значениях. ACC (точность классификации) - это еще один показатель, используемый LFW, который представляет собой просто процент правильных классификаций. Многие работы также используют TPR для



определенного FPR. Например, IJB-A фокусируется на  $TPR @ FAR = 10^{-3}$ , в то время как Megaface использует  $TPR @ FPR = 10^{-6}$ .

Идентификация замкнутого набора может быть измерена с точки зрения точности идентификации замкнутого набора, а также скорости обнаружения и идентификации ранга N. Rank-N измеряет процент поисковых запросов, возвращающих образцы из галереи зондов в верхних N ранжированных результатах (например, IJB-A/B/C фокусируется на показателях распознавания ранга-1 и ранга-5). Кумулятивная характеристика соответствия (CMC) - еще одна популярная метрика, которая измеряет процент проб, идентифицированных в данном ранге. Матрица смещения также является популярной метрикой для небольших наборов данных.

Идентификация открытого набора имеет дело со случаями, когда система распознавания должна отклонять неизвестные / невидимые предметы (зонды, которых нет в галерее) во время теста. В настоящее время существует очень мало баз данных, охватывающих задачу открытого биометрического распознавания. Точность идентификации Openset является популярным показателем для этой задачи. В некоторых тестах также предлагалось использовать кривую компромисса с ошибкой принятия решения (DET) для характеристики FNIR (уровень ложноотрицательной идентификации) как функции FPIR (уровень ложноположительной идентификации).

Производительность моделей для распознавания голоса:

Наиболее широко используемой метрикой для оценки систем распознавания говорящих является Equal Error Rate (EER). Помимо EER, другие показатели также используются для оценки системы. Например, кривая компенсации ошибки обнаружения (кривая DET) используется в оценках эффективности SRE для сравнения различных систем. Кривая DET создается путем нанесения коэффициента ложного отрицания на уровень ложного положительного результата с логарифмической шкалой на осях X и Y. (EER соответствует точке на кривой DET, где уровень ложного отрицания и уровень ложного срабатывания равны.) Минимальная стоимость обнаружения - это еще один показатель, который часто используется в задачах распознавания говорящего [72]. Эта стоимость определяется как средневзвешенное значение двух нормализованных коэффициентов ошибок. Не все эти показатели представлены в каждой исследовательской работе, но EER является наиболее важным показателем для сравнения различных систем.

В таблице 1 приведены результаты работы некоторых из лучших систем распознавания спаркеров на основе глубокого наклона в наборе данных VoxCeleb1. Как показано в таблице, прогресс, достигнутый исследователями за последние два года, является заметным. Все эти системы, показанные в таблице 1, являются отдельными системами, что означает, что производительность может быть повышена с помощью комбинации систем или ансамблей. Для наборов данных SRE из-за большого количества серий и сложности различных условий оценки сложно объединить все результаты в одну таблицу. Кроме того, разные документы могут представлять результаты для разных наборов или условий, что затрудняет сравнение производительности для разных подходов.

Большинство существующих наборов данных для идентификации докладчиков содержат образцы, полученные в довольно ограниченных условиях, и обычно снабжаются примечаниями вручную, следовательно, имеют ограниченный размер. Цель этого документа - создать крупномасштабный текст-независимый набор данных идентификации говорящего, собранный «в дикой природе». Наш конвейер предполагает получение видео с YouTube; выполнение активной проверки динамиком с использованием сверточной нейронной сети (CNN) с синхронизацией двух потоков и подтверждение личности говорящего с использованием распознавания лиц на основе CNN. Мы используем этот конвейер для курирования VoxCeleb, который содержит сотни тысяч высказываний из «реального мира» для более чем 1000 пользователей. Наш вклад заключается в применении и сравнении различных современных методов идентификации докладчиков в нашем наборе данных для определения базовой производительности. Мы показываем, что архитектура на основе CNN обеспечивает наилучшую производительность как для идентификации, так и для аутентификации.

**Таблица 1.** . Точность различных систем распознавания голосов в наборе данных VoxCeleb1.

Модель	Потеря	Обучающий набор
$i - vector$ +PLDA	-	14 point, VoxCeleb1
SincNet+LIM (raw audio)	-	VoxCeleb1
$x - vector$	Softmax	VoxCeleb1
ResNet-34	A- Softmax + GNLL	VoxCeleb1
$x - vector$	Softmax	VoxCeleb1
ResNet-20	AM- Softmax	VoxCeleb1
ResNet-50	Softmax + Contrastive	VoxCeleb2
ThinResNet-34	Softmax	VoxCeleb2
ResNet-28	AMM	VoxCeleb1

Рассмотренные выше подходы, основанные на глубоком обучении, также применяются к другим смежным областям, например, речевая диаризация, обнаружение повторной атаки и идентификация языка. Поскольку этот документ посвящен биометрическому распознаванию, мы пропускаем детали для этих задач.

## Проблемы и возможности

За последние несколько лет системы биометрического распознавания претерпели большой прогресс с помощью моделей, основанных на глубоком обучении, но впереди еще несколько задач, которые могут быть решены в течение нескольких лет и десятилетий.

### **Более сложные наборы данных**

Хотя некоторые из существующих наборов данных биометрического распознавания (такие как MegaFace, MS-Celeb-1M) содержат очень большое количество кандидатов, они все еще далеки от представления всех реальных сценариев. Несмотря на то, что современные алгоритмы могут достигать уровней точности более 99,9% в базах данных LFW и Megaface, фундаментальные проблемы, такие как сопоставление лиц / биометрии по возрастам, разные позы, частичные данные, различные типы датчиков, по-прежнему остаются сложными. Также число субъектов/людей в реальных сценариях должно быть порядка десятков миллионов. Поэтому набор данных биометрии, который содержит гораздо большее количество классов (10M100M), а также намного больше внутриклассовых вариаций, станет еще одним большим шагом на пути поддержки всех реальных условий.

### **Интерпретируемые глубокие модели**

Это правда, что модели, основанные на глубоком обучении, достигли удивительных результатов во многих сложных тестах, но есть еще несколько открытых вопросов по поводу этих моделей. Например, что именно изучают модели глубокого обучения? Почему эти модели легко одурачить соперничающими примерами (в то время как человек может легко обнаружить многие из этих примеров)? Что такое минимальная нейронная архитектура, которая может обеспечить определенную точность распознавания для данного набора данных?

### **Немногочисленное обучение и обучение с самообучением.**

Многие из успешных моделей, разработанных для биометрического распознавания, обучаются на больших наборах данных с достаточным количеством выборок для каждого класса. Одной из интересных будущих тенденций будет разработка моделей распознавания, которые могут выучить мощные модели из очень немногих кадров (ноль / один выстрел в крайнем случае). Это позволило бы обучать дискриминационные модели без необходимости предоставлять несколько образцов для каждого человека / личности. Самостоятельное обучение [73] также является еще одной популярной в последнее время темой глубокого обучения, которая недостаточно изучена для распознавания биометрии. Одним из способов его использования было бы изучение дискриминационных биометрических признаков из локальных фрагментов изображения, а затем агрегирование этих признаков и их использование для классификации.

### **Биометрический синтез**

Одно биометрическое распознавание само по себе далеко не достаточно для решения всех биометрических/криминалистических задач. Например, отличить идентичных близнецов может быть невозможно только от лица, или сопоставить идентичность с лицом с маскировкой, или после операции может быть не так просто. Слияние информации из нескольких биометрических данных может обеспечить

более надежное решение/систему во многих из этих случаев (например, использование голоса + лица или голоса+походки потенциально может решить идентичное обнаружение близнецов) [74,75]. Хорошая нейронная архитектура, которая может совместно кодировать и объединять различные биометрические параметры, была бы интересной проблемой (слияние информации может происходить на уровне данных, уровне возможностей, уровне оценки или уровне принятия решений).

### **Модели в реальном времени для различных приложений**

Во многих приложениях точность является наиболее важным фактором; однако есть много применений, в которых также важно иметь модель биометрического распознавания почти в реальном времени. Это может быть очень полезно для решений на устройстве, таких как аутентификация для мобильных телефонов и планшетов. Некоторые из современных глубоких моделей для распознавания биометрии далеки от этого требования скорости, и разработка моделей, близких к реальному времени, но точные модели были бы очень полезны.

### **Модели с эффективным использованием памяти**

Многие из моделей, основанных на глубоком обучении, требуют значительного объема памяти даже во время вывода. До сих пор большая часть усилий была сосредоточена на повышении точности этих моделей, но для того, чтобы приспособить эти модели к устройствам, сети должны быть упрощены. Это может быть сделано либо с помощью более простой модели, с использованием методов сжатия моделей, либо путем обучения сложной модели, а затем с помощью методов дистилляции знаний, чтобы сжать ее в меньшую сеть, имитирующую исходную сложную модель. Наличие модели с эффективным использованием памяти открывает двери для использования этими моделями даже на бытовых устройствах.

### **Вопросы безопасности и конфиденциальности**

Безопасность имеет большое значение в системах биометрического распознавания. Атака презентацией, атака по шаблону и состязательная атака угрожают безопасности систем глубокого биометрического распознавания и бросают вызов существующим методам антиспуфинга. Несмотря на то, что были предприняты некоторые попытки для обнаружения примеров с состязаниями, до надежных/спуфинговых возможностей еще далеко. В связи с утечкой биологических/биометрических данных в настоящее время возникают проблемы с конфиденциальностью. Некоторая информация об идентичности / возрасте / поле пользователя может быть декодирована из представления их изображений по нейронным признакам. Исследования в области визуальной криптографии, чтобы защитить конфиденциальность пользователей на сохраненных шаблонах биометрии, имеют важное значение для решения проблем конфиденциальности в обществе.

## Выводы

В этой работе мы представили сводку последних моделей глубокого обучения (до 2020 года) для биометрического распознавания. В отличие от других исследований, он дает обзор наиболее часто используемых биометрических данных. Глубокие нейронные модели показали многообещающее улучшение по сравнению с классическими моделями для различных биометрий. Голосовые биометрические данные привлекли гораздо больше внимания из-за более широкого промышленного применения и доступности больших наборов данных, но другие биометрические характеристики, похоже, следуют той же тенденции. Хотя глубокие исследования в области биометрии достигли многообещающих результатов, все еще есть большие возможности для улучшения в различных направлениях, таких как создание больших и более сложных наборов данных, решение проблем интерпретации моделей, объединение нескольких биометрических показателей и решение вопросов безопасности и конфиденциальности.

**Благодарность** . Данная работа была поддержана Министерством образования и науки Республики Казахстан. IRN AP05131207 Разработка технологий мультязычного автоматического распознавания речи с использованием глубоких нейронных сетей.

## Список литературы

1. Anil Jain, Lin Hong, Sharath Pankanti. Биометрическая идентификация. Сообщения ACM, **43** (2): 90–98, 2000
2. David Zhang. Automated biometrics: Technologies and systems, volume 7. Springer Science & Business Media, 2000.
3. David Zhang, Guangming Lu, Lei Zhang. . Продвинутая биометрия. Springer, 2018.
4. Javier Galbally, Raffaele Cappelli, Alessandra Lumini, Davide Maltoni, Julian Fierrez. Поддельная генерация кончиков пальцев из мелкого шаблона. В международной конференции по распознаванию образов. IEEE, 2008.
5. Sefik Eskimez, Ross K Maddox, Chenliang Xu, Zhiyao Duan. Создание говорящего лица ориентиры из речи. На конференции по латентному анализу переменных и разделению сигналов. Springer, 2018. <https://deepfakedetectionchallenge.ai/>
6. Huaxiao Mo, Bolin Chen, Weiqi Luo. Идентификация поддельных лиц через сверточную нейронную сеть. В раскрытии информации и безопасности мультимедиа. ACM, 2018.
7. Yuezun Li, Siwei Lyu. Разоблачение фальшивых видеороликов путем обнаружения искажений лица. arXiv preprint arXiv: **1811.00656, 2, 2018**
8. Anil K Jain, Arun Ross, Salil Prabhakar. Введение в биометрическое распознавание. IEEE Транзакции по схемам и системам для видео технологий, **14** (1), 2004.
9. Guangming Lu, David Zhang, Kuanquan Wang. Распознавание ладоней с использованием функций собственных пальцев, **24** (9-10): 1463-1467, 2003.
10. Dapeng Zhang, Wei Shu. Две новые характеристики в проверке отпечатка пальца: неизменность базовой точки и сопоставление линейных объектов. Распознавание образов, **32** (4): 691–702, 1999.
11. Wenyi Zhao, R.Chellappa, P.J. Phillips, A. Rosenfeld Распознавание лиц: обзор литературы. Компьютерные исследования ACM (CSUR), **35** (4): 399–458, 2003.

12. Zhichun Mu, Li Yuan, Zhengguang Xu, Dechun Xi, Shuai Qi. Форма и конструктивные особенности на основе распознавания ушей. В китайской конференции по биометрическому распознаванию, стр. 663–670. Springer 2004.
13. John Daugman. Как работает распознавание радужной оболочки. В Основном руководстве по обработке изображений, стр. 715–739. Elsevier, 2009.
14. Kevin W Bowyer, Mark J Burge. Справ. по распознаванию ириса. Springer, 2016.
15. Halvor Borgen, Patrick Bours, Stephen D Wolthusen. Биометрическое распознавание сетчатки видимого спектра. На конференции по интеллектуальному сокрытию информации и обработке мультимедийных сигналов. IEEE, 2008.
16. Mohamed Elhoseny, Amir Nabil, Aboul Hassanien, Diego Oliva. Гибридная грубая модель нейронной сети для распознавания подписи. Достижения в области мягких вычислений и машинного обучения в обработке изображений, стр.295–318. Springer, 2018.
17. Jin Wang, Mary She, Saeid Nahavandi, Abbas Kouzani. Обзор основных на видении методов распознавания походки для идентификации человека. Международная конференция по цифровым изображениям: методы и приложения, стр.320–327. IEEE, 2010.
18. Fabian Monros, Aviel D Rubin. Динамика нажатия клавиш как биометрическая для аутентификации. Компьютерные системы будущего поколения, **16** (4): 351–359, 2000.
19. Joseph P Campbell. Распознавание говорящего: учебник. Proceedings of the IEEE, **85** (9): 1437–1462, 1997.
20. Mark Hawthorne. Отпечатки пальцев: анализ и понимание.. CRC Press, 2017.
21. Anil K Jain and Stan Z Li. Справочник по распознаванию лиц.. Springer, 2011.
22. Liang Wang, Huazhong Ning, Tieniu Tan, Weiming Hu. Слияние статической и динамической биометрии тела для распознавания походки. IEEE Транзакции на схемы и системы для видео технологий, **14** (2): 149–158, 2004.
23. Timo Ahonen, Abdenour Hadid, Matti. Распознавание лиц с локальными двоичными структурами. На европейской конференции по компьютерному зрению, стр. 469–481. Springer, 2004.
24. Андреа Ф. Абате, Мишель Наппи, Даниэль Риччио и Габриэле Сабатино. 2-е и 3-е распознавание лица: опрос. Буквы распознавания образов, **28** (14): 1885–1906, 2007.
25. Дэвид Чжан, Фэнси Сун, Юн Сюй и Чжичжень Лян. Передовые технологии распознавания образов с приложениями к биометрии. IGI Global Hershey, PA, 2009.
26. Мамырбаев О.Ж., Кыдырбекова А.С., Турдалыұлы М., Мекебаев Н.О., «Дауыс бойынша пайдаланушыны идентификациялау және аутентификациялау әдістеріне шолу», «Инновациялық АТ және ақылды технологиялар» ғылыми конференциясының материалдары, 2019, 315-321 бб.
27. Цзянь Ян, Дэвид Чжан, Алехандро Ф Франги и Цзинъю Ян. Двумерный PCA: новый подход к представлению и распознаванию лица на основе внешнего вида. IEEE транзакции по анализу паттернов и искусственному интеллекту, **26** (1): 131–137, 2004.
28. Алекс Крижевский, Илья Суцкевер и Джеффри Э Хинтон. Классификация Imagenet с глубокими сверточными нейронными сетями. В Достижения в нейронных системах обработки информации, стр. 1097–1105, 2012.
29. David E Rumelhart, Geoffrey E Hinton, Ronald J Williams Изучение представлений путем обратного распространения ошибок. Когнитивное моделирование, **5** (3): 1, 1988.
30. Leon Bottou. Стохастическое градиентное обучение в нейронных сетях. Слушания Нейро-Нима, **91** (8): 12, 1991.
31. Ян Лекан, Леон Ботту, Йошуа Бенжю, Патрик Хаффнер и др. Градиентное обучение применяется для распознавания документов. Слушания IEEE, **86** (11): 2278–2324, 1998.
32. Зепп Хохрейтер и Юрген Шмидхубер. Долгая кратковременная память. Нейронные вычисления, **9** (8): 1735–1780, 1997.

33. Ян Гудфеллоу, Жан Пуге-Абади, Мехди Мирза, Бинг Сюй, Дэвид Уорд-Фарли, Шерджил Озэйр, Аарон Курвилль и Йошуа Бенжио. Генеративные состязательные сети. В разделе Достижения в системах обработки нейронной информации, стр. 2672–2680, 2014.
34. Кунихико Фукусима. Неокогнитрон: самоорганизующаяся модель нейронной сети для механизма распознавания образов, на которую не влияет смещение позиции. Биологическая кибернетика, **36** (4): 193–202, 1980.
35. Джонатан Лонг, Эван Шелхамер и Тревор Даррелл. Полностью сверточные сети для семантической сегментации. В материалах конференции IEEE по компьютерному зрению и распознаванию образов, стр. 3431–3440, 2015.
36. Олаф Роннебергер, Филипп Фишер и Томас Брокс. U-net: Сверточные сети для сегментации биомедицинских изображений. В международной конференции по медицине обработка изображений и компьютерное вмешательство, стр. 234–241. Springer, 2015.
37. Шаоцин Рен, Кайминг Хе, Росс Гиршик и Цзянь Сунь. Ускоренная работа: на пути к обнаружению объектов в реальном времени с сетями региональных предложений. В разделе Достижения в нейронных системах обработки информации, стр. 91–99, 2015.
38. Чао Донг, Чен Чан Лой, Каймин Хе и Сяою Тан. Изучение глубокой сверточной сети для изображения с супер-разрешением. На Европейской конференции по компьютерному зрению, стр. 184–199. Springer, 2014.
39. Kin Gwn Lore, Adedotun Akintayo и Soumik Sarkar. Llnet: глубокий автоэнкодер для естественного улучшения изображения при слабом освещении. Распознавание образов, **61**: 650–662, 2017.
40. Quanzeng You, Хайлинь Джин, Чжаовен Ван, Чэнь Фан и Джебо Ло. Субтитры с семантическим вниманием На конференции IEEE по компьютерному зрению и распознаванию образов, стр. 4651–4659, 2016.
41. Дэвид Э. Румелхарт, Джеффри Э Хинтон, Рональд Дж. Уильямс и др. Изучение представлений путем обратного распространения ошибок. Когнитивное моделирование, **5** (3): 1, 1988.
42. Паскаль Винсент, Уго Ларошель, Изабель Лахуа, Йошуа Бенжио и Пьер Манзагол. Сложенные шумоподавляющие автоэнкодеры: Изучение полезных представлений в глубокой сети с локальным шумоподавляющим критерием. Журнал исследований машинного обучения, 11 (декабрь): 3371–3408, 2010.
43. Дидерик П Кингма и Макс Веллинг. Авто-кодирование вариационных байесов. Препринт arXiv arXiv: 1312.6114, 2013.
44. Кларк Д. Шейвер и Джон М. Аккен. Краткий обзор технологии распознавания говорящего. 2016.
45. Дэвид Б. Йоффи, Лян Ву, Джоди Свитцер, Дензил Иден и Каран Ахуджа. Голос войны: Эй, Google против Алекса против Сири. 2018.
46. Имран Насим, Роберто Тогнери и Мохаммед Беннамун. Разреженное представление для идентификации говорящего. В 2010 г. 20-я Международная конференция по распознаванию образов, стр. 4460–4463. IEEE, 2010.
47. С. Фуруи. Распознавание спикера. Scholarpedia, **3** (4): 3715, 2008. редакция № 64889.
48. Даниэль Гарсиа-Ромеро, Дэвид Снайдер, Грегори Селл, Даниэль Повей и Алан Мак-Кри. Диаризация динамика с использованием глубоких нейронных встраиваний. В Международной конференции по акустике, обработке речи и сигналов, стр. 4930–4934. IEEE, 2017.
49. Элвин Ф. Мартин и Марк А. Пшибоцки. Оценки признания первого оратора: 1996–2001. В 2001 г. : Семинар «Спикер Одиссея - Распознавание спикеров», 2001.
50. Mamyrbayev O., Akhmediyarova A., Kydyrbekova A., Short-term voice verification of the i-vector//Матер. науч. конф. ИИВТ МОН РК «Современные проблемы информатики и вычислительных технологий». – Алматы, 2020. – С. 9-13.

51. О.Ж.Мамырбаев, М.Тұрдалыұлы, Н.О.Мекебаев, А.С.Қыдырбекова, «Сандық жүйке желілерін қолданып сөйлеуді автоматты түрде тану», АСІІДС, Индонезия, Іс жүргізу, II бөлім, 2019 ж..
52. Оценка узнаваемости выступающих в 2016 году. 2016.
53. Митчелл Макларен, Лучана Феррер, Диего Кастан и Аарон Лоусон. Динамики в базе данных распознавания диких (sitw) динамиков. *Interspeech*, стр. 818–822, 2016.
54. Арша Награни, Джун Сон Чунг и Эндрю Циссерман. Voxceleb: крупномасштабный набор данных для идентификации докладчиков. Препринт arXiv arXiv: 1706.08612, 2017.
55. Джун Сон Чунг, Арша Награни и Эндрю Циссерман. Voxceleb2: глубокое распознавание говорящего. Препринт arXiv arXiv: 1806.05622, 2018.
56. Дж Годфри и Э Холлиман. Коммутатор-1, выпуск 2: Консорциум лингвистических данных. РУКОВОДСТВО: РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ, 1997.
57. Кристофер Сиери, Дэвид Миллер и Кевин Уокер. Корпус рыбака: ресурс для следующего поколения речи в текст. В *LREC*, том 4, страницы 69–71, 2004.
58. Василь Панайотов, Гогоу Чен, Даниэль Повей и Санджив Худанпур. Librispeech: ASR корпус на основе аудиокниг общественного достояния. В 2015 году Международная конференция IEEE по акустике, обработке речи и сигналов (ICASSP), стр. 5206–5210. IEEE, 2015
59. Виктор Зу, Стефани Сенеф и Джеймс Гласс. Разработка речевых баз данных в MIT: Timit и за его пределами. *Речевое общение*, 9 (4): 351–356, 1990.
60. Мирко Раванелли и Йошуа Бенжио. Изучение представлений докладчика с взаимной информацией. Препринт arXiv arXiv: 1812.00271, 2018.
61. Наджим Дехах, Патрик Дж. Кенни, Рида Дехак, Пьер Дюмушель и Пьер Уэлье. Факторный анализ переднего конца для проверки докладчика. *Труды IEEE по обработке аудио, речи и языка*, 19 (4): 788–798, 2010.
62. Kudyrbekova Aizat, Othman Mohamed, Mamyrbayev Orken, Akhmediyarova Ainur, Bagashar Zhumazhanov Identification and authentication of user voice using DNN features and i-vector // *Cogent Engineering*. - 2020. – № 7 (1751557). – P. 1 - 21. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1751557> (Scopus, Процентил - 76).
63. Эхсан Вариани, Синь Лэй, Эрик МакДермотт, Игнасио Лопес Морено и Хавьер Гонсалес-Домингес. Глубокие нейронные сети для проверки текста на небольшом месте. В Международной конференции по акустике, обработке речи и сигналов (ICASSP). IEEE, 2014.
64. Дэвид Снайдер, Даниэль Гарсия-Ромеро, Грегори Селл, Даниэль Повей и Санджив Худанпур. X-векторы: надежные встраивания dnn для распознавания говорящего. В Международной конференции по акустике, обработке речи и сигналов. IEEE, 2018
65. Георг Хейголд, Игнасио Морено, Сэми Бенжио и Ноам Шазир. Сквозная текстовая проверка говорящего. В Международной конференции по акустике, обработке речи и сигналов (ICASSP). IEEE, 2016
66. М.Н.Калимолдаев, О.Ж.Мамырбаев, А.С.Қыдырбекова, Н.О.Миекебаев “i-векторлы бейнелеуді пайдаланып дауысты тексеру және идентификациялау”, *Халықаралық математика және физика журналы* 10, № 1, 66 (2019)1
67. Нам Ле и Жан-Марк Одобез. Надежное и дискриминирующее вложение говорящего посредством регуляризации дисперсии расстояния внутри класса. В *Interspeech*, стр. 2257–2261, 2018.
68. Гаутам Бхаттачарья, Джахангир Алам и Патрик Кенни. Глубокое распознавание динамика: модульное или монолитное? *Proc. Interspeech* 2019, стр. 1143–1147, 2019.
69. Дэвид А. Ван Леуен и Нико Брюммер. Введение в независимую от приложений оценку систем распознавания говорящих. В классификации спикеров I, стр. 330–353. Springer, 2007.



70. Лонглонг Цзин и Ингли Тянь. Изучение зрительных функций под собственным контролем с помощью глубоких нейронных сетей: опрос. Препринт arXiv arXiv: 1902.06162, 2019.
71. Арун Росс и Анил К. Джайн. Мульти模альная биометрия: обзор. В 2004 г. 12-я Европейская конференция по обработке сигналов, стр. 1221–1224. IEEE, 2004.
72. Арун Росс и Анил Джайн. Слияние информации в биометрии. Буквы распознавания образов, **24** (13): 2115–2125, 2003

# **Определение распространения опасных производственных факторов при составлении декларации промышленной безопасности на опасных производственных объектах**

Валерий А. Седелев, Кульзипа Ж. Дакиева, Гульфат Ж. Калелова,  
Анатолий П. Цыганов, Роза С. Бейсембаева

Некоммерческое акционерное общество "Восточно-Казахстанский университет  
имени Сарсена Аманжолова", Усть-Каменогорск, Казахстан  
ecology-2014@mail.ru

**Аннотация** Гражданская защита это общегосударственный комплекс мероприятий, проводимых в мирное и военное время, направленных на предупреждение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и их последствий, организацию и ведение гражданской обороны, оказание экстренной медицинской и психологической помощи населению, находящемуся в зоне чрезвычайной ситуаций, включающий в себя мероприятия по обеспечению пожарной и промышленной безопасности, формированию, хранению и использованию государственного материального резерва. На каждом опасном производственном объекте, все эти мероприятия приведены в декларации промышленной безопасности, в которой отдельным пунктом стоит анализ условий возникновения и расчётная оценка риска вероятных сценариев аварий и инцидентов. При этом, на каждом опасном производственном объекте рассчитывается самый опасный риск в зависимости от наличия опасных веществ с наиболее разрушительными последствиями.

**Ключевые слова:** Гражданская защита, опасный производственный объект, декларация промышленной безопасности, риск, авария, системный анализ, расчёт.

## **Введение**

Гражданская защита это общегосударственный комплекс мероприятий, проводимых в мирное и военное время, направленных на предупреждение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и их последствий, организацию и ведение гражданской обороны, оказание экстренной медицинской и психологической помощи населению, находящемуся в зоне чрезвычайной ситуации, включающий в себя мероприятия по обеспечению пожарной и промышленной безопасности, формированию, хранению и использованию государственного материального резерва. Основные задачи гражданской защиты:

- предупреждение чрезвычайных ситуаций;

- гражданская оборона;
- пожарная безопасность;
- промышленная безопасность.

В Республике Казахстан регулирует основные задачи гражданской защиты Закон Республики Казахстан от 11.04.2014 № 188-V «О гражданской защите» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2020 г.). Настоящий Закон регулирует правовые отношения в области обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение вредного воздействия опасных производственных факторов, возникающих в результате аварий, инцидентов на опасных производственных объектах, на персонал, население, окружающую среду, обеспечение готовности организаций к локализации и ликвидации аварий, инцидентов и их последствий, гарантированного возмещения убытков, причиненных ими физическим и юридическим лицам, окружающей среде и государству [1].

В Статье 16. Права и обязанности организаций в сфере гражданской защиты, определено, что организации имеют право проводить оценку рисков в области промышленной безопасности и организации, имеющие опасные производственные объекты обязаны декларировать промышленную безопасность опасных производственных объектов, определенных настоящим Законом.

Обязательному декларированию промышленной безопасности подлежат опасные производственные объекты, соответствующие критериям отнесения опасных производственных объектов к декларируемым, утвержденным Правительством Республики Казахстан [2].

Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 года № 341 «Об утверждении Правил, определяющих критерии отнесения опасных производственных объектов к декларируемым, и Правил разработки декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта».

## Материалы и методы исследования

Структурная форма декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта определяется Правилами определения критериев отнесения опасных производственных объектов к декларируемым и разработки декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, утвержденные постановлением Правительства Республики Казахстан от 31.07.2014 г № 864 (с изменениями от 10.08.15 г) [3].

Указанные требования определяют в обязательном порядке для каждого опасного производственного объекта указать:

- характеристики опасного вещества;
- технологические данные о распределении опасного вещества;
- анализ опасностей и риска;
- анализ условий возникновения и развития аварий, инцидентов;
- мероприятия по обеспечению промышленной безопасности и защиты населения.

Ключевым моментом для решения поставленных задач для отдельного опасного

производственного объекта является определение основного риска и проведение расчётов при анализ условий возникновения и развития аварий, инцидентов. На каждом отдельном опасном производственном объекте определяющие риски индивидуальны.

Например:

- металлургическое предприятие - десятки тонн расплава металла;
- химическое предприятие - баки на сотни м<sup>3</sup> с высокотоксичной кислотой;
- предприятие нефте-газодобычи - баки на сотни м<sup>3</sup> с нефтью и газом;
- газораспределительные станции - газгольдеры на сотни м<sup>3</sup> углеводородов.

Задача системного аналитика – предложить для каждого опасного производственного объекта достоверную, аргументированную цифровую математическую модель расчёта условий возникновения и развития аварий, инцидентов и расчётное расстояние распространения опасного производственного фактора.

Как показывает практика, аналогов расчётов для каждого опасного производственного объекта не существует. Расчёт проводится на основе данных каждого отдельного опасного производственного объекта под индивидуальную ответственность системного аналитика.

Так как на большинстве опасных производственных объектах в качестве энергоносителей используется сжиженный углеводородный газ (СУГ), то наиболее востребованным расчётом является риск взрыва хранилища сжиженного углеводородного газа. В качестве примера, проведён расчёт по заказу для действующего предприятия ТОО "Big Capital Ist" в г.Павлодаре для хранилища СУГ общей ёмкостью 700 м<sup>3</sup> [4,5,6], показанном на генеральном плане как фрагмент рабочих чертежей на рисунке 1 и размещение цистерн газового хранилища на рисунке 2.

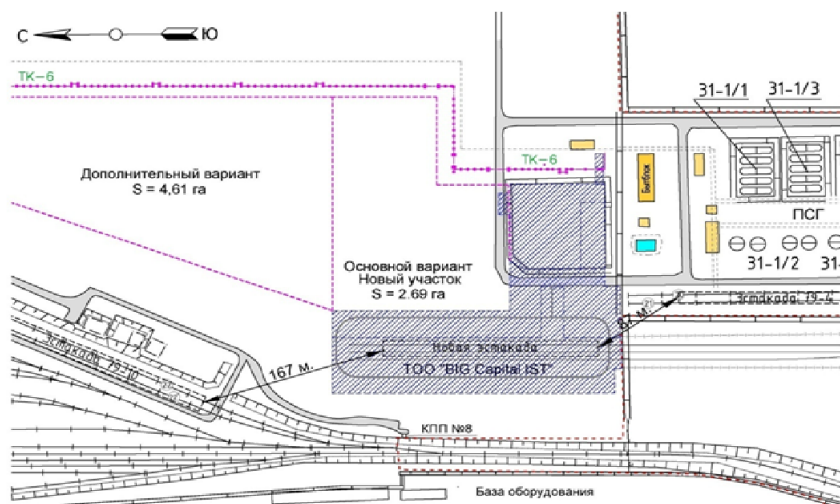


Рисунок 1. Генеральный план ТОО "Big Capital Ist"



Наименование параметра	Значение
Группа сосуда по ОСТ26-291-94	1
Номинальная вместимость, м <sup>3</sup>	100
Заполнение сосуда, не более %	80
Давление рабочее, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,6 (16)
Давление расчетное, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,8 (18)
Давление пробное гидравлическое, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	2,5 (25)
Температура эксплуатации, °С	-40 +50
Наименование рабочей среды и состав	
Сжиженный углеводородный газ (СУГ)	пропан-бутан
Основной материал, сталь	09Г2С-8 ГОСТ 5520-79
Класс опасности по ГОСТ12.1.007-76	4кл.
Пожароопасность по ГОСТ12.1004-91	пожароопасен
Группа взрывоопасности по ГОСТ12.1.001-78	Па-Т3
Коррозийность	нет
Скорость коррозии не более, мм/год	0,05
Установленный срок службы, лет	20
Масса, кг	21500
Место расположения	подземное

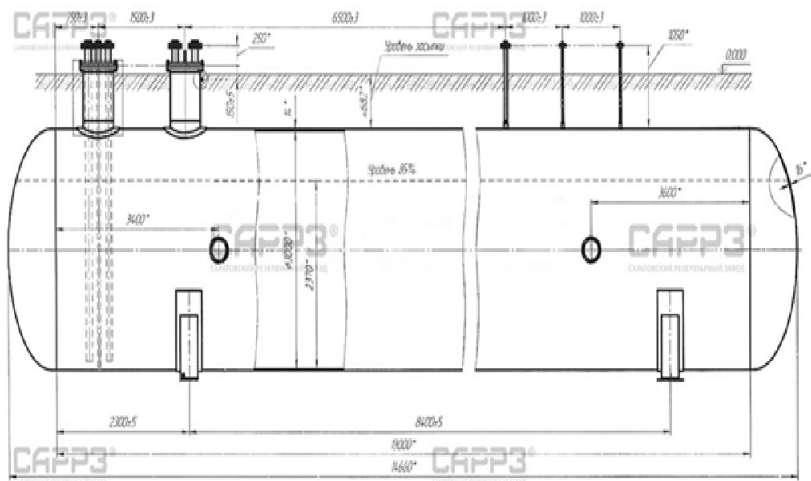


Рисунок 3. Схема размещения резервуара СУГ 3000-1,6-100-П1

**Определение потенциальной энергии взрыва сжиженного углеводородного газа (СУГ) в эквивалентной массе тринитротолуола (ТНТ) для хранилища 700 м<sup>3</sup>**

Плотность СУГ составляет:  $\rho = 510 \text{ кг/м}^3$

Тепловая энергия СУГ составляет:  $Q = 46000 \text{ кДж/кг}$

Общая ёмкость хранилища СУГ 700м<sup>3</sup> Объем заполнения семи резервуаров на 85% составляет:  $V = 700\text{м}^3 \times 0,85 = 595\text{м}^3$  СУГ Общая масса СУГ в семи резервуарах составляет:  $m = V \times \rho = 595 \text{ м}^3 \times 510 \text{ кг/м}^3 = 303450 \text{ кг}$  Общая тепловая энергия СУГ в семи резервуарах составляет:  $Q = m \times q = 303450 \text{ кг} \times 46000 \text{ кДж/кг} = 13\,958\,700\,000 \text{ кДж}$

**Определение эквивалентной массы ТНТ**

Полная тепловая энергия сгорания СУГ составляет 46000 кДж/кг, что соответствует энергетическому потенциалу взрывоопасности 1 кг углеводорода как энергия его полного сгорания (до 22); Тепловая энергия, выделяющаяся при детонации тринитротолуола (ТНТ) (тротил), составляет 4200 кДж/кг.

Энергетический потенциал СУГ рассчитывается как эквивалентная масса ТНТ.

Эквивалентная масса ТНТ на территории хранилища 700 м<sup>3</sup> составляет:  $m = Q/q_{\text{ТНТ}}$

$$m = 13\,958\,700\,000 \text{ кДж} / 4200 \text{ кДж} = 3\,323\,500 \text{ кг (ТНТ)}$$

Радиус поражающего полного разрушения от действия ударной воздушной волны на здания и сооружения рассчитывается по формуле:

$$r = k * \sqrt[3]{m}$$

$$r = k * \sqrt[3]{3323500} = 149,233$$

где:

$r$  - радиус полного разрушения, м;

$m$  - масса заряда СУГ, выраженная в ТНТ, кг;

$k$  - коэффициент пропорциональности, значения которого зависит от условий расположения от степени допускаемых повреждений зданий или сооружений.

$$k = 1,00 \text{ на диаметр воронки } 149,233 \times 2 = 298,466 \text{ } 300 \text{ м}$$

Данный расчёт применяется для определения относительно безопасных расстояний до зданий (сооружений) от мест хранения СУГ в резервуарах, при допустимости I - III степеней повреждений для подземных резервуарах, углубленных на свою нормативную проектную глубину 0,6 м. При выборе степени повреждения и значений коэффициентов учитывается вся совокупность местных условий с учётом требований безопасности ГО и ЧС организаций, владеющих расположенных вблизи промышленными объектами, как показано на рисунке 4.

При расчете безопасных расстояний от газораспределительной станции (ГРС), газозаправочной станции (ГЗС), хранилищ и складов СУГ, до населенных пунктов, автомобильных и железнодорожных магистралей, крупных водных путей, заводов, складов взрывчатых и огнеопасных материалов и сооружений государственного значения принимается III степень повреждения при согласовании с соседним предприятием как показано в таблице 1.

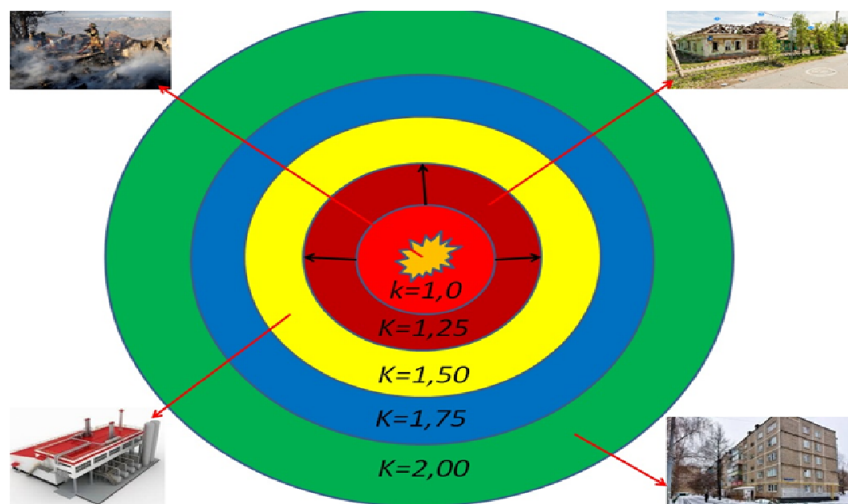


Рисунок 4. Зоны и коэффициенты степени разрушения соседних объектов

Таблица 1. Таблица 1- Степень повреждения соседних объектов

Степень повреждения	г - Коэффициент пропорциональности	Характер повреждений
I	1,00	Полное разрушение
II	1,25	Стены упали
III	1,50	Стёкла разбиты
IV	1,75	Штукатурка потрескалась
V	2,00	Слышен звук взрыва



### **Мероприятия по обеспечению промышленной безопасности и защиты населения**

Запрещено курение в газоопасной зоне, не допускать утечек газа (загазованности) эксплуатировать оборудование и инструменты во взрывозащитном исполнении. Во взрывоопасных рабочих помещениях установить сигнализатор загазованности, иметь средства пожаротушения.

При воздействии на людей, СУГ вызывает удушье при концентрации в воздухе более 10%, при вдыхании в течение 2 мин наступает головокружение. Пропан и Бутан обладают наркотическими свойствами, попадание жидкой фазы с газа на тело человека вызывает обморожение.

В промышленных цехах в которых используется СУГ должен быть установлен стационарный сигнализатор, который срабатывает при 50% загазованности от концентрации, соответствующей нижнему пределу распространения пламени предельно допустимой концентрации газа.

Обязательно применять средства индивидуальной защиты (СИЗ) - спецодежда (рукавицы, защитные фартуки), защитные очки, предохранительные спасательные пояса, изолирующие воздушные противогазы, взрывобезопасные аккумуляторные фонари.

При ЧС переводить СУГ в безвредное состояние.

При загазованности в рабочих помещениях необходимо включить аварийную вентиляцию, открыть окна и двери.

### **Меры первой помощи от воздействия СУГ**

При обморожении вследствие попадания СУГ на тело человека, необходимо быстро прекратить доступ газа к этим местам, промыть пораженное место струей холодной воды, смазать пораженное место мазью от ожогов.

При удушье от СУГ немедленно вывести или вынести пострадавшего из загазованного помещения. Уложить на спину, расстегнуть одежду для облегчения дыхания. Пострадавшему от СУГ курить и спать не давать в течение 12 часов.

## **Заключение**

1. В соответствии с Законодательством Республики Казахстан каждый опасный производственный объект с декларируемым количеством опасного производственного фактора, риска и веществ обязан оформить декларацию промышленной безопасности опасного производственного объекта;

2. Каждая декларация промышленной безопасности опасного производственного объекта имеет в обязательном порядке разделы: характеристики опасного вещества; технологические данные о распределении опасного вещества; анализ опасностей и риска; анализ условий возникновения и развития аварий, инцидентов; мероприятия по обеспечению промышленной безопасности и защиты населения;

3. Анализ условий возникновения и развития аварий, инцидентов является ответственной работой специалиста – системного аналитика, предложить для каждого опасного производственного объекта достоверную, аргументированную цифровую математическую модель расчёта условий возникновения и развития аварий, инцидентов и расчётное расстояние распространения опасного производственного фактора.

4. С учётом полученных данных расчётов системного аналитика разрабатываются и вносятся в декларацию промышленной безопасности опасного производственного объекта мероприятия по обеспечению промышленной безопасности и защиты населения;

## **Благодарности**

Авторы благодарны филиалам кафедры Экология и География: ТОО «Normal Work» и ТОО «Аварийно-спасательная служба (АСС) Қорған» за предоставленную возможность проведения научных исследований на действующем опасном производственном объекте ТОО «Big Capital Ist».

## **Список литературы**

1. Закон Республики Казахстан от 11.04.2014 № 188-V «О гражданской защите» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2020 г.);
2. Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 года № 341 «Об утверждении Правил, определяющих критерии отнесения опасных производственных объектов к декларируемым, и Правил разработки декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта»;
3. Правила определения критериев отнесения опасных производственных объектов к декларируемым и разработки декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, утвержденные постановлением Правительства Республики Казахстан от 31.07.2014 г № 864 (с изменениями от 10.08.15 г);
4. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов по подготовке и переработке газов» Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 г. № 357;
5. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов нефтяной и газовой отраслей промышленности» Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 г. № 355;
6. СН РК 4.03-01-2011 «Газораспределительные системы» (с изменениями от 05.08.2015 г.) (Строительные нормы).

# Математическое моделирование движение дымовых газов в ТКВ с изменяемой внутренней геометрией

Нурлан М. Темирбеков<sup>1</sup>, Ержан А. Малгаждаров<sup>2</sup>, Досан Р. Байгереев<sup>2</sup>,  
Багдат Н. Азаматов<sup>3</sup>, Салтанат Адиканова<sup>2</sup>

РОО "Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, Казахстан"

temirbekov@rambler.ru,

НАО "Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова"

malgazhdarov\_e@mail.ru, dbaigereyev@gmail.com

НАО "Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева"

azamatovy@mail.ru

**Аннотация** В данной работе исследуется движение дымовых газов в ТКВ (труба коагулятора Вентури) с изменяемой внутренней геометрией с помощью математической модели вязкой несжимаемой жидкости. Численное решение математической модели вязкой несжимаемой жидкости рассматривается методом дополненных областей для учета формы и изменяемой границы ТКВ. В модели вязкой несжимаемой жидкости уравнения Навье-Стокса, рассматриваются в переменных. Разработана монотонная конечно разностная схема и алгоритм численной реализации уравнения Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Получены численные результаты при различных формах ТКВ.

Интенсивное развитие высокоскоростной вычислительной техники в последнее время позволило приступить к решению сложных задач сплошных сред, имеющих важное практическое значение. Численное моделирование установившихся течений жидкости в криволинейных границах производилось в большей части работ на основе модели вязкой несжимаемой жидкости. Широкое распространение получили алгоритмы, основанные на уравнениях Навье-Стокса, использующие метод конечных разностей.

Численными методами краевой задачи математической физики в сложных областях рассматривались во многих работах зарубежных и отечественных ученых как Вабищевича П.Н., Отелбаев М.О., Смагулов Ш.С., Данаева Н.Т., Балдыбек Ж., Темирбеков Н.М. и т.д.

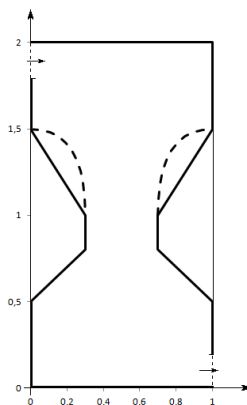
В настоящее время существует несколько методов для численного решения краевых задач в сложных геометрических областях, как метод криволинейных сеток и метод фиктивных областей. Использование метода криволинейных сеток требует преобразования уравнения в криволинейные координаты, которое имеет более сложный вид, чем исходные уравнения. И к тому же многообразные требования, накладываемые на разностные сетки, делают построения криволинейных сеток сложной математической проблемой.

Метод фиктивных областей в его традиционной постановке прост в использовании и легко реализуется на ЭВМ. Но его недостатком является потеря точно-

сти из-за присутствия во вспомогательных уравнениях малого параметра, который приведет к плохой обусловленности системы разностных уравнений.

В данной работе рассматривается численное моделирование течения дымовых газов в ТКВ устройствах методом дополненных областей. Предлагается алгоритм численной реализации предложенного метода в работе [1], в котором отсутствует малый параметр. Приводится математическая модель движения дымовых газов в трубе-коагуляторе Вентури (ТКВ) с изменяемой внутренней геометрией, показанной на рисунке 1. Предполагается, что дымовые газы входят через входную границу в верхней части (показано стрелкой), движутся в направлении  $x$  и выходят через границу в нижней части (показано стрелкой). Для упрощения изложения рассматривается вертикальное сечение трубы через ось симметрии. А пунктирной линией обозначены границы после изменений.

Рассматриваемую область дополним до прямоугольника (рисунок 1), чтобы наложить структурированные прямоугольные сетки.



**Рисунок 1.** Рассматриваемая ТКВ на сечениях

В основу модели положены уравнения, описывающие движение вязкой несжимаемой жидкости в переменных "скорость  $\vec{u}$  – функция тока  $\psi$ ". Выбор неизвестных обоснован необходимостью исключения поля давления из системы разностных уравнений, для которого, как известно, отсутствует постановка граничных условий. Учет изменяемой внутренней границы ТКВ при численной реализации модели достигается посредством использования модификации метода фиктивных областей – метода дополненных областей [1], отличительным преимуществом которого является отсутствие малого параметра в уравнениях, приводящего к потере точности приближенного решения.

Пусть  $\Omega$  - двумерная область с границей  $\partial\Omega$ . Тогда двумерное течение дымовых газов в области описывается уравнением движения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} &= \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \overset{\rightarrow}{f}_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial y} &= \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \overset{\rightarrow}{f}_v \end{aligned} \quad (1)$$

и уравнения неразрывности

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

где  $\overset{\rightarrow}{u} = (u, v)$  - поле скоростей,  $p$  - отклонение давления,  $\mu$  - коэффициент вязкости,  $(x, y) \in \Omega$  и  $\overset{\rightarrow}{t} = t$  - время. Дополним систему (1), (2) начальными и граничными условиями  $u = u_0(x, z)$  при  $(x, y) \in \bar{\Omega}, t = 0$   $u = \varphi(x, z, t)$  при  $(x, y) \in \partial\Omega, t \in (0, T]$  (3)

Введем функцию тока – скалярную функцию  $\psi$ , определяемую из соотношений

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Для численной реализации модели (1)-(3) применим метод конечных разностей. В области  $\Omega$  введем конечно-разностную сетку  $\Omega_h = \{h_1 = l_1/n_1, h_2 = l_2/n_2, x_i = (i-1)h_1, z_j = (j-1)h_2\}$  (4)  $i = \overline{1, n_1}, j = \overline{1, n_2}$

В избежание появления нефизических осцилляций решения будем использовать «разнесенный» сеточный шаблон, при котором давление определяется в узлах разностной сетки:

$$p : \{x_i = ih_1, y_j = jh_2\}$$

функция тока – в центре разностной ячейки:

$$\psi : \{x_i = (i-1/2)h_1, y_j = (j-1/2)h_2\}$$

а компоненты скорости – в центрах ее граней:

$$u : \{x_i = (i-1/2)h_1, y_j = jh_2\} v : \{x_i = ih_1, y_j = (j-1/2)h_2\}$$

В сеточной области  $\Omega_h$  уравнения (1), (2) аппроксимируем следующими разностными уравнениями:

$$\frac{u_{i-1/2,j}^{n+1/2} - u_{i-1/2,j}^n}{\tau} + L_n u_{i-1/2,j}^n + \frac{P_{i,j}^n - P_{i-1,j}^n}{h_1} = \mu \Lambda_h u_{i-1/2,j}^n + f_{u,i-1/2,j}^n \quad (5)$$

$$\frac{w_{i,j-1/2}^{n+1/2} - w_{i,j-1/2}^n}{\tau} + L_n w_{i,j-1/2}^n + \frac{P_{i,j}^n - P_{i,j-1}^n}{h_2} = \mu \Lambda_h w_{i,j-1/2}^n + f_{w,i,j-1/2,j}^n \quad (6)$$

$$\frac{u_{i+1/2,j}^{n+1} - u_{i-1/2,j}^{n+1}}{h_1} \frac{w_{i,j+1/2}^{n+1} - w_{i,j-1/2}^{n+1}}{h_2} = 0 \quad (7)$$

где разностные операторы  $L_h$  и  $\Lambda_h$ , соответствующие конвективным и диффузионным слагаемым, определены в следующем виде:  $L_h u_{i-1/2,j}^n = \frac{1}{2}[(u_{i-1,j}^n + |u_{i-1,j}^n|) \frac{u_{i-1/2,j}^n - u_{i-3/2,j}^n}{h_1} + (u_{i,j}^n - |u_{i,j}^n|) \frac{u_{i+1/2,j}^n - u_{i-1/2,j}^n}{h_1}] + \frac{1}{2}[(w_{i-1/2,j-1/2}^n + |w_{i-1/2,j-1/2}^n|) \frac{u_{i-1/2,j}^n - u_{i-1/2,j-1}^n}{h_2} + (w_{i-1/2,j+1/2}^n - |w_{i-1/2,j+1/2}^n|) \frac{u_{i-1/2,j+1}^n - u_{i-1/2,j}^n}{h_2}]$

$$L_h w_{i,j-1/2}^n = \frac{1}{2}[(u_{i-1/2,j-1/2}^n + |u_{i-1/2,j-1/2}^n|) \frac{w_{i,j-1/2}^n - w_{i,j-3/2}^n}{h_1} + (u_{i+1/2,j-1/2}^n - |u_{i+1/2,j-1/2}^n|) \frac{w_{i,j+1/2}^n - w_{i,j-1/2}^n}{h_1}] + \frac{1}{2}[(w_{i,j-1}^n + |w_{i,j-1}^n|) \frac{w_{i,j-1/2}^n - w_{i,j-3/2}^n}{h_2} + (w_{i,j}^n - |w_{i,j}^n|) \frac{w_{i,j+1/2}^n - w_{i,j-1/2}^n}{h_2}]$$

$$\mu \Lambda_h u_{i-1/2,j}^n = \frac{1}{h_1} [\mu_{i,j} \frac{u_{i+1/2,j}^n - u_{i-1/2,j}^n}{h_1} - \mu_{i-1,j} \frac{u_{i-1/2,j}^n - u_{i-3/2,j}^n}{h_1}] + \frac{1}{h_2} [\mu_{i-1/2,j-1/2} \frac{u_{i-1/2,j+1}^n - u_{i-1/2,j}^n}{h_2} - \mu_{i-1/2,j-1/2} \frac{u_{i-1/2,j}^n - u_{i-1/2,j-1}^n}{h_2}]$$

$$\mu \Lambda_h w_{i,j-1/2}^n = \frac{1}{h_1} [\mu_{i+1/2,j-1/2} \frac{w_{i+1/2,j-1/2}^n - w_{i,j-1/2}^n}{h_2} - \mu_{i-1/2,j-1/2} \frac{w_{i,j-1/2}^n - w_{i,j-3/2}^n}{h_2}] + \frac{1}{h_2} [\mu_{i,j} \frac{w_{i,j+1/2}^n - w_{i,j-1/2}^n}{h_2} - \mu_{i,j-1} \frac{w_{i,j-1/2}^n - w_{i,j-3/2}^n}{h_2}]$$

При аппроксимации дифференциальных операторов, соответствующих конвекциям, используется разностная схема с учетом направления потока, а значения компонентов скорости в неопределяющих узлах сетки определяется осреднением. Например, для  $v_{i,j}^n$  имеем:

$$v_{i,j}^n = \frac{v_{i,j+1/2}^n + v_{i,j-1/2}^n}{2}$$

Приведем алгоритм численного решения задачи (1)-(3), основанный на методе расщепления по физическим процессам. В первую очередь, определим промежуточное поле скорости  $u^{n+1/2} = (u^{n+1/2}, v^{n+1/2})$  без учета градиента давления из уравнения

$$\frac{u^{n+1/2} - u^n}{\tau} = -L_h u^n + \mu_q \Lambda_h u^n + f_g; \quad (8)$$

В классическом методе расщепления на втором этапе определяется давление из решения уравнения Пуассона  $\frac{p_{i+1,j}^{n+1} - 2p_{i,j}^{n+1} + p_{i-1,j}^{n+1}}{h_1^2} + \frac{p_{i,j+1}^{n+1} - 2p_{i,j}^{n+1} + p_{i,j-1}^{n+1}}{h_2^2} =$

$$\frac{u_{i+1/2,j}^{n+1/2} - u_{i-1/2,j}^{n+1/2}}{h_1} + \frac{w_{i,j+1/2}^{n+1/2} - w_{i,j-1/2}^{n+1/2}}{h_2} \quad (9) \text{ которое полу-}$$

$$\text{чается в результате подстановки в (7) выражений } u_{i-1/2,j}^{n+1} = u_{i-1/2,j}^{n+1/2} - \tau \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i-1,j}^{n+1}}{h_1} \quad (10)$$

$$w_{i,j-1/2}^{n+1} = w_{i,j-1/2}^{n+1/2} - \tau \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j-1}^{n+1}}{h_2} \quad (11)$$

Однако, в этом случае возникает трудность постановки граничных условий для давления. Модифицируем алгоритм и на данном этапе определим значения функции тока, связанные с компонентами скорости выражениями [6]  $u_{i-1/2,j}^{n+1} =$

$$\frac{\psi_{i-1/2,j+1/2}^{n+1} - \psi_{i-1/2,j-1/2}^{n+1}}{h_2} \quad (12)$$

$$v_{i-1/2,j}^{n+1} = -\frac{\psi_{i+1/2,j-1/2}^{n+1} - \psi_{i-1/2,j-1/2}^{n+1}}{h_1} \quad (13)$$

Из (12) и (13) следует, что значения функции тока удовлетворяют уравнению

$$\Lambda_h \psi^{n+1} = \overrightarrow{rot_h} u^{n+1/2} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{где } \Lambda_h \psi^{n+1} &= \frac{\psi_{i+1/2,j-1/2}^{n+1} - 2\psi_{i-1/2,j-1/2}^{n+1} + \psi_{i-3/2,j-1/2}^{n+1}}{h_1^2} + \\ &+ \frac{\psi_{i-1/2,j+1/2}^{n+1} - 2\psi_{i-1/2,j-1/2}^{n+1} + \psi_{i-1/2,j-3/2}^{n+1}}{h_3^2}, \\ \overrightarrow{rot_h} u^{n+1/2} &= \frac{u_{i-1/2,j}^{n+1/2} - u_{i-1/2,j-1}^{n+1/2}}{h_2} - \frac{v_{i,j-1/2}^{n+1/2} - v_{i-1,j-1/2}^{n+1/2}}{h_1} \end{aligned}$$

Для учета изменяющихся внутренних границ, модифицируем уравнение (14), используя метод дополненных областей. С этой целью введем вспомогательный параметр

$$\theta_{i,j} = \begin{cases} 0, & \psi_{i-1/2,j-1/2} \in \Omega_0 \\ 1, & \psi_{i-1/2,j-1/2} \in \Omega_1, \Omega_2 \end{cases}$$

учитывающий дополненную область. Тогда уравнения (14) принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \psi_{i-1/2,j-1/2}^{n+1} &= (1 - \theta_{i,j}) \left[ \frac{\psi_{i+1/2,j-1/2}^{n+1} + \psi_{i-3/2,j-1/2}^{n+1}}{h_1^2} + \frac{\psi_{i-1/2,j+1/2}^{n+1} + \psi_{i-1/2,j-3/2}^{n+1}}{h_2^2} - \right. \\ &\left. \overrightarrow{rot_h} u^{n+1/2} \right] + \theta_{i,j} \psi^0, \end{aligned} \quad (15)$$

где  $\psi^0$  - значение функции тока на границах дополненной области и фиктивной области.

На заключительном третьем этапе находим поле скорости  $\overrightarrow{u}^{n+1}$  с помощью выражений (12), (13).

Задачи (8), (9), (10), (11) и (8), (14), (12), (13) являются эквивалентными.

Перейдем к описанию граничных условий для разностной задачи. Предположим, что течение газа осуществляется в направлении оси (рисунок 1). Тогда граничные условия имеют вид

$$\psi_{1/2,1/2}^{n+1} = 0, u_{1/2,j}^{n+1} = \varphi_j, v_{1,j-1/2}^{n+1} = 0, \psi_{1/2,j+1/2}^{n+1} = \psi_{1/2,j-1/2}^{n+1} + h_2 u_{1/2,j}^{n+1} \\ \text{при } i = 1, 1 \leq j \leq n_2 - 1$$

$$u_{n_1-1/2,j}^{n+1} = u_{n_1-3/2,j}^{n+1}, v_{n_1,j-1/2}^{n+1} = 0, \psi_{n_1-1/2,j-1/2}^{n+1} = \psi_{n_1-3/2,j-1/2}^{n+1} \\ \text{при } i = n_1, 1 \leq j \leq n_2 - 1$$

$$u_{i-1/2,1}^{n+1} = 0, v_{i,1/2}^{n+1} = 0, \psi_{i-1/2,1/2}^{n+1} = 0 \\ \text{при } j = 1, 1 \leq i \leq n_1 - 1$$

$$u_{i-1/2,n_2}^{n+1} = 0, v_{i,n_2-1/2}^{n+1} = 0, \psi_{i+1/2,n_2-1/2}^{n+1} = \psi_{i-1/2,n_2-1/2}^{n+1} + h_1 v_{i,n_2-1}^{n+1} \\ \text{при } j = n_2, 1 \leq i \leq n_1 - 1$$

По предложенному методу проведены расчеты движения дымовых газов в ТКВ с изменяемой внутренней геометрией. Рассмотрим форму ТКВ на сечении

ях (рисунок 1). Для изменения формы ТКВ использовался квадратичная кривая Безье.

С помощью описанного метода получены результаты численных расчетов на  $50 \times 100$  количествах узлов сетки. В расчетах использовались безразмерные параметры ТКВ, значения скорости и функции тока.

При численном расчете использовались следующие граничные значения скорости:

$$u^{n+1} = 0, v^{n+1} = 0, \psi^{n+1} = 0, \text{ при } x = 0, 0 \leq y \leq 1.8$$

$$u^{n+1} = 1, v^{n+1} = 0, \psi^{n+1}(0, y + \Delta y) = \psi^{n+1}(0, y) + \Delta y u^{n+1}, \text{ при } x = 0, 1.8 \leq y \leq 2$$

$$u^{n+1} = 0, v^{n+1} = 0, \psi^{n+1} = 0, \text{ при } 0 \leq x \leq 1, y = 0$$

$$u^{n+1}(1, y) = u^{n+1}(1 - \Delta x, y), v^{n+1} = 0, \psi^{n+1}(1, y) = \psi^{n+1}(1 - \Delta x, y) \text{ при } x = 1, 0 \leq y \leq 0.2$$

$$u^{n+1} = 0, v_{i,1/2}^{n+1} = 0, \psi^{n+1} = \psi^{n+1}(0, 2), \text{ при } x = 1, 0.2 \leq y \leq 2$$

$$u^{n+1} = 0, v_{i,1/2}^{n+1} = 0, \psi^{n+1} = \psi^{n+1}(0, 2), \text{ при } 0 \leq x \leq 1, y = 2$$

На рисунках 2-5 представлены формы расчетной области, модули скорости и изолинии функции тока. На рисунке 2 представлены результаты установившихся течения дымовых газов при исходной форме ТКВ, где хорошо видны модуль скорости и вихревые движения.

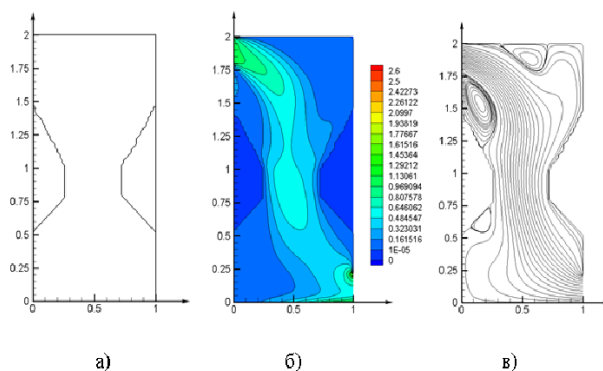
На рисунках 3,4,5 так же представлены установившиеся течения скорости при сужениях горловины ТКВ. Из рисунков видно, что при сужении горловины ТКВ возрастает модуль скорости, а также вихревые движения.

Эффективность улавливания пыли в скруббере Вентури зависит от большого количества факторов, к числу которых относятся скорость газа в горловине трубы Вентури, удельный расход орошающей жидкости, концентрация и дисперсный состав пыли в газовом потоке, физико-химические свойства пыли и др. Наибольшее влияние на эффективность улавливания оказывают скорость газа в горловине трубы Вентури и величина удельного орошения, увеличение которых повышает эффективность скруббера Вентури. Чем больше скорость газов, тем больше поверхность капель и тем выше степень улавливания. При скорости дымовых газов в горловине трубы Вентури 60 - 80 м/с и орошении 0,13 м<sup>3</sup> воды на 1000 м<sup>3</sup> газа степень очистки газа в аппарате достигает 95-96%, что значительно выше, чем у остальных мокрых золоуловителей.

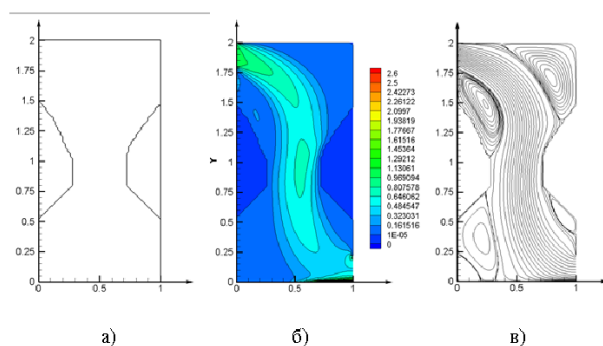
## Список литературы

1. Балдыбек Ж. Метод дополненных областей для нелинейной краевой задачи океана // Алматы. Математический журнал, 2002, том 2. №2. С. 41-50.



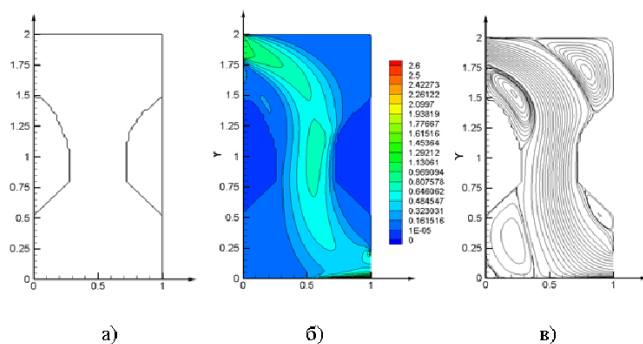


**Рисунок 2.** Результаты расчетов на исходной форме а) исходная форма ТКВ; б) модуль скорости газа; в) изолинии функции тока

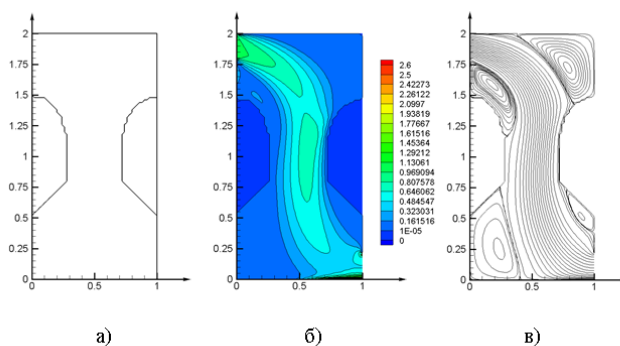


**Рисунок 3.** Результаты расчетов на первом этапе сужения горловины а) исходная форма ТКВ; б) модуль скорости газа; в) изолинии функции тока

1. Вабищевич П.Н. Методы фиктивных областей в краевых задачах математической физики. М.: МГУ, 1991
2. Смагулов Ш.С. Метод фиктивных областей для уравнений Навье-Стокса // Новосибирск, 1979 (Препр. АН СССР Сиб. отделение ВЦ)
3. Мухаметжанов А.Т., Отельбаев М.О., Смагулов Ш.С. Об одном методе фиктивных областей для нелинейных краевых задач // Вычисл. технологии. 1998. Т. 3, №4. С. 41-64.
4. Смагулов Ш.С., Отельбаев М.О. О новом методе приближенных



**Рисунок 4.** Результаты расчетов на втором этапе сужения горловины а) исходная форма ТКВ; б) модуль скорости газа; в) изолинии функции тока



**Рисунок 5.** Результаты расчетов на конечном этапе сужения горловины а) исходная форма ТКВ; б) модуль скорости газа; в) изолинии функции тока

# Использование ресурсов распределенной информационной системы для решения прикладных задач\*

Нурлан М. Темирбеков<sup>1</sup>[0000–0001–7542–3778],  
Досан Р. Байгереев<sup>2</sup>[0000–0003–4396–9914],  
Алмас Н. Темирбеков<sup>3</sup>[0000–0002–4157–2799]

<sup>1</sup> РОО "Национальная инженерная академия Республики Казахстан",  
Алматы, Казахстан  
temirbekov@rambler.ru

<sup>2</sup> НАО "Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова,  
Усть-Каменогорск, Казахстан"  
dbaigereyev@gmail.com

<sup>3</sup> Казахский Национальный университет им. аль-Фараби,  
Алматы, Казахстан  
almas\_tem@mail.ru

На сегодняшний день технологический прогресс требует беспредельного темпа роста вычислительно-информационных мощностей постпетафлопсных масштабов, предоставляющих получение новых фундаментальных знаний и внедрение инноваций в производственные, природопользовательские, экономические и социальные сферы. В связи с этим стремительно развивается математическое моделирование процессов и явлений, включающее теоретические и прикладные исследования, супервычисления и крупномасштабные компьютерные эксперименты, операции со сверхбольшими данными и искусственный интеллект. Решение подобных задач требует программное обеспечение нового поколения, архитектурные решения и конструктивные технологии. Мировые тренды ведут к созданию интегрированных вычислительно-информационных окружений, образующих инструментальную среду для автоматизации построения моделей и алгоритмов, их отображения на платформы супер ЭВМ и создания комфортных интерфейсов для пользователей с разной профессиональной подготовкой. Такая экосистема рассчитана на длительный жизненный цикл с непрерывным развитием и согласованным участием различных групп разработчиков. Фактически, она приводит к образованию новой отрасли с массовыми профессиями высокой суперкомпьютерной грамотности. Обозначенные научно-технологические вызовы требуют компетентных организационных и инфраструктурных решений, включающих межведомственную координацию академических, образовательных и производственных коллективов [1].

При всей гармоничности развития различных социально-экономических направлений в XXI веке очевидным оказывается значение этих направлений. Их

---

\* Работа выполнена при поддержке грантового финансирования научно-технических программ и проектов Министерством образования и науки Республики Казахстан (грант № AP05131806, 2018-2020 годы).

роль кардинально возросла после массового появления персональных компьютеров, а затем — с рождением многопроцессорных ЭВМ терафлопсного и петафлопсного уровня с  $10^{12}$ – $10^{15}$  операциями в секунду. Скорость увеличения компьютерных мощностей подчиняется закону Г. Мура, одного из основателей компании «Интел», — экспоненциальный рост в 1000 раз за 11 лет. Хотя по физическим законам уже должно было наступить насыщение, аномальная динамика сохраняется. В настоящее время рекордный суперкомпьютер имеет производительность около 200 петафлопс, а в ближайшем будущем ожидается появление экзафлопсников ( $10^{18}$  арифметических действий в секунду). Такая многопроцессорная вычислительная система будет иметь сотни миллионов расчётных устройств, и поколение, вступающее сейчас в трудовую жизнь, получит доступ к супервычислениям принципиально новых масштабов, возможность хранения и обработки огромных объёмов числовых данных [1].

Одним из основных задач экономики являются задачи агропромышленного комплекса. Использование многопроцессорных ЭВМ для их решения чрезвычайно необходимо. Использование информационных технологий позволило агропромышленному комплексу выйти на новый уровень, повысить эффективность и решить стратегически важные вопросы. Стремительно развивается использование больших данных — Big Data — в сельском хозяйстве.

Во-первых, перспективными становятся технологии для дистанционного зондирования земли, точного земледелия, технологии визуализации космических данных на карте, оперативного доступа к высокодетальным снимкам для точного картографирования границ полей и севооборотов, зон плодородия, а также мониторинга состояния вегетации [2]. При этом используются данные со спутников, датчиков и других систем.

Во-вторых, актуальны системы онлайн-контроля элементов производственного цикла и управления агро-бизнесом: техники, полей и складов. Данные системы обрабатывают данные о погоде, индексе вегетации, состоянии почвы и севообороте. Например, российский проект "Агросигнал" [3], к системе которого подключено свыше 150 хозяйств, обрабатывающих более 2 млн гектаров земли, сосредоточен в основном на контроле за посевами.

Агропромышленный комплекс ввиду многочисленных причин и общемировых тенденций является важнейшей сферой, где эти технологии можно и нужно внедрять. Несмотря на то, что внедрение информационных технологий в агропромышленный сектор происходило всегда довольно тяжело, новый виток технологического развития дал сильнейший толчок для использования новейших цифровых технологий в данном секторе экономики [4].

Каждое из перечисленных направлений, как правило, приводит к необходимости обработки и хранения полученного массива данных. В Российской Федерации существует несколько десятков информационных сервисов, посвященных агропромышленному комплексу. В Республике Казахстан информационных сервисов, посвященных IT-решениям в агропромышленном комплексе крайне мало.

Признавая необходимость создания аналогичного ресурса для исследователей и работников агропромышленного комплекса, коллективом ученых Казахского инженерно-технологического университета, ТОО «Академсеть» и ряда

научно-исследовательских институтов создана распределенная информационная система Академгородка. В настоящее время система успешно используется в качестве:

- хранилища оцифрованных трудов ряда научно-исследовательских институтов, включая научных статей, монографий, географических материалов, аудио- и видеозаписей, с возможностью гибкого поиска информации по метаданным;
- программной платформы для организации проведения конференций, позволяющей осуществлять сбор и обработку заявок, рассылки приглашений и др.

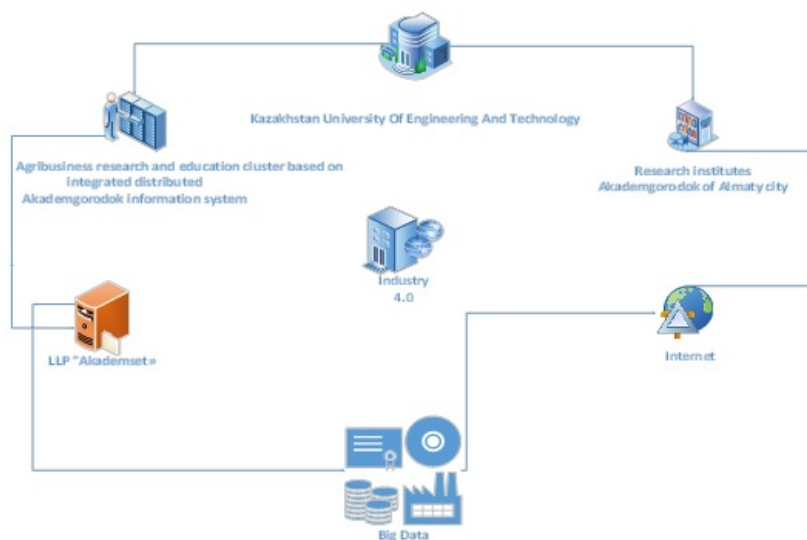
Одной из целей разработки ресурса также является создание высокопроизводительной платформы для решения чрезвычайно важных задач в производственной, природопользовательской, экономической и социальной сферах.

Одним из примеров таких задач является задача редукционной интерполяции для определения реологических свойств желчи сельскохозяйственных животных с целью повышения предпринимательской активности в сельскохозяйственном секторе. Актуальность решения данной задачи связано с тем, что в процессе убоя, разделки крупного и мелкого рогатого скота и свиней, переработки продуктов убоя и производства мясных продуктов промышленные предприятия получают не только основной продукт, но и до 40% побочных продуктов и отходов. Данные отходы используются для производства некоторых видов пищевых продуктов, фармацевтических препаратов, кормов и технических товаров, кожи и меховых изделий. Неиспользование или недостаточное использование побочных продуктов не только приводит к потере потенциального дохода, но также ведет к дополнительным и увеличивающимся расходам на утилизацию этих продуктов. В указанной выше работе для определения оптимальной температуры испарения в целях длительного хранения экстракта желчи используются такие параметры, как плотность и вязкость экстракта желчи крупного рогатого скота определяются экспериментально в зависимости от времени испарения, его влажности и температуры. Рассмотрены методы интерполяции экспериментальных данных сплайнами. Разработана компьютерная программа для интерполяции бикубической сплайн-функции экспериментально полученных значений плотности и вязкости в зависимости от времени и влажности экстракта желчи.

Другим примером является задача изучения и прогноза эпидемиологической ситуации от коронавирусной инфекции COVID-19. Данному вопросу посвящены различные методологии совместного использования математических моделей и реальных данных, которые являются эффективным инструментом для изучения сложных эпидемиологических процессов и решения практических задач на его основе. Изучается модель распространения вируса, описываемая системой нелинейных дифференциальных уравнений. В статье отмечено, что наиболее перспективным для решения задач оценки и прогнозирования процессов распространения вируса является подход, базирующийся на классическом вариационном принципе Лагранжа с использованием сопряженных уравнений. Создана программа для численного решения коэффициентной обратной задачи основанной на модели математической эпидемиологии SIR. Определены коэффициент интенсивности контактов индивидов с последующим инфицированием, коэффициент интенсивности выздоровления инфицированных индивидов и сделан краткосрочный прогноз.

Таким образом, система соответствует стратегии "Индустрия 4.0", целью которой является трансферт новых технологий в агропромышленный комплекс Республики Казахстан и поиск практических инновационных решений для устранения факторов, ограничивающих развитие сельского хозяйства в Казахстане. "Индустрия 4.0" — это новые подходы к производству, которое образуется на сборе больших данных. Использование технологии больших данных помогает сельхозпроизводителям больше экономить и зарабатывать финансовые средства. На рисунке 1 показана структурная схема распределённой информационной системы Академгородка.

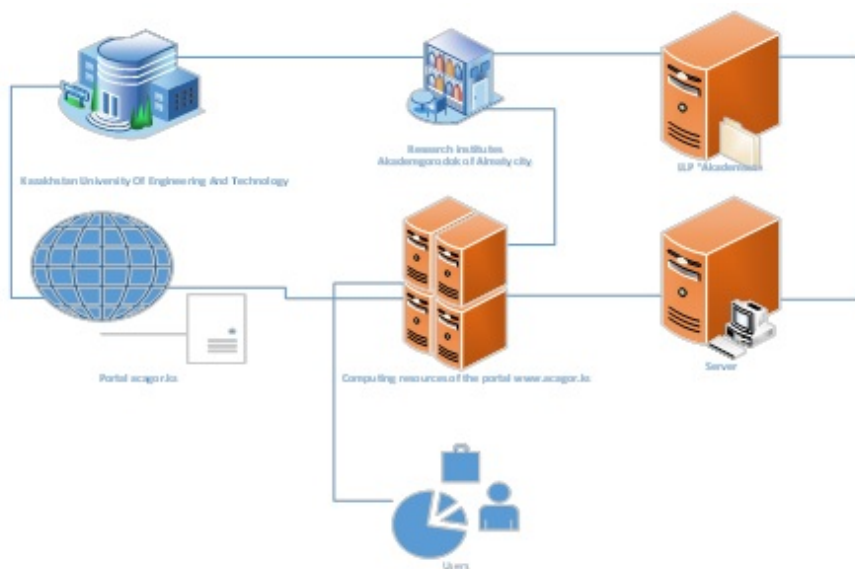
Работа с большим объемом данных, лишь недавно внедренная в сферу промышленного производства, позволяет оптимизировать качество продукции, экономить энергию и повышать работоспособность оборудования. В контексте «Индустрии 4.0» сбор и всесторонняя оценка данных, полученных из разных источников – от производственного оборудования, ERP (Enterprise Resource Planning) и CRM-систем предприятия (Customer Relationship Management), станет стандартным инструментом для поддержки принятия решений в реальном времени [4].



**Рисунок 1.** Структурная схема распределенной информационной системы Академгородка

Схема взаимодействия портала Академгородка с вычислительной системой представлена на рисунке 2.

Кроме того, построенная информационная система используется для хранения оцифрованных статей, монографий и технических отчетов сотрудников института общей генетики и цитологии, Института физиологии человека и животных, Казахского научно-исследовательского института перерабатывающей и пищевой про-



**Рисунок 2.** Схема взаимодействия портала Академгородка с вычислительной системой

мышленности, Казахского научно-исследовательского института плодоводства и виноградарства, Казахского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии имени У.У.Успанова, Казахстанского инженерно-технологического университета, Научноисследовательского института микробиологии и вирусологии. Наполнение репозитория производится контент-менеджерами (сотрудниками НИИ и Казахстанского инженернотехнологического университета) согласно модели, представленной в работе [6].

В результате интеграции веб-портала с репозиторием цифровых объектов мета-данные и ссылки на материалы, загруженные в подсистему хранилища, отображаются на странице профиля ученого и на информационной странице исследовательских институтов [7-11]. Возможен поиск по мета-данным. Кроме того, реализована фильтрация по ключевым словам, институтам, дате и языку публикации. В настоящее время в репозитории хранятся 936 работ.

Веб-портал содержит множество программных модулей. С помощью разработанного к Web-порталу модуля проведения конференции, который был успешно апробирован на международной конференции в апреле 2019 года планируется проведение международной научно-практической конференции «Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education» (CITech–2020), посвященная 1150-летию аль-Фараби (г. Алматы, 9-10 октября 2020 г.). Все избранные труды, отобранные международным экспертным советом конференции, планируется опубликовать в сборнике статей в издательстве Springer в серии «Communications in Computer and Information Science» (индексируется в БД Scopus) а также в репозиторий цифровых объектов Web-портала acagor.kz.

## Список литературы

1. Ильин В. П. Как реорганизовать вычислительные науки и технологии // Вестник Российской Академии наук. - 2019. – Т. 89, № 3. – С. 232–242.
2. РКС и "РУСАГРО" объединяют усилия для цифровизации сельского хозяйства России [Электрон. ресурс]. - 2017. - URL: <https://www.roscosmos.ru/24458/> (дата обращения 15.08.2020).
3. Агросигнал - система ГЛОНАСС/GPS контроля спецтехники и управления агро-бизнесом [Электрон. ресурс]. 2019. - URL: <https://7gis.ru/podderzhka/platformyi/agrosignal.html> (дата обращения 15.08.2020).
4. Тусков А. А., Грошева Е. С., Палаткин И. В., Шорохова О. С. Индустрия 4.0 в АПК: основные тенденции применения технологий Интернета вещей в сельском хозяйстве // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2018. – № 1 (25). – С. 55–64.
5. Живая Кубань интернет-дневник Краснодарского края [Электрон. ресурс]. - 2020. - URL: [livekuban.ru/news/obshchestvo/skolko-budet-dlitsya-epidemiya-koronavirusa/](http://livekuban.ru/news/obshchestvo/skolko-budet-dlitsya-epidemiya-koronavirusa/) (дата обращения 15.08.2020).
6. Шокин Ю. И., Темирбеков Н. М., Жижимов О. Л., Темирбеков А. Н., Байгереев Д. Р. Модель интегрированной распределенной библиотечной информационной системы Академгородка города Алматы // Вычислительные технологии. - 2018. - Т. 23. - №5. - С. 110-119.
7. Temirbekov N., Baigereyev D., Temirbekov A., Smolarz A. Architecture of the distributed information system of the Almaty Academgorodok // Przegląd Elektrotechniczny. - 2019. - No. 5. - P. 75-78.
8. Темирбеков Н. М., Жижимов О. Л., Байгереев Д. Р., Омиржанова Б. Б., Темирбеков А. Н., Оразгалиева А. М. Построение научно-образовательного кластера на базе интегрированной распределенной информационной системы Академгородка // Совместный выпуск журналов "Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева" и "Вычислительные технологии". - 2018. - Т. 1., №3., Ч. 1. - С. 120-127.
9. Темирбеков Н. М., Байгереев Д. Р., Темирбеков А. Н. Облачные технологии для организации научно-образовательного агропромышленного кластера Академгородка города Алматы // Вестник КазНУ им. аль-Фараби, серия «математика, механика, информатика», №3(103), 2019 г., -С. 75-89.
10. Temirbekov, N., Baigereyev, D., Temirbekov, A., Omirzhanova, B. Development of an information system for storing digitized works of the Almaty Academgorodok research institutes (Conference Paper). AIP Conference Proceedings. Volume 2183, Article number 080005.-2019.
11. Temirbekov N., Baigereyev D., Temirbekov A., Omirzhanova B. Development of a Distributed Information System of the Almaty Academgorodok. Journal of Engineering Science and Technology Review Special Issue on Telecommunications, Informatics, Energy and Management 2019.-p.127-130.-2020.



## Содержание

Cyber Security and Big Data: Problems and Perspectives . . . . .	7
<i>Vladimir Jotsov, Murat Tulenbayev, Zhumakhan Myrkhalykov, Marat Manapbayev, Adlet Alipbekov, and Svetlana Beglerova</i>	
Intelligent Methods in Education: Case Study of Advantages, Problems, and Perspectives. . . . .	16
<i>Vladimir Jotsov, Murat Tulenbayev, Zhumakhan Myrkhalykov, Marat Manapbayev, Adlet Alipbekov, and Svetlana Beglerova</i>	
Anomaly Detection in Solar Hot Water System Using Machine Learning . . . . .	34
<i>Timur Merembayev and Yedilkhan Amirgaliyev</i>	
What Have We Learned about Online Education During the COVID-19 Pandemic - a Croatian Polytechnic Case Study . . . . .	44
<i>Barbara Pisker, Kristian Dokic, and Bojan Radisic</i>	
Analysis of the Influence of Synthetic Corpora in the English-Kazakh Neural Machine Translation System. . . . .	57
<i>Diana Rakhimova, Aidana Karibayeva, Aliya Turganbayeva, Asem Turarbek, and Vladisval Karyuikin</i>	
A Lattice Boltzmann - Immersed Boundary Method to Simulate the Fluid Interaction with Solid Particles . . . . .	65
<i>Bekzat Satenova, Zhakebayev Dauren, and Askar Khikmetov</i>	
Modeling of Non-stationary Temperature Mode of a Multi-layer Road Structure . . . . .	77
<i>B. B. Teltayev, K. A. Aitbayev, K. B. Tileu, G. Loprencipe</i>	
Algorithms and Software Tools for Machine Learning to Recognize Objects in Microscopic Images . . . . .	82
<i>Jamalbek A. Tussupov, Feodor A. Murzin, and Gulzira B. Abdikerimova</i>	
The Impact of the Pandemic on the Digital Transformation of Universities . . . . .	91
<i>Raissa Uskenbayeva, Yedilkhan Amirgaliyev, and Kaiyrzhan Kozhaly</i>	
Spectral Measurements of Optic Fiber Using Tilted Fiber Bragg Gratings . . . . .	104
<i>Waldemar Wójcik, Piotr Kisala, Aliya Kalizhanova, Ainur Kozbakova, Saltanat Amirgaliyeva, and Zhalau Aitkulov</i>	
Vorticity Confinement Lattice Boltzmann Simulation of the Double-diffusive Convection in a Cubic Cavity . . . . .	110
<i>Dauren Zhakebayev, Ainur Zhumali, Nikita Tsoy, and Dilyara Agadayeva</i>	

Stability of Fictive Region Method for Navier-Stokes Equations in Multiply-Connected Domains . . . . .	123
<i>Bakytzhan T. Zhumagulov</i>	
The Dynamics of Taylor Green Vortex Depending on the Magnetic Field . . . . .	131
<i>Bakhytzhan Zhumagulov, Dauren Zhakebayev, Aigerim Abdibekova, and Aidar Assylbekuly</i>	
Наследие Аль-Фараби в современном образовании . . . . .	141
<i>Такир Оспанович Балыкбаев, Есен Ыкыласович Бидайбеков</i>	
Экспериментальное моделирование воздействия на организм лабораторных животных вредных производственных факторов . . . . .	147
<i>Кульзипа Ж. Дакиева, Валерий А. Седелев, Светлана А. Гармашова, Гульфат Ж. Калелова, Асель С. Кайсарова, Жулдыз Т. Тергенбаева</i>	
Моделирование процесса распространения активных примесей в приземном слое атмосферы с учётом диффузии, химической реакции и переноса вещества течением воздуха . . . . .	161
<i>Нургали Заурбеков, Аллаярбек Айдосов, Нурбике Заурбекова, Нурдаулет Дихамбай</i>	
Биометрическое распознавание с использованием глубокого обучения . . . . .	168
<i>Оркен Ж. Мамырбаев, Айзат С. Кыдырбекова, Б. Ж. Жумажанов, Толганай Турдалыкызы</i>	
Определение распространения опасных производственных факторов при составлении декларации промышленной безопасности на опасных производственных объектах . . . . .	190
<i>Валерий А. Седелев, Кульзипа Ж. Дакиева, Гульфат Ж. Калелова, Анатолий П. Цыганов, Роза С. Бейсембаева</i>	
Математическое моделирование движение дымовых газов в ТКВ с изменяемой внутренней геометрией . . . . .	199
<i>Нурлан М. Темирбеков, Ержан А. Малгаждаров, Досан Р. Байгереев, Багдат Н. Азаматов, Салтанат Адиканова</i>	
Использование ресурсов распределенной информационной системы для решения прикладных задач . . . . .	207
<i>Нурлан М. Темирбеков, Досан Р. Байгереев, Алмас Н. Темирбеков</i>	

