

*Журнал «Научное обозрение. Технические науки» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-57440 ISSN 2500-0799*

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,887**  
**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,350**

*Учредитель, издательство и редакция:*  
*ООО НИЦ «Академия Естествознания»,*

*Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47*  
*Адрес учредителя: 410056, Саратовская область,*  
*г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56*  
*Адрес редакции: 410035, Саратовская область,*  
*г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

**Founder, publisher and edition:**  
**LLC SPC Academy of Natural History,**

**Post address: 105037, Moscow, p.o. box 47**  
**Founder's address: 410056, Saratov region,**  
**Saratov, 56 Chapaev V.I. str.**  
**Editorial address: 410035, Saratov region,**  
**Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Подписано в печать 28.04.2023*  
*Дата выхода номера 31.05.2023*  
*Формат 60×90 1/8*

*Типография*  
*ООО НИЦ «Академия Естествознания»,*  
*410035, Саратовская область,*  
*г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 28.04.2023**  
**Release date 31.05.2023**  
**Format 60×90 8.1**

**Typography**  
**LLC SPC «Academy Of Natural History»**  
**410035, Russia, Saratov region,**  
**Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Доронкина Е.Н.*  
*Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.*

*Распространение по свободной цене*  
*Тираж 1000 экз. Заказ НО 2023/2*  
*Подписной индекс в электронном каталоге*  
*«Почта России»: ПА518*  
*© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

**Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.**



**М.М. Филиппов (M.M. Philiprov)**

**С 2014 года издание журнала возобновлено**  
**Академией Естествознания**  
**From 2014 edition of the journal resumed**  
**by Academy of Natural History**

**Главный редактор: М.Ю. Ледванов**  
**Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov**

**Редакционная коллегия (Editorial Board)**  
**А.Н. Курзанов (A.N. Kurzanov)**  
**Н.Ю. Стукова (N.Yu. Stukova)**  
**М.Н. Бизенкова (M.N. Bizenkova)**  
**Н.Е. Старчикова (N.E. Starchikova)**  
**Т.В. Шнуровозова (T.V. Shnurovozova)**

---

***НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ***

***SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES***

*www.science-education.ru*

*2023 г.*

---



***В журнале представлены научные обзоры,  
статьи проблемного  
и научно-практического характера***

***The issue contains scientific reviews,  
problem and practical scientific articles***

## СОДЕРЖАНИЕ

**Технические науки (2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь, 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации, 2.4. Энергетика и электротехника)**

### СТАТЬИ

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ КОРРОЗИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОНА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{20}/_{25}$	5
<i>Васильев А.А.</i> .....	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ТЕКСТУ	11
<i>Левин А.О., Белов Ю.С.</i> .....	
ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ	16
<i>Медведев А.В.</i> .....	
УСТРОЙСТВО СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ЗАСОЛЕННЫХ ПЫЛЕВАТО- ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ КАРБОНАТНОГО ТИПА ЗАСОЛЕНИЯ	22
<i>Унайбаев Б.Ж., Унайбаев Б.Б., Ицанова А.Ш., Ким Е.Е., Канаева Т.А.</i> .....	
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА КОЛЬЦЕВОЙ СИСТЕМЫ КОГЕРЕНТНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ	27
<i>Глуценко А.А., Глуценко А.Г., Глуценко В.А.</i> .....	
ФОРМИРОВАНИЕ ФРАГМЕНТИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПОРТИВНЫХ СОБЫТИЙ	33
<i>Крутиков А.К., Ключин В.Ю., Подковырин В.Д., Кислицына М.И.</i> .....	
РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ	38
<i>Лукинов В.А., Соколов Д.А.</i> .....	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ DEVOPS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	44
<i>Нажимова Н.А., Вдовин А.А.</i> .....	
<b>НАУЧНЫЙ ОБЗОР</b>	
ИННОВАЦИОННАЯ УПАКОВКА ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	50
<i>Бурак Л.Ч., Сапач А.Н.</i> .....	

---

## CONTENTS

**Technical sciences (2.2. Electronics, photonics, instrumentation and communication, 2.3. Information technologies and telecommunications, 2.4. Energy and electrical engineering)**

### ARTICLES

EVALUATION OF MAXIMUM CORROSION PARAMETERS CONCRETE OF COMPRESSIVE STRENGTH CLASS C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	5
<i>Vasilev A.A.</i> .....	
APPLICATION OF GENERATIVE-ADVERSARIAL NETWORKS TO TEXT TO IMAGE GENERATION	11
<i>Levin A.O., Belov Yu.S.</i> .....	
AN OPTIMIZATION MODEL FOR ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF INFORMATION TECHNOLOGY PROJECTS	16
<i>Medvedev A.V.</i> .....	
ARRANGEMENT OF PILE FOUNDATIONS IN SALINE PULVERIZED CLAY SOILS OF CARBONATE TYPE OF SALINIZATION	22
<i>Unaybaev B.Zh., Unaybaev B.B., Ischanova A.Sh., Kim E.E., Kanaeva T.A.</i> .....	
INTERFERENCE PICTURE RING SYSTEM OF COHERENT OSCILLATORS	27
<i>Gluschenko A.G., Gluschenko A.A., Gluschenko V.A.</i> .....	
FORMATION OF A FRAGMENTED TRAINING SAMPLE IN AN SPECIALIZED SPORTS EVENT FORECASTING SYSTEM	33
<i>Krutikov A.K., Klyukin V.L., Podkovyrin V.D., Kislitsyna M.I.</i> .....	
THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF MODERN RUSSIA	38
<i>Lukinov V.A., Sokolov D.A.</i> .....	
RESEARCH OF DEVOPS METHODOLOGY FOR SOFTWARE DEVELOPMENT	44
<i>Nazhimova N.A., Vdovin A.A.</i> .....	
<b>REVIEW</b>	
INNOVATIVE FOOD PACKAGING	50
<i>Burak L.Ch., Sapach A.N.</i> .....	

СТАТЬИ

УДК 691.32:620.193

**ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ КОРРОЗИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
БЕТОНА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ  $C^{20}/_{25}$**

**Васильев А.А.**

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель,  
e-mail: alex.vas.6222@mail.ru*

Выполнено исследование коррозионных показателей карбонизации бетона класса по прочности на сжатие  $C^{20}/_{25}$ . На основании предложенной методики оценки предельной величины карбонизации (ПВК) предложены методы оценки и прогнозирования максимальных величин начальной ( $MVC_0$ ) и эксплуатационной ( $MVC_{op}$ ) величин карбонизации бетона. Подобраны составы бездобавочных бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4 для класса бетона по прочности на сжатие  $C^{20}/_{25}$ . По результатам анализа составов бетона смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4 получены зависимости предельной величины карбонизации бетона от количества использованного цемента и отпускной прочности бетона. На основании полученных зависимостей выведены зависимости начальной максимальной величины карбонизации бетона от количества использованного цемента и отпускной прочности бетона и изменения во времени эксплуатационной максимальной величины карбонизации от количества использованного цемента, отпускной прочности и планируемых эксплуатационных условий для смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4. Выполнен анализ величин предельной карбонизации бетона от количества использованного цемента и максимальной эксплуатационной величины карбонизации бетона для различных эксплуатационных условий при длительности проектной эксплуатации 50 лет для разных марок бетонной смеси по удобоукладываемости.

**Ключевые слова:** бетон, карбонизация, предельная величина карбонизации, максимальная величина карбонизации

**EVALUATION OF MAXIMUM CORROSION PARAMETERS CONCRETE  
OF COMPRESSIVE STRENGTH CLASS  $C^{20}/_{25}$**

**Vasilev A.A.**

*Belorussian State University of Transport, Gomel, e-mail: alex.vas.6222@mail.ru*

The corrosion parameters of concrete carbonization according to the strength class for  $C^{20}/_{25}$  compression were studied. Based on the proposed method of estimating the limit value of carbonization (PVK), methods of estimating and predicting the maximum values of the initial ( $MVC_0$ ) and operational ( $MVC_{op}$ ) values of carbonization of concrete are proposed. The compositions of non-filler concrete mixtures of grades of M1...M5 and S1...S4 workability for the  $C^{20}/_{25}$  compressive strength class of concrete were selected. Based on the results of the analysis of concrete compositions of mixtures of M1...M5 and S1...S4 layability grades, the dependence of the maximum value of concrete carbonization on the amount of cement used and the release strength of concrete was obtained. Based on the obtained dependencies, the dependencies of the initial maximum value of concrete carbonization on the amount of cement used and the tempering strength of concrete and changes in the time of the operational maximum value of carbonization on the amount of cement used, tempering strength and planned operating conditions for mixtures of grades of M1...M5 and S1...S4 workability are derived. The analysis of the values of the maximum carbonization of concrete from the amount of cement used and the maximal operational value of concrete carbonization for various operating conditions with a design operation duration of 50 years for various grades of concrete mixture by workability was carried out.

**Keywords:** concrete, carbonization, limit value of carbonization, maximum value of carbonization

Существующие зависимости оценки и прогнозирования карбонизации бетона, основанные на фенолфталеиновом тесте (ФФТ) и Первом законе Фика, для различных классов бетона по прочности на сжатие, параметров бетонной смеси и эксплуатационных условий, предложенные многочисленными авторами, не позволяют объективно оценивать и прогнозировать карбонизацию бетона [1, 2 и др.], состояние защитных свойств по отношению к стальной арматуре, коррозионное состояние бетона и стальной арматуры [3–5 и др.], что, по результатам многолетних исследований, подробно объяснено автором в [6].

Задачей исследований явилась оценка коррозионной способности бетона класса по прочности на сжатие  $C^{20}/_{25}$ , поскольку железобетонные элементы, выполненные из такого бетона (М350), массово эксплуатируются различные длительные сроки в разных воздушных средах, что обуславливает необходимость объективной оценки их долговечности.

**Материалы и методы исследования**

С использованием методов анализа в исследовании проводится оценка максимальных показателей карбонизации бетона класса по прочности на сжатие  $C^{20}/_{25}$  для различных эксплуатационных условий.

### Результаты исследования и их обсуждение

По результатам многолетних исследований в лаборатории реакции карбонизации, образцов бетона, отобранных из бетонных элементов и конструкций, сразу после изготовления, длительно эксплуатируемых в различных атмосферных средах, предложена и апробирована методика исследований, позволяющая объяснить «механизм» карбонизации бетона, соответственно, разработать и внедрить методики оценки и прогнозирования изменения во времени защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, состояния стальной арматуры, комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций с учетом карбонизации бетона [6]. Предлагаемые методики оценки карбонизации и ее влияния на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре основаны на определении карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона (показателя КС) – количества (в массовых процентах) образовавшегося карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в цементно-песчаной фракции бетона по сечению бетона, что, в отличие от существующей оценки, основанной на определении количества поглощенного углекислого газа воздуха ( $\text{CO}_2$ ), позволяет напрямую оценивать количество созданных карбонатов и их влияние на изменение показателя рН (водородного показателя водной вытяжки цементного камня), основного показателя, определяющего состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре. Экспресс-метод определения показателей КС разработан автором и представлен в [7].

Оценка карбонизации по количеству образовавшихся карбонатов подразумевает определение параметров карбонизации бетона и их граничных значений. В работе [6]

предложено граничным значением карбонизации считать ее предельную величину. Предельная величина карбонизации (ПВК) оценивает содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах при условии, что весь оксид кальция ( $\text{CaO}$ ) цемента полностью перейдет в карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ). Показатель ПВК определяется для цементно-песчаной фракции бетона в соответствии с методикой [6].

Для расчета предельных величин карбонизации исследовали бездобавочные бетоны различных составов (марок по удобоукладываемости П1...П5 ( $\text{OK} = 1...25$  см) и Ж1...Ж4 (5...40 с)) для класса бетона по прочности на сжатие  $\text{C}^{20/25}$ . Составы бетона рассчитывали на основе многофакторного метода профессора В.В. Бабицкого [8]. При назначении компонентов бетонной смеси принимали портландцемент ПЦ 500 Д0 (ОАО «Белорусский цементный завод»), с содержанием  $\text{CaO} = 0,66$ , ( $\text{НГ} = 26,5\%$ ).

Значения ПВК определяли для отпускных прочностей бетона  $\text{R} = 70, 80, 90$  и  $100\%$ . Для каждого значения отпускной прочности расчет ПВК выполняли по 61 составу бездобавочного бетона. Таким образом, для расчета ПВК было использовано 244 состава.

Так как именно количество использованного цемента в первую очередь определяет глубину, скорость и интенсивность карбонизации, в табл. 1 приведены граничные значения количества цемента и В/Ц для исследуемого класса бетона по прочности на сжатие соответственно для составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4.

По результатам анализа значений ПВК для каждого состава бетона и каждого значения отпускной прочности были получены зависимости  $\text{ПВК} = f(\text{Ц})$  для каждого класса бетона по прочности на сжатие составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4.

Таблица 1

Граничные значения количества цемента и В/Ц для бетона класса по прочности на сжатие  $\text{C}^{20/25}$  составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4

Отпускная прочность, %							
70		80		90		100	
Предел значений Ц, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	Предел значений Ц, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	Предел значений Ц, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	Предел значений Ц, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц
Смеси марок по удобоукладываемости П1...П5							
306...488	0,546	331...470	0,503	357...513	0,466	389...558	0,434
Смеси марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4							
266...311	0,546	288...336	0,503	310...364	0,466	333...396	0,434

Таблица 2

Зависимости ПВК = f(Ц) для различных граничных значений отпускной прочности бетона составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4

Отпускная прочность, %			
70	80	90	100
Зависимость ПВК = f(Ц)			
Смеси марок по удобоукладываемости П1...П5			
0,0653 Ц + 8,800	0,0629Ц + 9,754	0,0605Ц + 10,77	0,0572Ц + 12,27
Смеси марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4			
0,088Ц + 1,862	0,0844Ц + 2,670	0,0798Ц + 3,857	0,0762Ц + 4,849

Зависимости ПВК = f(Ц) принимали линейными, что абсолютно приемлемо, поскольку для них коэффициент детерминации составил R<sup>2</sup> = 0,9978...0,9993.

В общем виде зависимость ПВК = f(Ц) для любого граничного значения отпускной прочности:

$$\text{ПВК} = k_1 \text{Ц} + k_2, \quad (1)$$

где ПВК, %; k<sub>1</sub> и k<sub>2</sub> – коэффициенты: k<sub>1</sub>, (%·м<sup>3</sup>)/кг; k<sub>2</sub>, %; Ц – содержание цемента, кг/м<sup>3</sup>.

Путем их анализа и интерполяции значений для граничных значений отпускной прочности, получили зависимости ПВК = f(Ц, R), в общем виде:

$$\text{ПВК} = k_3 \text{Ц} + k_4,$$

$$k_3 = k_5 R + k_6, \quad k_4 = k_7 R + k_8, \quad (2)$$

где k<sub>3</sub>–k<sub>8</sub> – коэффициенты.

На основании анализа зависимостей (табл. 1 и 2) полученные коэффициенты:

– для составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5:

$$k_3 = -0,0003R + 0,0842, \quad (\% \cdot \text{м}^3) / \text{кг};$$

$$k_4 = 0,1143R + 0,6864, \quad \% \quad (3)$$

– для составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4:

$$k_3 = -0,0004R + 0,1161, \quad (\% \cdot \text{м}^3) / \text{кг};$$

$$k_4 = 0,1015R + 5,316, \quad \% \quad (4)$$

Таким образом, для бетона класса по прочности на сжатие C<sup>20</sup>/<sub>25</sub> составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5:

$$\text{ПВК} = (-0,0003R + 0,0842)\text{Ц} + (0,1143R + 0,6864); \quad (5)$$

для составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4

$$\text{ПВК} = (-0,0004R + 0,1161)\text{Ц} + (0,1015R + 5,316). \quad (6)$$

Значения ПВК определяются из условия, что степень гидратации цемента составляет 100% (α = 1). Однако даже при самых длительных сроках эксплуатации α < 1, поэтому максимальные величины карбонизации необходимо оценивать с учетом степени гидратации цемента. Начальная максимальная величина карбонизации бетона (МВК<sub>н</sub>) определяется сразу после изготовления бетона; эксплуатационная (МВК<sub>э</sub>) – с учетом изменения во времени и условий эксплуатации.

Максимальная начальная карбонизация бетона, в общем виде:

$$\text{МВК}_n = \text{ПВК} \cdot \alpha_{28}^{20}, \quad (7)$$

где α<sub>28</sub><sup>20</sup> – степень гидратации цемента в возрасте 28 суток, д. ед.

Степень гидратации цемента и ее изменение во времени вычисляли по зависимостям профессора В.В. Бабицкого [8].

Степень гидратации цемента в возрасте 28 суток твердения, %,

при X ≤ 1,65

$$\alpha_{28}^{20} = 60X - \sqrt[3]{(1,65X)^2} \cdot e^{1,65X}, \quad (8)$$

где X – относительное водосодержание цементного теста.

$$X = \frac{0,98(\text{В}/\text{Ц}) - 0,0094}{\text{НГ} / 100}, \quad (9)$$

где В/Ц – водоцементное отношение, д. ед.; НГ – нормальная густота, %.

С учетом данных табл. 2, для бетона класса по прочности на сжатие C<sup>20</sup>/<sub>25</sub>, зависимость α<sub>28</sub><sup>20</sup> = f(R) для составов бетонной смеси марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4

$$\alpha_{28}^{20} = -8,56 \cdot 10^{-2} R + 77,7. \quad (10)$$

Таким образом, с учетом преобразований,  
– для составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 максимальная начальная карбонизация бетона, %:

$$\begin{aligned} \text{МВК}_H = & (2,56 \cdot 10^{-7} R^2 - 3,05 \cdot 10^{-4} R + 6,54 \cdot 10^{-2}) \text{Ц} + \\ & + 9,78 \cdot 10^{-5} R^2 + 8,82 \cdot 10^{-2} R + 5,34 \cdot 10^{-1}; \end{aligned} \quad (11)$$

– для составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4:

$$\text{МВК}_H = (3,42 \cdot 10^{-7} R^2 - 4,10 \cdot 10^{-4} R + 9,02 \cdot 10^{-2}) \text{Ц} + 8,69 \cdot 10^{-5} R^2 + 8,34 \cdot 10^{-2} R + 4,13. \quad (12)$$

Увеличение степени гидратации цемента с течением времени:

$$\alpha = \alpha_{28}^{20} [1 + 0,21lg \tau (X - 0,63)(\varphi - 0,6)], \quad (13)$$

где  $\tau$  – время твердения цементного камня (бетона), месяцы;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха среды, доли единицы.

С учетом многолетних обследований зданий и сооружений [6] принято  $\varphi = 0,80$  для условий общественных (промышленных с неагрессивной или малоагрессивной эксплуатационной средой) зданий,  $\varphi = 0,85$  – условий открытой атмосферы,  $\varphi = 0,95$  – условий сельскохозяйственных зданий.

Максимальная эксплуатационная величина карбонизации бетона, %:

$$\text{МВК}_3 = \text{ПВК} \cdot \alpha, \quad (14)$$

Для каждого граничного значения отпускной прочности бетона и крайних значений содержания цемента были получены зависимости  $\text{МВК}_3 = f(\text{Ц}, R, t)$ . После преобразования, полученные зависимости  $\text{МВК}_3 = f(\text{Ц}, R, t)$  для различных марок смесей по удобоукладываемости приведены в табл. 3 и 4.

В общем виде зависимость  $\text{МВК}_3 = f(\text{Ц}, R, t)$ :

$$\text{МВК}_3 = k_1 + (\text{Ц} - k_2) k_3 t^{k_4};$$

$$k_1 = k_5 R + k_6, \quad k_2 = k_7 R + k_8, \quad k_3 = k_9 R + k_{10}, \quad k_4 = k_{11} R + k_{12}, \quad (15)$$

где  $k_1 - k_{12}$  – коэффициенты.

Рассчитанные по результатам анализа зависимостей (табл. 3 и 4) коэффициенты представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 3

Зависимости  $\text{МВК}_3 = f(\text{Ц}, R)$  для граничных значений отпускной прочности бетона составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5

R, %	Условия эксплуатации		
	Открытая атмосфера	Общественные здания	Сельскохозяйственные здания
	Зависимость $\text{МВК}_3 = f(\text{Ц}, R)$		
70	$(22,124 + (\text{Ц} - 306,0)0,0502)t^{0,0287}$	$(21,831 + (\text{Ц} - 306,0)0,0495)t^{0,0234}$	$(22,701 + (\text{Ц} - 306,0)0,0515)t^{0,0389}$
80	$(23,061 + (\text{Ц} - 331,0)0,0474)t^{0,0257}$	$(22,787 + (\text{Ц} - 331,0)0,0468)t^{0,0209}$	$(23,598 + (\text{Ц} - 331,0)0,0485)t^{0,0348}$
90	$(24,013 + (\text{Ц} - 357,0)0,0449)t^{0,0229}$	$(23,759 + (\text{Ц} - 357,0)0,0444)t^{0,0186}$	$(24,515 + (\text{Ц} - 357,0)0,0458)t^{0,0312}$
100	$(25,040 + (\text{Ц} - 389,0)0,0415)t^{0,0205}$	$(24,803 + (\text{Ц} - 389,0)0,0411)t^{0,0166}$	$(25,512 + (\text{Ц} - 389,0)0,0423)t^{0,0280}$



**Таблица 4**

Зависимости  $МВК_3 = f(\Psi, R)$  для граничных значений отпускной прочности бетона составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4

R, %	Условия эксплуатации		
	Открытая атмосфера	Общественные здания	Сельскохозяйственные здания
	Зависимость $МВК_3 = f(\Psi, R)$		
70	$(19,434 + (\Psi - 266,0)0,0681)t^{0,0287}$	$(19,175 + (\Psi - 266,0)0,0664)t^{0,0236}$	$(19,938 + (\Psi - 266,0)0,0700)t^{0,0389}$
80	$(20,345 + (\Psi - 288,0)0,0637)t^{0,0257}$	$(20,107 + (\Psi - 288,0)0,0629)t^{0,0209}$	$(20,822 + (\Psi - 288,0)0,0652)t^{0,0348}$
90	$(21,213 + (\Psi - 310,0)0,0593)t^{0,0229}$	$(20,989 + (\Psi - 310,0)0,0586)t^{0,0186}$	$(21,661 + (\Psi - 310,0)0,0604)t^{0,0312}$
100	$(21,928 + (\Psi - 333,0)0,0552)t^{0,0205}$	$(21,720 + (\Psi - 333,0)0,0547)t^{0,0166}$	$(22,339 + (\Psi - 333,0)0,0563)t^{0,0280}$

**Таблица 5**

Коэффициенты  $k_1-k_4$  для составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5

k	Условия эксплуатации		
	Открытая атмосфера	Общественные здания	Сельскохозяйственные здания
$k_1$	$k_1 = 0,0970R + 15,32, \%$	$k_1 = 0,0989R + 14,89, \%$	$k_1 = 0,0935R + 16,13, \%$
$k_2$	$k_2 = 2,750R + 112,0, \frac{кг}{м^3}$	$k_2 = 2,750R + 112,0, \frac{кг}{м^3}$	$k_2 = 2,750R + 112,0, \frac{кг}{м^3}$
$k_3$	$k_3 = -0,0003R + 0,0703, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$	$k_3 = -0,0003R + 0,0689, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$	$k_3 = -0,0003R + 0,0728, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$
$k_4$	$k_4 = -0,0003R + 0,0477, \text{ д. ед.}$	$k_4 = -0,0002R + 0,0392, \text{ д. ед.}$	$k_4 = -0,0004R + 0,0641, \text{ д. ед.}$

**Таблица 6**

Коэффициенты  $k_1-k_4$  для составов смесей марок по удобоукладываемости ПЖ...Ж4

k	Условия эксплуатации		
	Открытая атмосфера	Общественные здания	Сельскохозяйственные здания
$k_1$	$k_1 = 0,0835R + 13,63, \%$	$k_1 = 0,0852R + 13,26, \%$	$k_1 = 0,0804R + 14,35, \%$
$k_2$	$k_2 = 2,230R + 109,7, \frac{кг}{м^3}$	$k_2 = 2,230R + 109,7, \frac{кг}{м^3}$	$k_2 = 2,230R + 109,7, \frac{кг}{м^3}$
$k_3$	$k_3 = -0,0004R + 0,0982, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$	$k_3 = -0,0004R + 0,0941, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$	$k_3 = -0,0005R + 0,1020, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$
$k_4$	$k_4 = -0,0003R + 0,0477, \text{ д. ед.}$	$k_4 = -0,0002R + 0,0397, \text{ д. ед.}$	$k_4 = -0,0004R + 0,0641, \text{ д. ед.}$

Таким образом, для бетона класса по прочности на сжатие  $C^{20/25}$  составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 эксплуатационных условий открытой атмосферы:

$$МВК_3 = (9,700 \cdot 10^{-2} R + 15,32) + (\Psi - (2,750R + 112,0))(-3,000 \cdot 10^{-4} R + 7,030 \cdot 10^{-2}) \times (-3,000 \cdot 10^{-4} R + 4,770 \cdot 10^{-2}), \quad (16)$$

– условий общественных зданий:

$$МВК_3 = (9,890 \cdot 10^{-2} R + 14,89) + (\Psi - (2,750R + 112,0))(-3,000 \cdot 10^{-4} R + 6,890 \cdot 10^{-2}) \times (-2,000 \cdot 10^{-4} R + 3,920 \cdot 10^{-2}), \quad (17)$$

– условий сельскохозяйственных зданий:

$$MBK_{\text{э}} = (9,350 \cdot 10^{-2} R + 16,13) + (\text{Ц} - (2,750R + 112,0))(-3,000 \cdot 10^{-4} R + 7,280 \cdot 10^{-2}) \times \\ \times t(-4,000 \cdot 10^{-4} R + 6,410 \cdot 10^{-2}). \quad (18)$$

Для бетона класса по прочности на сжатие  $C^{20/25}$  составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4 эксплуатационных условий открытой атмосферы:

$$MBK_{\text{э}} = (8,350 \cdot 10^{-2} R + 13,63) + (\text{Ц} - (2,230R + 109,7))(-4,000 \cdot 10^{-4} R + 9,820 \cdot 10^{-2}) \times \\ \times t(-3,000 \cdot 10^{-4} R + 4,770 \cdot 10^{-2}); \quad (19)$$

– условий общественных зданий:

$$MBK_{\text{э}} = (8,520 \cdot 10^{-2} R + 13,26) + (\text{Ц} - (2,230R + 109,7))(-4,000 \cdot 10^{-4} R + 9,410 \cdot 10^{-2}) \times \\ \times t(-2,000 \cdot 10^{-4} R + 3,970 \cdot 10^{-2}); \quad (20)$$

– условий сельскохозяйственных зданий:

$$MBK_{\text{э}} = (8,040 \cdot 10^{-2} R + 14,35) + (\text{Ц} - (2,230R + 109,7))(-5,000 \cdot 10^{-4} R + 1,020 \cdot 10^{-1}) \times \\ \times t(-4,000 \cdot 10^{-4} R + 6,410 \cdot 10^{-2}). \quad (21)$$

Результаты анализа зависимостей (16)–(21) показывают, что для бездобавочного бетона класса по прочности на сжатие  $C^{20/25}$  для смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 при эксплуатации 50 лет в условиях открытой атмосферы, при изменении содержания цемента ( $\text{Ц} = 306...558 \text{ кг/м}^3$ ) до 58,3%, значения максимальной эксплуатационной величины карбонизации ( $MBK_{\text{э}} = 22,19...32,34\%$ ) – до 37,2%; в условиях общественных зданий ( $MBK_{\text{э}} = 21,89...31,95\%$ ) – до 37,4%; в условиях зданий сельскохозяйственного назначения ( $MBK_{\text{э}} = 22,76...33,52\%$ ) – до 38,2%.

Для смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4 при эксплуатации 50 лет в условиях открытой атмосферы, при изменении содержания цемента ( $\text{Ц} = 266...396 \text{ кг/м}^3$ ) до 39,3%, значения максимальной эксплуатационной величины карбонизации ( $MBK_{\text{э}} = 19,49...25,93\%$ ) – до 28,4%; в условиях общественных зданий ( $MBK_{\text{э}} = 19,24...25,48\%$ ) – до 27,9%; в условиях зданий сельскохозяйственного назначения ( $MBK_{\text{э}} = 19,99...26,01\%$ ) – до 26,2%.

### Выводы

1. Полученные результаты показывают, что максимальная карбонируемость бетона зависит от его состава (в первую очередь – от количества использованного цемента) и эксплуатационных условий.

2. Для бетона одного класса по прочности на сжатие, в пределах одной отпускной прочности, как для подвижных, так и для жестких смесей максимальная карбонируемость значительно отличается.

3. Полученные результаты исследований позволяют уже на стадии проектирования бетонных и железобетонных элементов оценивать коррозионную способность бетона по принятому (рассчитанному) составу бетона и прогнозировать его максимальное коррозионное состояние.

### Список литературы

1. Czarniecki L., Woyciechowski P. Modelling of concrete carbonation; is it a process unlimited in time and restricted in space? Bulletin of the Polish academy of sciences technical sciences. 2015. Vol. 63. No 1. P. 43–54.

2. Карапетов Э.С., Шестовицкий Д.А. Прогноз срока службы железобетонных мостов на основе модели процесса карбонизации защитного слоя // Современные технологии – транспорту: Известия Петербургского университета транспорта. 2016. № 1. С. 14–24.

3. Haselbach L. and Thomas A. Carbon sequestration in concrete sidewalk. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 54. P. 47–52.

4. Zhiguan N., Ri Y. Experimental Investigation of Concrete Carbonation under Different Condition. Study of Civil Engineering and Architecture (SCEA). 2013. Vol. 2. No 4. P. 114–117.

5. Morandea A., Thiery M., Dangla P. Investigation of the carbonation mechanism of CH and CSH in terms of kinetics, microstructure changes and moisture properties. Cem. Concr. Res. 2014. P. 153–170.

6. Васильев А.А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона: монография. Гомель, 2019. 215 с.

7. Васильев А. А. Экспресс-метод определения карбонатной составляющей (показателя КС) цементно-песчаной фракции бетона // «European Research»: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции. Пенза: Издательство МЦНС «Наука и просвещение», 2019. С. 29–34.

8. Бабицкий В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона: дис. ... докт. техн. наук. БНТУ. Минск, 2005. 540 с.

УДК 004.89

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ТЕКСТУ

Левин А.О., Белов Ю.С.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, филиал в г. Калуга,  
Калуга, e-mail: iu4-kf@mail.ru*

Нейронные сети используют практически во всех сферах человеческой деятельности, предлагая различные решения для многочисленного спектра задач. Распространенной задачей является генерация изображений. Дополнительным параметром в данной задаче является использование технологии генерации изображений по тексту (Text-To-Image). С основой на результаты многочисленных работ был произведен анализ нескольких моделей генеративно-сопоставительных сетей, использующих технологию Text-To-Image, с рассмотрением их архитектуры, процесса обучения и влияния на непосредственный процесс генерации изображений с его последующими результатами. Целью работы является исследование архитектуры, концепций обучения и принципов работы генеративно-сопоставительных сетей для генерации изображений по тексту (Text-To-Image). Основываясь на полученных в процессе данной работы данных, считаем, что генеративно-сопоставительные сети являются хорошим подходом к решению задач генерации изображений по тексту, подразумевающих использование технологии Text-To-Image, несмотря на небольшие затруднения как в процессе непосредственного обучения, так и в процессе последующего использования – генерации изображений, ввиду ограниченного разнообразия выборок, что зачастую приводит к большим временным затратам. Однако данные недостатки компенсируются точностью и качеством результирующих изображений, что подтверждает обоснованность их применения для такого рода задач.

**Ключевые слова:** генеративно-сопоставительные сети, генерация изображений, генерация изображений по тексту

## APPLICATION OF GENERATIVE-ADVERSARIAL NETWORKS TO TEXT TO IMAGE GENERATION

Levin A.O., Belov Yu.S.

*Bauman Moscow state technical University, Kaluga branch, Kaluga, e-mail: iu4-kf@mail.ru*

Neural networks are used in almost all spheres of human activity, offering various solutions for a wide range of tasks. A common task is to generate images. An additional parameter in this task is the use of Text-To-Image technology. Based on the results of numerous works, an analysis was made of several models of generative adversarial networks using Text-To-Image technology, considering their architecture, learning process and influence on the direct process of image generation with its subsequent results. The aim of the work is to study the architecture, learning concepts and operating principles of generative adversarial networks for Text-To-Image generation. Based on the data obtained in the course of this work, generative adversarial networks are a good approach to solving the problems of generating images from text, using the Text-To-Image technology, despite minor difficulties both in the process of direct learning and in the process of subsequent use. – image generation, due to the limited variety of samples, which often leads to large time costs. However, these shortcomings are compensated by the accuracy and quality of the resulting images, which confirms their justification for applications for this kind of tasks.

**Keywords:** generative adversarial networks, image generation, text-to-image

В настоящее время нейронные сети стремительно развиваются, расширяя свое влияние практически на все сферы человеческой деятельности, предлагая различные решения для многочисленного спектра задач. Одной из таких задач является генерация изображений – сфера искусственного интеллекта, в рамках которой компьютеры обучаются интерпретировать визуальный мир. Дополнительным параметром в данной задаче является использование технологии генерации изображений по тексту (Text-To-Image). Ввиду этого применение генеративно-сопоставительных сетей (GAN) позволит успешно и стабильно решать данную задачу.

Цель исследования – исследовать архитектуру, концепции обучения и принципы работы генеративно-сопоставительных сетей для генерации изображений по тексту (Text-To-Image).

**Общая информация о генеративно-сопоставительных сетях.** Генеративно-сопоставительные сети (GAN) – это алгоритмические архитектуры, которые используют две нейронные сети, противопоставляя одну другой для создания новых синтетических экземпляров данных, которые можно принять за реальные данные [1]. Они широко используются в таких сферах, как: генерации изображений, генерации видео и генерации голоса.

Потенциал генеративно-сопоставительных сетей (GANs) огромен, они могут научиться имитировать любое распределение данных благодаря самому процессу состязания одной сети с другой. То есть генеративно-сопоставительные сети можно научить создавать изображения, максимально приближенные к реальности.

**Общие принципы обучения моделей генерации изображений (T2I).** Любые модели,

используемые для генерации изображений по тексту, обучаются на больших наборах данных, представляющих собой наборы пар (текст, изображение), то есть изображения с текстовыми подписями (описанием) [2].

Самым распространенным набором данных, используемым для обучения моделей генерации изображений, является упомянутый ранее набор COCO (Common Objects in Context), состоящий из 123 000 изображений различных объектов, с пятью текстовыми описаниями к каждому изображению [3].

Также в области генерации изображений были разработаны метрики количественной оценки (например, R-точность (R-precision), визуально-семантическое сходство и семантическая точность результирующего объекта), которые были введены специально для оценки качества моделей генерации текста в изображение, а именно: T2I – Text To Image [4] (рис. 1).

**Принцип работы и обучения генеративно-сопоставительных сетей.** Рассмотрим детально генеративно-сопоставительные сети. Они состоят из двух нейронных сетей:

генераторной сети  $G(z)$  с шумом  $z \sim p_z$ , выбранным из предыдущего распределения шума, и дискриминаторной сети  $D(x)$ , где  $x \sim p_{data}$  реальные изображения, а  $x \sim p_g$  – сгенерированные изображения соответственно [5].

Обучение представляет собой взаимодействие двух нейронных сетей, в которой одна нейронная сеть, называемая генератором, генерирует новые экземпляры данных, а другая, дискриминатор, оценивает их на подлинность. Другими словами, дискриминатор решает, принадлежит ли каждый экземпляр данных, которые он просматривает, фактическому набору обучающих данных или нет (рис. 2).

Обучение можно определить как мини-максную игру двух игроков (правило принятия решений, используемое в теории игр) с функцией  $V(D, G)$ , где дискриминатор  $D(x)$  обучается максимизировать логарифмическую вероятность, присваивая ей правильный класс, в то время как генератор  $G(z)$  обучается минимизировать вероятность того, что дискриминатор  $\log(1 - D(G(z)))$  классифицирует его как фальшивый [6]:

$$\min \max V(D, G) = E_{x \sim p_{data}} [\log D(x)] + E_{z \sim p_z} [\log(1 - D(G(z)))]$$

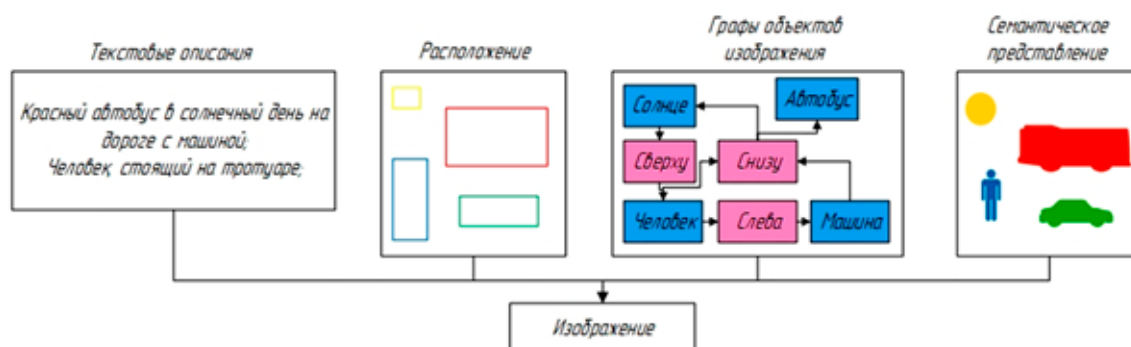


Рис. 1. Виды аннотаций, используемых для генерации изображений по тексту

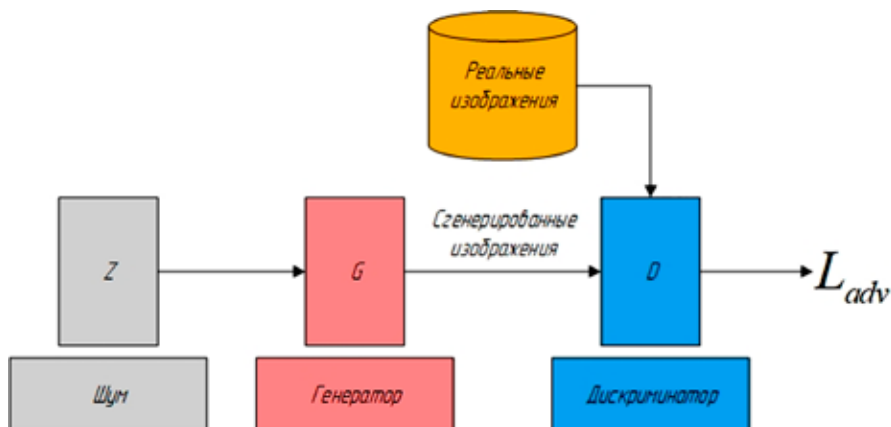


Рис. 2. Принцип обучения генеративно-сопоставительной сети

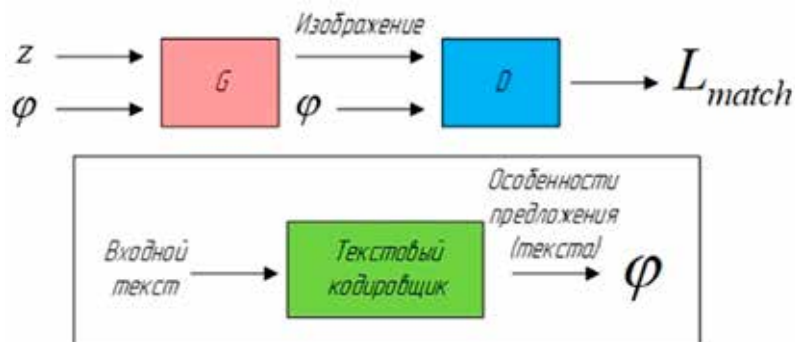


Рис. 3. Принцип работы технологии генерации изображения по тексту в генеративно-сопоставительных сетях

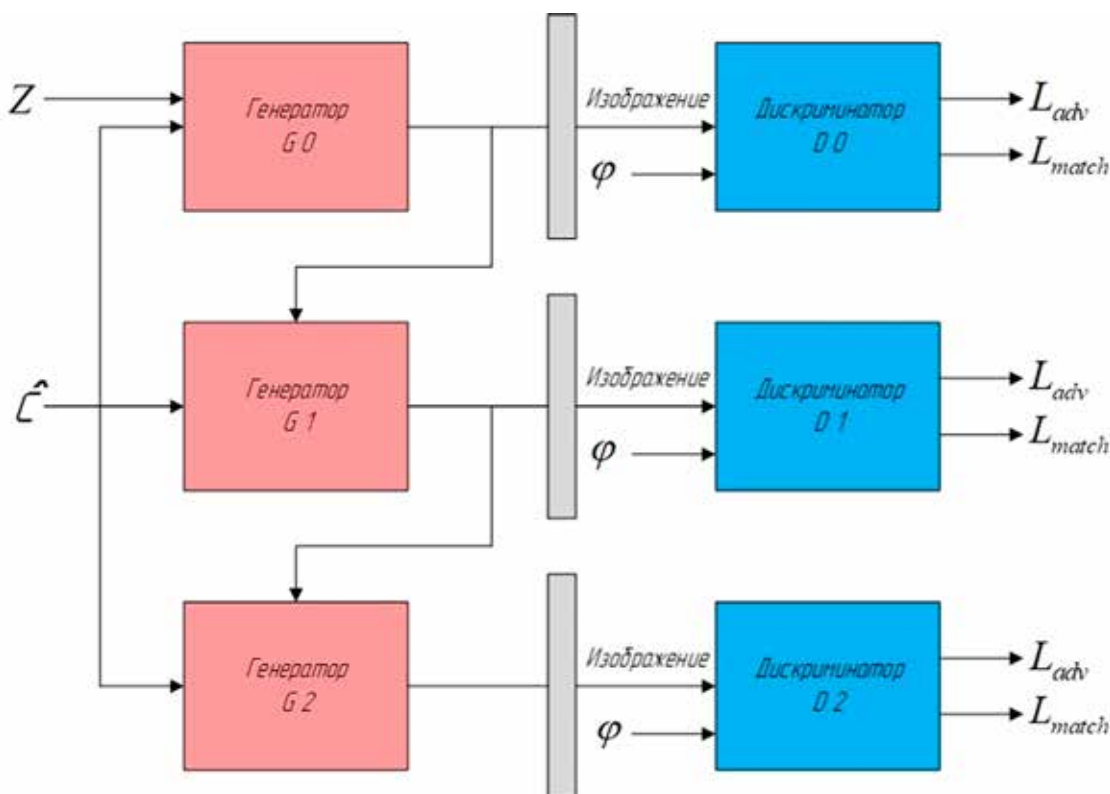


Рис. 4. Архитектура генеративно-сопоставительной сети StackGAN++

**Использование технологии генерации изображения по тексту (Text To Image).**

Первый подход T2I обуславливает процесс генерации анализа всего предложения, полученного из предварительно обученного текстового кодировщика.

Дискриминатор обучен различать реальные и сгенерированные пары «изображение – текст». Следовательно, модель T2I является естественным расширением генеративно-сопоставительной сети в том смысле, что условие на метке класса  $Y$  просто заменяется текстовым вложением  $\varphi$  (рис. 3).

В глубокой сверточной генеративно-сопоставительной сети (GAN-INT-CLS) в качестве входных данных для дискриминатора используются три разные пары:

- реальное изображение с совпадающим текстом;
- сгенерированное изображение с соответствующим текстом;
- реальное изображение с несовпадающим текстом.

Такой подход заставляет и генератор, и дискриминатор не только фокусироваться на реалистичных изображениях, но и сравнивать их с входным текстом [7].

Однако ранние версии GAN-INT-CLS могли генерировать только изображения с низким разрешением  $64 \times 64$  пикселя.

Чтобы модели, основанные на генеративно-состязательных сетях, могли генерировать изображения с более высоким разрешением, необходимо использовать обновленную архитектуру, включающую в себя несколько объединенных генераторов – StackGAN.

В StackGAN на первом этапе генерируется грубое изображение размером  $64 \times 64$  пикселя с учетом вектора случайного шума и вектора обработки текста. Это исходное изображение и текст поступают во второй генератор, который выводит изображение уже размером  $256 \times 256$  пикселей [8]. На обоих этапах дискриминатор обучается различать совпадающие и не совпадающие пары «изображение – текст».

StackGAN++ еще больше улучшил архитектуру с помощью сквозной структуры, в которой три генератора и дискриминатора совместно обучаются для одновременной аппроксимации многомасштабных, условных и безусловных распределений изображений [9] (рис. 4).

**Применение генеративно-состязательных сетей для генерации изображений по тексту.** Рассмотрим пример, в котором необходимо сгенерировать написанные от руки цифры, подобные тем, которые можно найти в открытом наборе данных. Цель дискриминатора при отображении экземпляра из истинного набора данных состоит в том, чтобы распознать те, которые являются подлинными (рис. 5).

Тем временем генератор создает новые синтетические изображения, которые

он передает дискриминатору. Это делается с расчетом на то, что они тоже будут считаться подлинными, даже если они – сгенерированные нейронной сетью поддельные. Цель генератора – генерировать максимально приближенные к реальности рукописные цифры. Цель дискриминатора – идентифицировать изображения, поступающие от генератора, как фальшивые или же попросту неудачные, то есть некачественные [10] (рис. 6).

Сам же алгоритм данного процесса заключается в следующем:

1. Генератор принимает случайные числа и возвращает изображение.
2. Сгенерированное изображение подается в дискриминатор вместе с потоком изображений, взятых из фактического, достоверного набора данных.
3. Дискриминатор принимает как настоящие, так и поддельные изображения и возвращает число от 0 до 1, где 1 представляет собой прогноз подлинности, а 0 представляет подделку.

Вследствие этого данная модель обучается распознавать правдоподобные изображения, благодаря чему она сможет уже сама синтезировать необходимые изображения такого типа, при этом максимально приближенные к настоящим.

Такие результаты обеспечиваются за счет долгого и последовательного обучения нейронной сети, что отчасти является недостатком стандартных генеративно-состязательных сетей, поскольку процедура состязательного обучения внутри таких моделей проблематично масштабируется для моделирования сложных мультимодальных распределений.

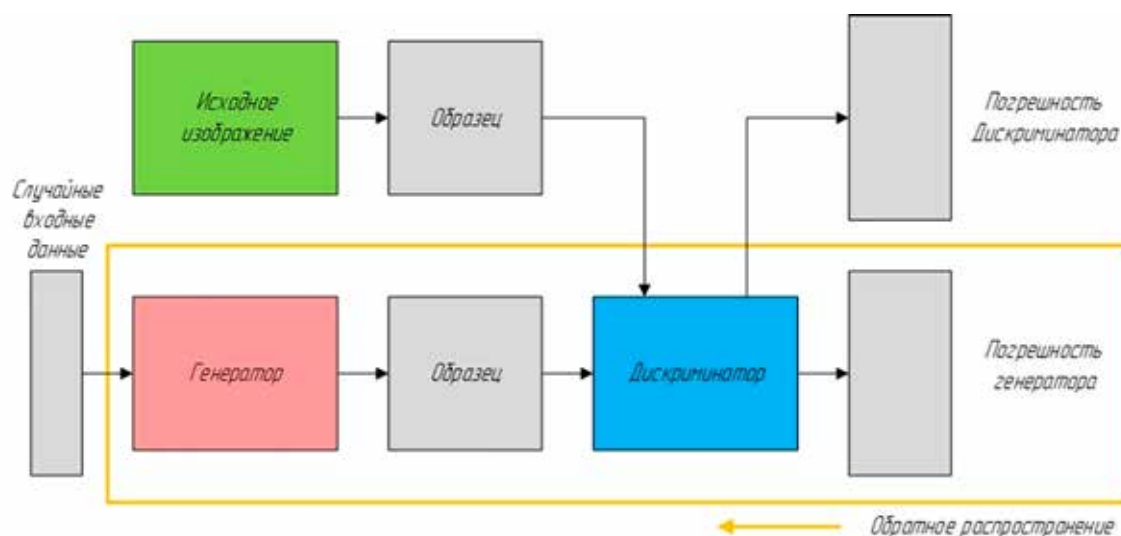


Рис. 5. Принцип работы генеративно-состязательной сети для генерации изображений



Рис. 6. Пример сгенерированных изображений цифр при помощи генеративно-сопоставительной сети

### Заклучение

Таким образом, генеративно-сопоставительные сети являются хорошим подходом к решению задач генерации изображений по тексту, подразумевающих использование технологии Text To Image, обеспечивая при этом достойные результаты в виде сгенерированных изображений, зачастую достаточно точно отображающих объекты, упомянутые текстовым описанием на этапе ввода данных.

Несмотря на внушительные результаты, большинство моделей, основанных на генеративно-сопоставительных нейронных сетях, зачастую имеют небольшие затруднения как в процессе непосредственного обучения, так и в процессе последующего использования – генерации изображений, ввиду ограниченного разнообразия выборов, что зачастую приводит к большим временным затратам, а в рамках масштабных нейронных сетей, которые обучаются на сотнях миллионов входных изображений, это приводит к замедлению процесса создания конечной модели. Однако данные недостатки компенсируются точностью и качеством результирующих изображений, что подтверждает обоснованность их применения для такого рода задач.

### Список литературы

1. Zhang C., Peng Y. Stacking VAE and GAN for Context-aware Text-to-Image Generation. 2018 IEEE Fourth International Conference on Multimedia Big Data (BigMM). 2018. P. 1-5. DOI: 10.1109/BigMM.2018.8499439.

2. Dong H., Zhang J., Mellwraith D. I2T2I: Learning text to image synthesis with textual data augmentation. 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2017. P. 2015-2019. DOI: 10.1109/ICIP.2017.8296635.

3. Yanagi R., Togo R., Ogawa T. Scene Retrieval Using Text-to-image GAN-based Visual Similarities and Image-to-text Model-based Textual Similarities. 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). 2019. P. 13-14. DOI: 10.1109/GCCE46687.2019.9015366.

4. Sun J., Zhang B. MCA-GAN: Text-to-Image Generation Adversarial Network Based on Multi-Channel Attention. 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). 2019. P. 1845-1849. DOI: 10.1109/IAEAC47372.2019.8997584.

5. Frolov S., Hinz T., Raue F. Adversarial Text-to-Image Synthesis: A Review. Neural Networks. 2021. V. 144. P. 187-209. DOI: 10.1016/j.neunet.2021.07.019.

6. Jeon E., Kim K., Kim D. FA-GAN: Feature-Aware GAN for Text to Image Synthesis. 2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2021. P. 2443-2447. DOI: 10.1109/ICIP42928.2021.9506172.

7. Liao W., Hu K., Rosenhahn B. Text to Image Generation with Semantic-Spatial Aware GAN. 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022. P. 18166-18175. DOI: 10.1109/CVPR52688.2022.01765.

8. Zhang H. StackGAN++: Realistic Image Synthesis with Stacked Generative Adversarial Networks. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2019. V. 41. No. 8. P. 1947-1962. DOI: 10.1109/TPAMI.2018.2856256.

9. Zhang H. StackGAN: Text to Photo-Realistic Image Synthesis with Stacked Generative Adversarial Networks. 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2017. P. 5908-5916. DOI: 10.1109/ICCV.2017.629.

10. Халтурин Е., Макарец А. Генеративно-сопоставительные сети: комбинирование нейронных сетей для стимулирования обучения и облегчения вычислительной нагрузки // Математика и математическое моделирование: сборник материалов XIII Всероссийской молодежной научно-инновационной школы. 2019. С. 297-299.



## ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Медведев А.В.

*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,  
e-mail: alexm\_62@mail.ru*

Статья посвящена описанию концепции моделирования и построению оптимизационной математической модели оценки экономической эффективности информационно-технологических проектов, рассматриваемых как инвестиционные проекты. В этой связи автор ориентируется на применение традиционных финансово-аналитических методов оценки, использующих показатели чистой приведенной стоимости, внутренней нормы рентабельности и периода окупаемости инвестиционного проекта. Анализируются некоторые особенности информационно-технологических проектов, в частности особенность, связанная с невозможностью рассматривать доходы проекта как систематическую продажу ИТ-продукции (ИТ-товара и/или ИТ-услуги). В предлагаемой автором модели рассматриваются характеристики продукции, основных средств и рыночного окружения проектов, критерий эффективности в форме максимизации добавленной к инвестициям стоимости, инвестиционные, производственные и финансовые ограничения циркулирующих в модели потоков. Построение модели осуществляется в соответствии с принципом модельной и информационно-технологической сбалансированности, заключающемся в требовании соответствия сложности модели возможностям автоматизированных программных комплексов осуществить ее анализ в реальных условиях большого количества видов ИТ-продукции. Для поддержки принятия инвестиционных решений принципиально используется оптимизационный подход, позволяющий выявить инвестиционный потенциал (максимум инвестиционных возможностей) как величину добавленной к инвестициям стоимости информационно-технологического проекта. В этой связи в работе строится и обсуждается модель в форме многопараметрической задачи линейного оптимального управления, имеющей хорошо разработанные методы анализа и соответствующей вышеуказанному принципу сбалансированности.

**Ключевые слова:** информационно-технологический проект, инвестиционный проект, оценка экономической эффективности, экономико-математическая модель, информационно-технологическая продукция

## AN OPTIMIZATION MODEL FOR ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF INFORMATION TECHNOLOGY PROJECTS

Medvedev A.V.

*Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: alexm\_62@mail.ru*

The article is devoted to the description of the concept of modeling and the construction of an optimization mathematical model for evaluating the economic efficiency of information technology projects considered as investment projects. In this regard, the author focuses on the use of traditional financial and analytical methods of evaluation, using indicators of net present value, internal rate of return and the payback period of an investment project. Some features of information technology projects are analyzed, in particular, the feature associated with the impossibility of considering project income as a systematic sale of IT products (IT goods and/or IT services). The model proposed by the author considers the characteristics of products, fixed assets and the market environment of projects, the efficiency criterion in the form of maximizing the value added to investments, investment, production and financial restrictions on the flows circulating in the model. The construction of the model is carried out in accordance with the principle of model and information technology balance, which consists in the requirement that the complexity of the model must correspond to the capabilities of automated software systems to carry out its analysis in real conditions of a large number of types of IT products. To support the adoption of investment decisions, an optimization approach is fundamentally used, which makes it possible to identify the investment potential (maximum investment opportunities) as the value of the information technology project value added to the investment. In this regard, the paper builds and discusses a model in the form of a multi-parameter linear optimal control problem, which has well-developed methods of analysis and corresponds to the above balance principle.

**Keywords:** information technology project, investment project, economic efficiency assessment, economic and mathematical model, information technology products

В настоящее время, в связи с бурным развитием информационного общества и цифровой экономики, сопровождающимся значительным ростом масштабов электронного бизнеса, оказания разнообразных услуг электронного характера, формируются мощные потоки инвестиций в соответствующие информационно-технологические проекты (ИТ-проекты), которые

можно рассматривать [1, 2] как частный случай инвестиционных проектов (ИП) с соответствующим выбором совокупности методов оценки – классических, затратных, вероятностных, экспертных и др. [3–5]. Данное обстоятельство, в частности, требует разработки новых инструментов оценки экономической эффективности ИТ-проектов – математических моделей, ме-



тодов, автоматизированных информационно-аналитических комплексов – что делает высокими актуальность и практическую значимость исследований в данной сфере. Рынок автоматизированных финансово-аналитических программных комплексов, позволяющих осуществлять экономическую оценку инвестиционных проектов, достаточно развит. Хорошо известны российские (например, Project Expert, Альт-Инвест, ИНЭК-Аналитик, ELMA и др.) и зарубежные (например, SAP) разработки. Использование указанных комплексов основано на автоматизированной обработке информации, получаемой из имитационных моделей (в математическом смысле представляющих собой большие системы дифференциальных или разностных соотношений) производственной деятельности организаций, которые, с одной стороны, характеризуются высоким уровнем детализации материальных и финансовых потоков предприятия, а с другой, обладают существенными для оценки ИТ-проектов недостатками: 1) не предназначены для получения оптимальных значений параметров и показателей эффективности; 2) как правило, требуют большого (заранее не известного и, возможно, недостижимого в обозримом будущем) количества численных реализаций параметров моделей для того, чтобы лишь «нащупать» хорошие сценарии, и, вообще говоря, не гарантируют их оптимальности. Иначе говоря, имитационные модели не ориентированы на выявление экономического потенциала деятельности по производству продукции (товаров или услуг), следствием чего является невозможность оценить качество полученных реализаций проектов и принятие обоснованных решений по ним. С другой стороны, имеющиеся оптимизационные комплексы оценки экономической эффективности инвестиционных проектов (как правило, не представленные на рынке) либо основаны на моделях (например, с нелинейностями в ограничениях или критериях), автоматизированная обработка информации в которых при практически значимых размерностях затруднена, либо имеют другие недостатки, не удовлетворяющие целевую аудиторию конечных пользователей (например, используют излишне идеализированные или агрегированные производственные функции типа функции Кобба – Дугласа, информационно избыточную базу характеристик проекта, описывающих производственную или окружающую рыночную среду, недостаточно дружественный интерфейс и др.) [6].

В данной статье разрабатывается оптимизационная математическая модель

оценки экономической эффективности ИТ-проектов в форме линейной задачи оптимального управления, ориентированная на применение классических методов их анализа (чистой приведенной стоимости, внутренней нормы рентабельности, периода окупаемости и др.).

### Материалы и методы исследования

Рассмотрим некоторые элементы концепции, информационного и алгоритмического обеспечения анализа ИТ-проектов, ориентированные на использование оптимизационного подхода при решении задач оценки их экономической эффективности. Предварительно заметим, что комплекс инструментов, включающий математические модели, методы их анализа и системы поддержки принятия решений, должен быть сбалансирован с точки зрения решения прикладных задач оценки эффективности ИТ-проектов. Иначе говоря, построенные модели должны адекватно отражать свойства изучаемой системы и иметь эффективные методы их теоретического и численного анализа, а соответствующие пакеты программ – базироваться на современных ИТ-платформах и обладать дружественным конечному пользователю интерфейсом для автоматизированного ввода-вывода, обработки и прикладного анализа полученной информации. Такой подход можно кратко назвать системным подходом, построенным на принципах информационно-аналитической и инструментальной сбалансированности [6]. При использовании оптимизационных моделей и алгоритмов для экономического анализа ИТ-проектов важными свойствами информационной базы должны являться, с одной стороны, минимальность набора характеристик ОПФ и производимой продукции, а с другой, ее достаточность для получения доходных и расходных потоков, циркулирующих при функционировании ИТ-проектов, в соответствии с заданными алгоритмами, концептуально соответствующими бухгалтерским правилам расчета, принятым в Российской Федерации [7]. Конкретный вид продукции (товара и/или услуги), производимой в ИТ-проекте, определяется социальной и/или экономической сферой его реализации (товарное производство, коммерция, государственное управление, финансы, управление социальными процессами и пр.). В этой связи далее будем исходить из того, что информационное обеспечение анализа ИТ-проектов целесообразно осуществлять при наличии экспертной экономико-статистической информации следующего содержания.

1. Характеристики основных производственных фондов (ОПФ) ИТ-проектов: количество, стоимость, производительность и срок полезного использования единицы/комплекта производственного оборудования, объекты интеллектуальной собственности, недвижимости и т.п. При этом можно выделить следующие особенности ОПФ ИТ-проектов. Если ИТ-проект предполагает разработку АИТ как конечный результат, то в качестве ОПФ в нем рассматриваются научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР), программное и аппаратное обеспечение для ее создания. В случае проекта, использующего АИТ как технологию поддержки предоставления услуг, в качестве ОПФ рассматриваются программное и аппаратное обеспечение для предоставления услуг, которое, в частности, может включать и саму АИТ. В том и в другом случае доля стоимости нематериальных активов (концепций, идей, ноу-хау, алгоритмов, программных кодов и пр.) является очень большой по сравнению с используемыми материальными активами (недвижимостью, оборудованием, компьютерами, линиями связи, аппаратными комплексами, периферийными устройствами и пр.).

2. Характеристики ИТ-продукции (ИТ-товаров и/или ИТ-услуг), к которым можно отнести оценки цены единицы продукции, себестоимости, спроса. В качестве ИТ-продукции рассматриваются, как правило, либо сама АИТ, либо другая продукция (товар и/или услуга) ИТ-проекта, производство которой подразумевает использование информационных технологий. Следует отметить, что такая характеристика ИТ-продукции, как спрос, в основном определяется внешними к ИТ-проекту условиями.

3. Характеристики внешней рыночной среды ИТ-проектов: характерные горизонты планирования, ставки дисконтирования, структура финансирования, формы налогообложения, формы, объемы и ставки кредитования и пр.

В соответствии с указанными принципами введем следующие обозначения параметров, характеризующих ОПФ, продукцию и рыночное окружение ИТ-проекта:  $n$  – количество видов производимой ИТ-продукции и ОПФ для ее производства (которые совпадают в соответствии с принципом чистых отраслей), шт.;  $k=1, \dots, n$  – порядковый номер ОПФ (производственного предприятия, отрасли, направления экономической деятельности, использующих АИТ);  $P_k$  – цена единицы продукции, денежных единиц (д.е./ед.пр.);  $q_k$  – спрос на продукцию (д.е.);  $c_k$  – стоимость единицы ОПФ

(д.е./ед.ОПФ);  $T_k$  – срок службы (время полезного использования) ОПФ (лет);  $V_k$  – производительность ОПФ (ед.прод./ед.ОПФ); шт.;  $\delta_k = P_k V_k / c_k$  – фондоотдача  $k$ -го ОПФ;  $\beta_k$  – доли выделяемой на ФОТ общепроизводственных затрат при производстве  $k$ -й продукции ИТ-проекта (зарплатоемкость производства);  $p_k$  – доли материальных затрат при производстве  $k$ -й ИТ-продукции (материалоемкость производства). Рассмотрим также следующие показатели, характеризующие особенности реализации и рыночного окружения ИТ-проекта:  $T$  – горизонт планирования (лет);  $I_{max}$ ,  $Cr_{max}$ ,  $Dot_{max}$ ,  $DS^0$  – соответственно максимальные значения инвестиций, кредитов, дотаций и собственных средств (д.е.);  $r$  – ставка дисконтирования,  $r_e = rT / (1 - (1+r)^{-T}) - 1$  – эффективная ставка дисконтирования на горизонте  $T$ , в предположении равномерности распределения на нем доходных и расходных потоков ИТ-проекта;  $\alpha_{1, 2, 3, 4, 5}$  – соответственно ставки налога на добавленную стоимость, на имущество, на прибыль, страховых взносов в социальные фонды, а также других, налоговых и неналоговых, пропорциональных объемам производства, затрат предприятия, использующего АИТ для производства своей продукции (ИТ-предприятия). Используя введенные характеристики активов и продукции, можно рассчитать доходные и расходные потоки деятельности ИТ-предприятия, необходимые для прогнозирования экономической эффективности его деятельности. Отметим, что в случае использования АИТ в рамках инвестиционного проекта по производству конкретной продукции (товара и/или услуги) она рассматривается как ОПФ в нематериальной форме и, очевидно, как средство снижения производственных издержек за счет: 1) автоматизации технологических процессов, 2) автоматизированной обработки учетной информации, 3) автоматизации извлечения информации из данных, знаний из информации, ведущей к снижению затрат на НИОКР, и, на основе этого, принятия более эффективных управленческих решений. Если же АИТ разрабатывается для автоматизированной обработки задач документооборота (управленческой, учетной и т.п. информации), то классические для производственных предприятий и их инвестиционных проектов потоки доходов, в виде систематически извлекаемой прибыли, зачастую отсутствуют. Измерение экономической эффективности таких ИТ-проектов, на наш взгляд, можно осуществлять с учетом следующих соображений. В отсутствие автоматизации технологических процессов, обработки учетной информации и т.п.

управление ими на предприятии осуществляется в неавтоматизированном виде, путем найма значительного количества рабочих, менеджеров, бухгалтеров, инженеров, ученых, лаборантов, требующих соответствующего фонда оплаты их труда (ФОТ). Использование АИТ позволяет высвободить указанный персонал и как минимум получать экономию затрат на их ФОТ. Так как ФОТ рассчитывается как сумма потоков оплаты труда указанных категорий работников, в качестве систематической «прибыли» можно рассматривать ежемесячную экономию ФОТ, тем самым сохраняя общепринятый алгоритм расчета доходно-расходных потоков в инвестиционно-производственных проектах и рассматривая доход в таком ИТ-проекте как произведение средней ставки оплаты труда высвобождаемых работников на их количество. При этом в качестве цены единицы продукции рассматривается показатель  $P_k$ , а показатель производительности  $V_k$  ОПФ может быть принят, например, за единицу. В таком случае очевидно, что такая затратная составляющая ИТ-проекта, как ФОТ указанных категорий работников, должна быть исключена из списка текущих производственных расходов по проекту и заменена на какую-либо оценку затрат на оплату труда разрабатывающих и сопровождающих АИТ программистов, например, как долю всех текущих производственных затрат (амортизации, оплаты труда программистов и отчислений в социальные фонды, электроэнергии и других затрат). Такой подход к оценке ИТ-проектов, на наш взгляд, не противоречит экономической теории, считающей труд, наравне с капиталом, одним из основных факторов производства любой продукции, включая ИТ-продукцию. Впрочем, и сами информационные технологии (автоматизированные управленческие, робототехнические, аналитические и т.п. информационные системы) уже давно являются существенным производственным фактором. Следует отметить, что большинство современных ИТ-предприятий представляют малый и средний бизнес, налогообложение которого осуществляется в разнообразных, в том числе упрощенных, формах. Перечисленный набор ставок налоговых и неналоговых платежей позволяет, путем соответствующего выбора их значений, при необходимости моделировать налоговое окружение с точностью, достаточной для целей оценки эффективности ИТ-проектов.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Введем структурно неоднородный вектор искомым переменных  $X_{(2n+2) \times 1}$ , состоя-

щий из следующих подвекторов и компонент, выраженных в едином, стоимостном измерении (д.е.):  $x_k$  – оптимальный объем инвестиций в  $k$ -й вид ОПФ, с помощью которых производится ИТ-продукция (может трактоваться как совокупность осуществленных вложений в разработку одного экземпляра АИТ, включая НИОКР и необходимые объекты интеллектуальной собственности!);  $x_{n+k}$  ( $k=1, \dots, n$ ) – оптимальный объем выручки от продажи произведенной и реализованной ИТ-продукции  $k$ -го вида (может трактоваться как поток экономии затрат на оплату труда высвобожденных работников!);  $x_{2n+1}$  – оптимальный объем кредитов;  $x_{2n+2}$  – оптимальный объем дотаций. Как показано в [6], указанная структура искомого вектора является достаточной для описания характеристик оптимальных инвестиционной, производственной и финансовой форм деятельности производителя продукции (в том числе ИТ-продукции) в экономической системе. С использованием введенных обозначений, а также описанных ограничений и критериев оценка экономической эффективности ИТ-проекта может быть осуществлена с помощью модели задачи линейного программирования (ЗЛП) вида

$$c_{1 \times (2n+2)} \cdot X_{(2n+2) \times 1} \rightarrow \max A_{K \times (2n+2)},$$

$$X_{(2n+2) \times 1} \leq b_{K \times 1}, \quad X_{(2n+2) \times 1} \geq 0, \quad (*)$$

где  $n$  – количество видов производимой ИТ-продукции (ИТ-товар и/или ИТ-услуга) и видов ОПФ (в соответствии с принципом чистых отраслей), с использованием которых эта продукция производится (компьютеры, программное обеспечение, объекты интеллектуальной собственности),  $K$  – количество ограничений, описывающих инвестиционную, производственную и финансовую деятельность в ИТ-проекте,  $b_{K \times 1}$  – вектор-столбец правых частей ресурсных ограничений,  $c_{1 \times (2n+2)}$  – вектор строки коэффициентов целевой функции,  $A_{K \times (2n+2)}$  – матрица коэффициентов ограничений, где нижние индексы указывают размерности матричных величин. В качестве инвестиционных ограничений при оценке ИТ-проекта могут рассматриваться интегральные (на сумму всех инвестиций) и локальные (инвестиции в производства каждого из  $n$  видов ИТ-продукции) ограничения сверху, в качестве производственных – ограничения на стоимостной объем ИТ-продукции стоимостным спросом на нее или максимальными возможностями ОПФ (определяемыми их производительностью). К финансовым ограничениям можно отнести неотрицательность суммы

(прибыль, кредиты и дотации) собственных средств проекта на горизонте планирования, верхние границы кредитов, дотаций и другие.

С учетом введенных обозначений задача (\*) может быть рассмотрена в следующей матричной форме задачи линейного программирования:

$$A = \left( \begin{array}{ccc|ccc|cc} (1-\alpha_3)\xi_1 & \dots & (1-\alpha_3)\xi_n & (\alpha_3-1)(1-\zeta_1) & \dots & (\alpha_3-1)(1-\zeta_n) & -1 & -1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -\delta_1 & & 0 & & & & 0 & 0 \\ & \dots & & & & E_n & 0 & 0 \\ 0 & & -\delta_n & & & & 0 & 0 \\ & O_n & & & & E_n & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{array} \right),$$

где  $b_{(2n+4) \times 1} = (DS^0; I_{max}; 0, \dots, 0; q_1, \dots, q_n; Cr_{max}; Dot_{max})^T$ ,

$$c_{1 \times (2n+2)} = \frac{T}{1+r_3} \left( (\alpha_3-1)\xi_1 + \frac{T}{T_1} - \frac{1+r_3}{T}, \dots, (\alpha_3-1)\xi_n + \frac{T}{T_n} - \frac{1+r_3}{T}; \right. \\ \left. (1-\alpha_3)(1-\zeta_1), \dots, (1-\alpha_3)(1-\zeta_n); -\frac{r_0(12T_0+1)}{24}, 0 \right),$$

$$\xi_k = \frac{1}{1-p_k - \beta_k - \alpha_4\beta_k} \left( \frac{T}{T_k} + \alpha_2 \left( 1 - \frac{T}{T_k} \right) \right), \quad \zeta_k = \frac{\alpha_1 + \alpha_5}{1-p_k - \beta_k - \alpha_4\beta_k}.$$

Несложно проверить, что вектор  $X_{(2n+2) \times 1} = 0$  является решением задачи (\*). Кроме того, нестрогость всех неравенств задачи говорит о компактности ее допустимого множества и, следовательно, о существовании решения задачи оптимального управления при всех допустимых значениях входящих в нее переменных и параметров. С помощью параметрического анализатора [6], содержащего модули внесения и контроля входной информации, графического, параметрического и многокритериального анализа задачи линейного программирования, показано наличие ненулевых решений, что свидетельствует о возможности дальнейшего автоматизированного анализа построенной модели.

### Заключение

В работе на основе принципа модельной и информационно-технологической сбалансированности построена оптими-

зационная модель оценки экономической эффективности информационно-технологических проектов, основанная на их рассмотрении как инвестиционных проектов в форме задачи линейной оптимизации. Модель ориентирована на разработку автоматизированных систем поддержки принятия оптимальных инвестиционных, производственных и финансовых решений при управлении ИТ-проектами.

### Список литературы

1. Колос Н.В., Ожог С.В., Иовлева О.В. Исследование методических подходов к оценке эффективности ИТ-проектов // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2017. № 6 (67). С. 70–80.
2. Матюнина О.Е. Информационная система как инвестиционный проект // Современные проблемы цивилизации и устойчивого развития в информационном обществе: сборник материалов VII международной научно-практической конференции. М.: Институт развития образования и консалтинга, 2022. С. 71–76.

3. Анисифоров А.Б., Ильин И.В., Ростова О.В. Методики оценки эффективности информационно-технологических проектов в бизнесе: учебное пособие. СПб.: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2018. 127 с.
4. Васильева Е.В., Деева Е.А. Оценка экономической эффективности конкурирующих ИТ-проектов: подходы и математический инструментарий // Управление. 2017. Т. 5. № 4. С. 40–46.
5. Ефимов Е.Н., Лапцкая Е.М. Оценка эффективности мероприятий информационной безопасности в условиях неопределенности // Бизнес-информатика. 2015. № 1 (31). С. 51–57.
6. Медведев А.В. Автоматизированная поддержка принятия оптимальных решений в инвестиционно-производственных проектах развития социально-экономических систем: монография. М.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2020. 200 с. DOI: 10.17513/np.421.
7. Медведев А.В. Применение z-преобразования к исследованию многокритериальных линейных моделей регионального экономического развития: монография. Красноярск: СибГАУ им. акад. М.Ф. Решетнева, 2008. 228 с.

УДК 624.138.4:624.131.3

## УСТРОЙСТВО СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ЗАСОЛЕННЫХ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ КАРБОНАТНОГО ТИПА ЗАСОЛЕНИЯ

Унайбаев Б.Ж., Унайбаев Б.Б., Ищанова А.Ш., Ким Е.Е., Канаева Т.А.

*Экибастузский инженерно-технический институт имени академика К.И. Сатпаева,  
Экибастуз, e-mail: ubks52@mail.ru*

Для устройства фундаментов в засоленных пылевато-глинистых грунтах карбонатного типа засоления предложена буронабивная свая в защитной и несущей оболочке. Авторское право, новизна, эффективность и практическая значимость разработки подтверждены результатами лабораторных и натурных испытаний, а также патентом на изобретение. Технология изготовления сваи в защитной оболочке включает проходку либо пробивку с уплотнением грунта скважины, пропитку раствором силиката окружающего грунта. При пропитке грунт вокруг будущей сваи приобретает новые свойства, образуется изолированная среда. Повышается водонепроницаемость, повышаются прочностные характеристики. Исключается ионный контакт сваи с засоленной грунтовой водой. В случае уплотнения грунта пробивкой повышается несущая способность грунта, что также способствует повышению водонепроницаемости окружающего грунта. Положительной особенностью предлагаемого способа устройства буронабивной сваи с защитной и несущей оболочкой устраиваемой пропиткой околосвайного массива силикатизацией низко концентрированным раствором силиката можно считать их экологическую чистоту, необратимую коррозионную стойкость, водонепроницаемость и водостойкость, оптимальное распределение прочности в околосвайной зоне. Сочетание и комплексное применение известных технологий позволяет гарантировать несущую способность и долговечность набивной сваи в грунтах основания при техногенном воздействии, т.е. гарантирует надежную эксплуатацию сооружения.

**Ключевые слова:** свая, засоленный грунт, технология, агрессивная среда, бетон, модификатор

## ARRANGEMENT OF PILE FOUNDATIONS IN SALINE PULVERIZED CLAY SOILS OF CARBONATE TYPE OF SALINIZATION

Unaybaev B.Zh., Unaybaev B.B., Ischanova A.Sh., Kim E.E., Kanaeva T.A.

*Ekibastuz Engineering and Technical Institute named after Academician K.I. Satpaev,  
Ekibastuz, e-mail: ubks52@mail.ru*

For the construction of foundations in saline dusty clay soils of the carbonate type of salinization, a bored pile in a protective and load-bearing shell is proposed. Copyright, novelty, effectiveness, and practical significance are confirmed by the results of laboratory and field tests, as well as a patent for the invention. The essence of the proposed technology lies in the fact that at the contact of the pile with an aggressive water-salt soil environment, during its manufacture on the construction site, by impregnating the soil with a silicate solution, or compacting the soil by punching or rolling, a protective and load-bearing shell of compacted (fixed) soil of the "insulating" type is formed around the well under the packed pile glasses", which has water resistance, water resistance, increased strength, which prevents ion exchange between the concrete piles and the aggressive environment formed during flooding of built-up areas. A positive feature of the proposed method for the device of a bored pile with a protective and load-bearing shell arranged by impregnation of a near-pile array by silicization with a low-concentrated silicate solution can be considered their ecological purity, irreversible corrosion resistance, water resistance and water resistance, optimal strength distribution in the near-pile zone. The combination and complex application of technologies allows us to guarantee the bearing capacity and durability of the bored pile in the soil of the base under man-made impact, i.e. guarantees reliable operation of the structure.

**Keywords:** pile, saline soil, technology, aggressive environment, concrete, modifier

При возведении зданий и сооружений (ЗС) на засоленных пылевато-глинистых грунтах карбонатного типа засоления (ЗПГТ) согласно регламенту (СП РК 5.01-102-2013 «Основания зданий и сооружений») используют забивные сваи с защитным покрытием. Эффективность применения свайных фундаментов в ЗПГТ определяется незначительной мощностью их залегания (5–10 м), низкой трудоемкостью свайных работ, уменьшением объемов трудоемких земляных работ, повышенной индустриальностью, сокращением сроков строительства, повышением надежности и увеличением эксплуатационных качеств возводимого

объекта. Однако в результате высоких динамических воздействий при забивке стирается защитное покрытие, растрескивается, а порою ломается конструкция сваи, разрушается свайный оголовок. Забить сваю в ЗПГТ естественной влажности и плотности до проектной отметки без нарушения сплошности конструкции (трещинообразования) практически невозможно. Отсюда горы отходов из обломанных конструкций и обрубленных оголовков сваи на строительной площадке. Нарушение сплошности свайной конструкции приводит в дальнейшем в процессе подтопления к активному коррозионному разрушению сваи [1].

Проходка лидирующих скважин для погружения свай экономически нецелесообразна. Набивные сваи в пробитых и раскатанных скважинах в ЗПГГ не регламентируются, так как не решена их защита от коррозии [2; 3].

На стадии застройки территории сложенных ЗПГГ в естественных маловлажных условиях эффективно применение буронабивных свай. Незначительная толщина залегания ЗПГГ, их высокая естественная прочность, малая влажность, слабая коррозионная активность, низкий уровень грунтовых вод на стадии застройки упрощает производство работ по устройству буронабивных свай, потому как стенки скважины при проходке сохраняют устойчивость в течение длительного времени. К тому же стоимость 1 м<sup>3</sup> бетона, уложенного на месте строительства, в 2–3 раза ниже стоимости изготовления конструкции в заводских условиях.

Однако несущая способность и долговечность буронабивной сваи существенно ниже забивной сваи, что обусловлено спецификой их устройства. К тому же уже в процессе укладки, формирования и набора прочности бетон буронабивной сваи подвергается воздействию агрессивной водно-солевой грунтовой среды (АВСГС), которая формируется в основании, сложенном ЗПГГ, в условиях подтопления застроенных территорий.

В рамках единой системы «основание – фундамент – сооружение» (ОФС) неоспоримо влияние процесса эксплуатации (отклик) на изменения свойств ЗПГГ, которые определяют надежность возведенного ЗС. Следует учесть, что повышенное содержание в ЗПГГ основания карбонатов и гипса, их размягчение, растворение и выщелачивание, которое активизируется при воздействии растворов легкорастворимых солей, которые формируются при подтоплении в процессе эксплуатации, ускоряет протекание коррозионных процессов в бетоне конструкции. Соли растворяются, размягчаются, разрушается структура грунта, сформированная солевой цементацией (кристаллизацией), повышается коррозионная активность грунтов и грунтовых вод, ускоряется протекание процесса обмена (коррозия) на разделе фаз «АВСГС – бетон» [4].

Последствия вышеобозначенных процессов в ЗПГГ основаниях способствуют дополнительно развитию суффозионной осадки, просадки, коррозии и в целом снижению несущей способности сваи. Как показали натурные испытания, выщелачивание ЗПГГ приводит к снижению несущей способности буронабивной сваи до 50% [3]. Как показывает строительная практика и натурные

наблюдения на территориях, сложенных ЗПГГ, в городах Атырау, Н. Узень, Темиртау, Караганда, Шымкент и др., через 10–15 лет эксплуатации от буронабивных свай и лестничных полумаршей в подвальном помещении жилых домов от бетона, выполненного на обычных цементах, остаются только лишь ржавая арматура и щебень, т.е. бетон полностью распадается [3].

Обширные исследования по сульфатостойкости цементов и бетонов, устройству защитных оболочек и пропитке свай антикоррозионным материалом, известные в Республике Казахстан, ближнем и дальнем зарубежье, относятся в основном к бетонам, затвердевшим в заводских условиях. Сведения о процессе твердения бетона в АВСГС на строительной площадке, сложенной ЗПГГ, малочисленны и весьма противоречивы [2].

Для надежной эксплуатации ЗС на ЗПГГ необходимо уже на стадии изыскания, проектирования и строительства предусмотреть упреждающие конструктивно-технологические мероприятия (КТМ), предохраняющие в процессе эксплуатации ЗС от развития дополнительных деформаций, снижения несущей способности основания и коррозии фундаментной конструкции. Сложность разработки упреждающих КТМ при устройстве буронабивных свай в ЗПГГ в определенной степени определена заданными параметрами традиционной технологии их устройства, а именно:

- трудностью обеспечения равной плотности и однородности укладки бетона по стволу сваи;
- отсутствием эффективных методов контроля качества укладки бетона по стволу сваи;
- ограничением расчетной величины допускаемых напряжений на сваю до 5 МПа при марке подобранного состава бетона 20–30 МПа, что обосновано техническими нормами ведущих стран в технологии устройства буронабивной сваи (Япония, Франция, Италия и др.).

Упреждающее обеспечение надежной эксплуатации ЗС может быть достигнуто на этапе изыскания и проектирования достоверной оценкой и точностью прогноза изменения свойств ЗПГГ и грунтовых вод в основании в условиях техногенного воздействия с дальнейшей разработкой на базе полученных данных предупредительных КТМ, обеспечивающих надежную эксплуатацию возводимых объектов [2].

При проектировании набивных свайных фундаментов в ЗПГГ следует учитывать возможность снижения их несущей способности при подтоплении, повышения коррозионной активности и сжимаемости, а потому

уже на стадии проектирования и строительства необходимо предусмотреть:

- формирование защитной и несущей оболочки по контуру сваи;
- уплотнение либо закрепление ЗПГГ вокруг сваи для повышения их несущей способности, предотвращения суффозионной сжимаемости и предотвращения коррозионного разрушения;
- повышение прочности и коррозионной стойкости бетона свайной конструкции, путем применения специальных модификаторов (добавок) в бетон и пр. (рис. 1).

#### Материалы и методы исследования

Идейная предпосылка для повышения несущей способности, снижения деформируемости и повышения долговечности набивной сваи в ЗПГГ, подтопляемых в процессе эксплуатации агрессивными водами, представлена на рис. 1.

Повышение несущей способности ЗПГГ вокруг набивной сваи может быть достигнуто его механическим уплотнением путем пробивки или раскатки выемки (скважины) под сваю, формованием сплошной защитной и несущей оболочки между фундаментной конструкцией и уплотненным ЗПГГ путем уплотнения, впрессовывания или набрызга коррозионно-стойкого материала (киров, пластмассовой трубы, битумной мастики и пр.).

Закрепленная водонепроницаемая защитная и несущая оболочка ЗПГГ вокруг буронабивных свай при строительстве может быть сформирована пропиткой ЗПГГ из скважины путем замачивания низкоконцентрированным раствором силиката натрия, который, взаимодействуя с солями, присутствующими в ЗПГГ, увеличивает его прочность, суффозионную устойчивость, водостойчивость, водонепроницаемость вокруг сваи [5].

Технология изготовления сваи в защитной оболочке включает проходку либо пробивку с уплотнением грунта скважины, пропитку раствором силикатом окружающего грунта. При пропитке грунт вокруг будущей сваи приобретает новые свойства, образуется изолированная среда. Повышается водонепроницаемость, повышается прочностные характеристики. Исключается ионный контакт сваи с засоленной грунтовой водой. В случае уплотнения грунта пробивкой повышается несущая способность грунта, что также способствует повышению водонепроницаемости окружающего грунта [3].

Технология пропитки грунтов силикатом натрия – это общеизвестная в строительстве технология односторонней или двухсторонней силикатизации. В практике строительства осуществлялась пропитка котлована под здание, рассчитаны параметры и пр. [5]. Авторами предлагается технология пропитки скважины под сваю, разработаны технологии, оборудование, рассчитаны необходимые параметры силикатизации, разработаны рекомендации, зарегистрирован патент на изобретение [2].

Эксплуатационные свойства бетонных свай в агрессивных средах определяет качество бетона. Одним из эффективных способов повышения коррозионной стойкости бетона в агрессивных средах является повышение его плотности путем снижения общей пористости, создания замкнутой капиллярно-поровой структуры, а также придания бетону гидрофобных свойств. Это достигается путем применения различного рода добавок [6; 7]. Для повышения коррозионной стойкости бетона буронабивной сваи в ЗПГГ был предложен комплексный модификатор (КМ-С) с применением извести, поливинилацетата и отходов спиртового производства [4].

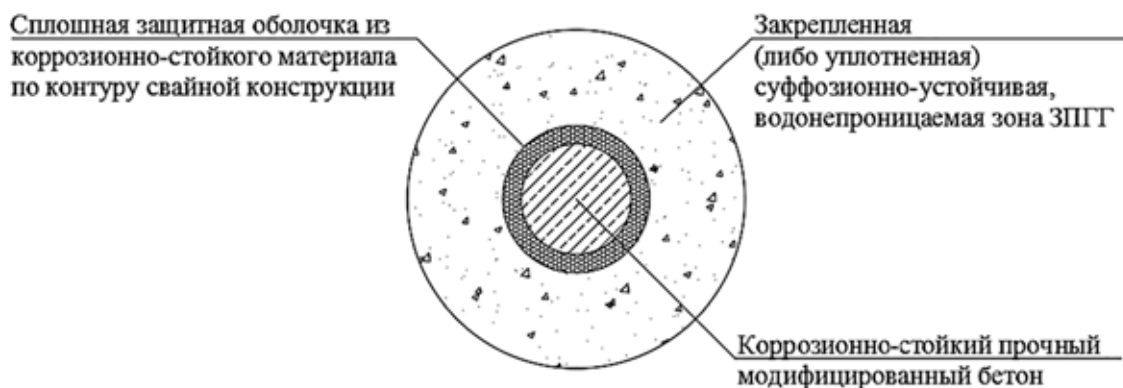


Рис. 1. Идейная предпосылка для повышения несущей способности, снижения деформируемости и повышения долговечности набивной сваи в ЗПГГ



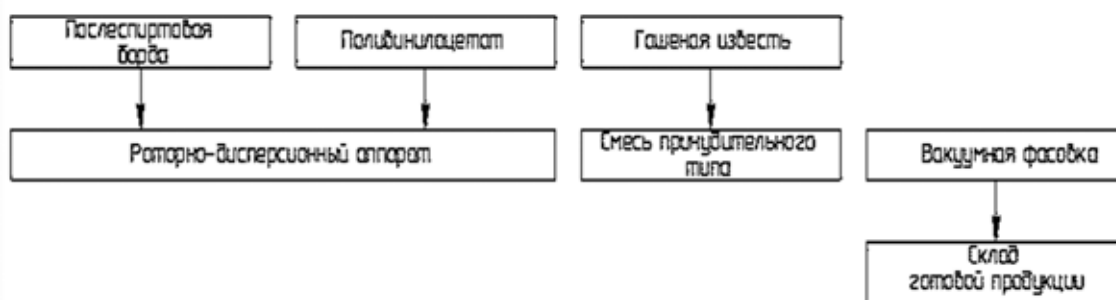


Рис. 2. Технологическая схема производства модификатора КМ-С

Определение влияния добавки модификатора на свойства цементного вяжущего велось согласно ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема», ГОСТ 30744-2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка». Для изготовления комплексного модификатора экспериментальным путем были подобраны следующие сырьевые материалы в оптимальном соотношении: гашеная известь 45%, поливинилацетатный 15%, отход спиртового производства послеспиртовая барда 40%. Проведен сравнительный анализ изменения качественных характеристик цемента при введении в него комплексного модификатора. Оптимальное содержание добавок 0,5% от массы цемента было определено экспериментально методом математического планирования эксперимента и обработкой результатов по статичной методике.

При отработке технологии производства комплексного модификатора КМ-С были учтены свойства каждого компонента. Технологическая схема получения комплексного модификатора представлена на рис. 2, согласно которой для качественного перемешивания компонентов и большей эффективности необходимо соблюдать определенную последовательность. Послеспиртовая барда и водорастворимый полимер перемешиваются в роторно-дисперсионном аппарате до получения жидкой эмульсии, так как с помощью эмульсии можно достичь эффективного перемешивания с гашеной известью в смесителе принудительного типа. Учитывая пластифицирующие свойства послеспиртовой барды и гидрофобизирующие свойства водорастворимого полимера, достигается комплексный гидрофильно-гидрофобный эффект, а гашеная известь позволяет стабилизировать водородный показатель послеспиртовой барды. Вакуумная фасовка позволяет сохранить все компоненты в виде однородной пасты с сохранением качественных показателей.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования сроков схватывания и начала твердения образцов представлены в табл. 1. Испытывались контрольные образцы и образцы с модификатором, где часть цемента заменялась комплексным модификатором. Оптимальное количество модификатора составило 0,5% от массы цемента.

Таблица 1

Влияние комплексного модификатора на сроки схватывания и твердения цемента М450

№ п/п	Образец	При температуре 21 °С	
		Начало схватывания, ч/мин	Конец схватывания, ч/мин
1	Контрольный	2	4:20
2	С КМ-С	1:50	3:30

Процесс схватывания цемента с модификатором и без него имеет незначительные различия, однако твердение цемента с добавкой происходит интенсивнее на 20%. Это значительно ускоряет технологический процесс набора прочности бетона при устройстве набивных бетонных свай. Результаты испытания прочностных свойств образцов цемента с модификатором и без него (прочность на сжатие и на изгиб) представлены в табл. 2.

Испытания показали, что применение комплексного модификатора положительно влияет на качество цементного вяжущего, увеличивая прочность при сжатии на 7% при сопоставлении с контрольным образцом. Данный результат получен в результате воздействия пластифицирующих свойств послеспиртовой барды. Увеличение прочности образцов при изгибе на 15% можно объяснить присутствием полимерного компонента, обеспечивающего гибкость цементного вяжущего.

Таблица 2

Влияние комплексного модификатора на прочность при сжатии и изгибе цемента М450

№ п/п	Образец	Прочность на сжатие, МПа					Прочность на изгиб, МПа				
		2 сут.	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.	2 сут.	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.
1	Контрольный	17,8	26,3	36,5	42,8	45,3	1,4	3,7	4,8	5,4	5,9
2	с КМ-С	18,2	26,1	39,2	45,1	48,4	2,8	4,3	5,2	6	6,8

Таблица 3

Испытания образцов на устойчивость в агрессивных средах

№ п/п	Образец	рН	Прочность на сжатие МПа			
			28 сут.	90 сут.	180 сут.	270 сут.
1	Контрольный	2,0	45,1	45,3	37,3	23,8
2	с КМ-С	2,0	48	47,8	48,3	42,1

Контрольный образец и образцы с модификатором исследовали на устойчивость в агрессивных средах. Результаты испытания представлены в табл. 3. Было установлено, что потеря прочности контрольного образца на 270 сутки составила 47%, а у образца с модификатором КМ-С на 270 сутки потеря прочности составила 12%, что свидетельствует о коррозионной стойкости образца, изготовленного с КМ-С.

Результаты исследования подтверждают эффективность влияния предлагаемого комплексного модификатора КМ-С на свойства цементного вяжущего (табл. 1–3). Таким образом, применение комплексного модификатора КМ-С обеспечивает улучшение эксплуатационных свойств бетона набивных свай в АВСГС основания, сложенно-го ЗПГГ.

Отработка предлагаемой технологии и натурные испытания свай в защитной и несущей оболочке из силиката и традиционных свай были проведены в предгорьях г. Алматы на ЗПГГ.

### Заклучение

Положительной особенностью предлагаемого способа устройства буронабивной свай с защитной и несущей оболочкой устраиваемой пропиткой околосвайного массива ЗПГГ силикатизацией низкоконцентрированным раствором силиката можно считать их экологическую чистоту, необратимую повышенную несущую спо-

собность и коррозионную стойкость, водонепроницаемость и водостойкость, оптимальное распределение прочности ЗПГГ в околосвайной зоне.

Сочетание и комплексное применение обозначенных выше КТМ в одном позволяет гарантировать несущую способность и долговечность буронабивной свай в ЗПГГ основания при техногенном воздействии, т.е. гарантирует надежную эксплуатацию сооружения.

### Список литературы

1. Кропачев П.А. Оценка эксплуатационной надежности фундаментов зданий и сооружений: монография. Караганда: Издательство КарГТУ, 2020. 99 с.
2. Унайбаев Б.Ж., Арсенин В.А., Унайбаев Б.Б., Ишанова А.Ш., Оханов Б.А., Конакбаев Б.А. Способ возведения буронабивной свай в засоленных лессовых просадочных грунтах // Инновационный патент № 22796. Патентообладатель Унайбаев Б.Ж. 2010. Бюл. № 8.
3. Кропачев П.А., Жакулин А.С., Иманов М.О., Рахимов М.А., Рахимова Г.М. Контроль качества обследования и испытаний в строительстве. Караганда: Издательство КарГТУ, 2021. 300 с.
4. Унайбаев Б.Ж., Дюсембеков Д.С., Лукпанов Р.Е., Унайбаев Б.Б. Эффективные технологии защиты свай от коррозии в засоленных агрессивных грунтах // Вестник университета имени Шакарима. 2019. № 2 (86). С. 2014–2019.
5. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. М.: Стройиздат, 1984. 264 с.
6. Саканов К.Т., Корниенко П.В., Саканов Д.К. Возможность изменения свойств бетона в современных условиях // Вестник КазГАСА. 2014. № 2.
7. Соловьев В.И., Иманов М.О. Технология и свойства модифицированных железобетонных свай: КарГТУ. Караганда: Изд. ТОО «Санат-Полиграфия», 2020. 90 с.

УДК 621.371/372

## ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА КОЛЬЦЕВОЙ СИСТЕМЫ КОГЕРЕНТНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Глущенко А.А., Глущенко А.Г., Глущенко В.А.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,  
Самара, e-mail: gag646@yandex.ru

Рассмотрено распределение электрического поля, формируемого системой когерентных осцилляторов, расположенных по кольцу, при различном числе осцилляторов. Системы когерентных излучателей широко используются для моделирования антенных решеток различного типа. Основное внимание при этом уделяется линейным и плоским решеткам, имеющим узкую диаграмму направленности и высокую пространственную избирательность, что позволяет повысить чувствительность измерительных систем. Кольцевое расположение когерентных осцилляторов приводит к качественному изменению интерференционной картины, формируемой излучателями. Рассмотрено изменение интерференционной картины в зависимости от числа излучателей (от одного до шестнадцати). Для анализа результата сложения большого числа гармонических волн используется метод векторных диаграмм. Представлены картины распределения интенсивности излучения для различных конфигураций расположения излучателей. Установлено, что при числе излучателей менее восьми наблюдается изрезанная в пространстве картина перераспределения энергии в пространстве. При увеличении числа излучателей – уровень перепада максимумов и минимумов сглаживается, энергия излучения концентрируется в центре кольца, образованного системой излучателей. Степень концентрации энергии растет с увеличением числа излучателей. За пределами кольца излучателей энергия излучения падает. Таким образом, кольцевая система когерентных излучателей позволяет локализовать излучение в области кольца.

**Ключевые слова:** излучение, осцилляторы, когерентность, кольцевая структура, интерференция

## INTERFERENCE PICTURE RING SYSTEM OF COHERENT OSCILLATORS

Gluschenko A.G., Gluschenko A.A., Gluschenko V.A.

Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: gag646@yandex.ru

The distribution of the electric field formed by a system of coherent oscillators located along the ring with a different number of oscillators is considered. Systems of coherent radiators are widely used for modeling various types of antenna arrays. In this case, the main attention is paid to linear and flat arrays, which have a narrow radiation pattern and high spatial selectivity, which makes it possible to increase the sensitivity of measuring systems. The ring arrangement of coherent oscillators leads to a qualitative change in the interference pattern formed by the emitters. The change in the interference pattern depending on the number of emitters (from one to sixteen) is considered. To analyze the result of adding a large number of harmonic waves, the method of vector diagrams is used. The distribution patterns of the radiation intensity for various configurations of the location of the emitters are presented. It has been established that when the number of emitters is less than eight, a spatially jagged pattern of energy redistribution in space is observed. With an increase in the number of emitters, the level of difference between maxima and minima is smoothed out and the radiation energy is concentrated in the center of the ring formed by the system of emitters. The degree of energy concentration increases with an increase in the number of emitters. Outside the ring of emitters, the radiation energy drops. Thus, a ring system of coherent emitters makes it possible to localize the radiation in the region of the ring.

**Keywords:** radiation, oscillators, coherence, ring structure, interference

Модель когерентных излучателей является одной из основных при анализе различных систем излучения. Для двух когерентных источников – это известный опыт Юнга по исследованию интерференции [1]. В антенной технике основное внимание уделяется линейным и плоским структурам систем излучателей, на основе которых создаются высоконаправленные антенные комплексы [2–4]. В теории антенн для анализа характеристик направленности излучения используется метод векторных диаграмм, позволяющий изучить физические свойства, получить аналитическое решение, описанный, в частности, в [5, 6]. Использование других конфигураций [7] позволяет решать другие проблемы

измерительной и телекоммуникационной техники [8–10]. Для обеспечения широкоугольного сканирования используют выпуклые (сферические, цилиндрические, конические) и другие геометрические поверхности, обеспечивающие диапазонную работу антенных решеток [7]. Перспективным направлением является использование пространственных антенных систем. В настоящей работе установлено, что кольцевая конфигурация когерентных излучателей позволяет сконцентрировать энергию системы в центре кольцевой конфигурации. Рассмотрена интерференционная картина для одного, двух, четырех, пяти, шести, восьми и шестнадцати излучателей в однородной, изотропной среде.

Целью работы являлось исследование физических свойств системы когерентных точечных или линейных осцилляторов, находящихся на цилиндрической поверхности соосно с осью цилиндра с целью выявления условий, когда за пределами цилиндра, на котором находятся излучатели, излучение отсутствует и интерференционная картина сглажена.

### Материалы и методы исследования

Получение аналитических соотношений для расчета интенсивности излучения системы различного количества когерентных излучателей, расположенных на цилиндрической поверхности. Графическое представление интенсивности излучения и интерференции.

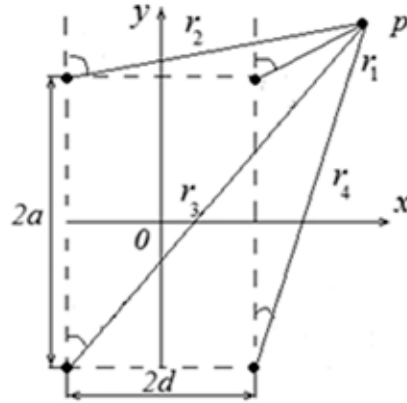


Рис. 1. Расположение источников излучения для системы четырех осцилляторов, расположенных в вершинах прямоугольника

### Основные соотношения

В соответствии с принципом суперпозиции суммарное поле в точке  $P$  определяется суммой полей всех  $n$  источников:

$$E = E_1(t) + E_2(t + \tau_{12}) + E_3(t + \tau_{13}) + \dots + E_n(t + \tau_{1n}), \quad (1)$$

где  $\tau_{12}, \tau_{13}, \dots, \tau_{1n}$  – время задержки волн от 2, 3, ...,  $n$ -го источников излучения по сравнению со временем прохождения волны от первого источника излучения. Геометрические расстояния от источников до точки наблюдения, определяющие сдвиг фаз складываемых волн (рис. 1), с учетом принятых обозначений (для определенности четырех) равны

$$r_1 = \sqrt{(x-a)^2 + (y-d)^2}, \quad r_2 = \sqrt{(x+a)^2 + (y-d)^2}, \\ r_3 = \sqrt{(x+a)^2 + (y+d)^2}, \quad r_4 = \sqrt{(x-a)^2 + (y+d)^2}.$$

Тогда

$$E = E_1(t) + E_2(t + \tau_{12}) + E_3(t + \tau_{13}) + E_4(t + \tau_{14}).$$

Рассмотрим сложение волн с однонаправленными колебаниями, описываемых функциями

$$E_i(\mathbf{r}, t) = A_i \cos(\omega_i t - \mathbf{k}_i \mathbf{r}_i + \phi_i) = A_i \cos \Phi_i,$$

где  $A_i$  – амплитуды,  $\Phi_i = \omega_i t - \mathbf{k}_i \mathbf{r}_i + \phi_i$  – фазы,  $\omega_i$  – циклические частоты,  $\mathbf{k}_i$  – волновые векторы,  $\mathbf{r}_i$  – радиус-векторы, соединяющие источники волн и точку наблюдения, определяются конфигурацией структуры системы излучателей,  $\phi_i$  – начальные фазы,  $i = 1, 2, \dots, n$  волновое число в свободном пространстве  $k_0 = 2\pi / \lambda$ ,  $\lambda$  – длина волны излучения.

Нахождение результирующего излучения, суммарного для произвольного числа источников излучения сложение используем метод векторных диаграмм, описанный в [3, 4]. Амплитуда результирующего колебания зависит от амплитуд  $A_i$  и фаз складываемых колебаний  $\Phi_i = \omega_i t - \mathbf{k}_i \mathbf{r}_i + \phi_i$ , тогда в общем случае для  $n$  излучателей интенсивность и излучения определяется из (1) соотношением

$$A^2(\mathbf{r}, t) = (A_1 \cos \Phi_1 + A_2 \cos \Phi_2 + \dots + A_i \cos \Phi_i + \dots + A_n \cos \Phi_n)^2 + \\ + (A_1 \sin \Phi_1 + A_2 \sin \Phi_2 + \dots + A_i \sin \Phi_i + \dots + A_n \sin \Phi_n)^2 = \\ = \left( \sum_1^n A_i \cos \Phi_i \right)^2 + \left( \sum_1^n A_i \sin \Phi_i \right)^2, \quad (2)$$

которое может быть использовано для достаточно общих структур, различных конфигураций излучателей как в изотропных, так и в анизотропных средах и в структурах неподвижных и подвижных.

### Результаты исследования и их обсуждение

В частном случае одиночного излучателя в изотропной, однородной среде из (2) следует, что распределение интенсивности волн будет равномерным по всем направлениям. Рассмотрено изменение интерференционной картины при изменении числа когерентных излучателей (от одного до шестнадцати), расположенных по кругу для частного случая одинаковых нулевых начальных фаз и равных амплитуд отдельных излучателей.

Результаты расчета распределения интенсивности поля, создаваемого системой двух когерентных излучателей с осью симметрии, проходящей через излучатели и совпадающей с осью  $Oy$  структуры, в плоскости  $xOy$  показано на рис. 2. Эта система когерентных излучателей хорошо известна как опыт Юнга [1]. Основное излучение наблюдается вдоль оси ( $Oy$ ), на которой расположены осцилляторы. Такое же по ин-

тенсивности, но более узконаправленное излучение наблюдается также в поперечном к оси структуры направлении ( $Ox$ ).

В случае четырех осцилляторов, симметрично расположенных на окружности радиуса  $R=1$  (в вершинах квадрата) (рис. 3), наблюдается симметричная относительно осей  $Ox$  и  $Oy$  картина распределения интенсивности поля с максимумами по координатным осям во взаимно перпендикулярных направлениях. Дальнейшее увеличение количества излучателей приводит к концентрации излучения внутри кольцевой структуры. Наблюдается дополнительное перераспределение энергии. В частности, возникает дополнительный максимум излучения энергии под углами  $45^\circ$  к координатным осям структуры (рис. 3). В центре системы излучателей возникает локализованный максимум излучения.

Если излучатели расположены вдоль прямой линии, интерференционное распределение интенсивности излучения существенно меняется. Интерференционные максимумы расположены вдоль линии, на которой расположены излучатели. Структура обладает направленными свойствами, которые более ярко выражены при увеличении числа осцилляторов.

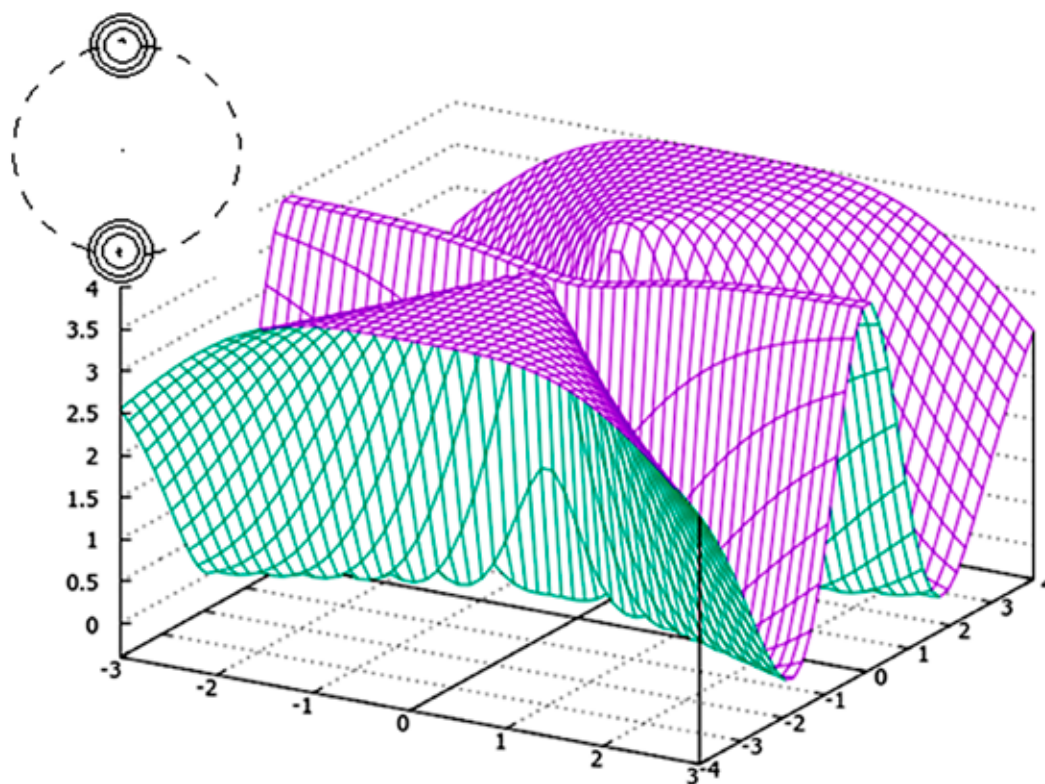


Рис. 2. Распределение интенсивности волн интерференционной картины двух когерентных источников (опыт Юнга) (расстояние между излучателями  $d = 1$ ,  $\lambda = 2$ )



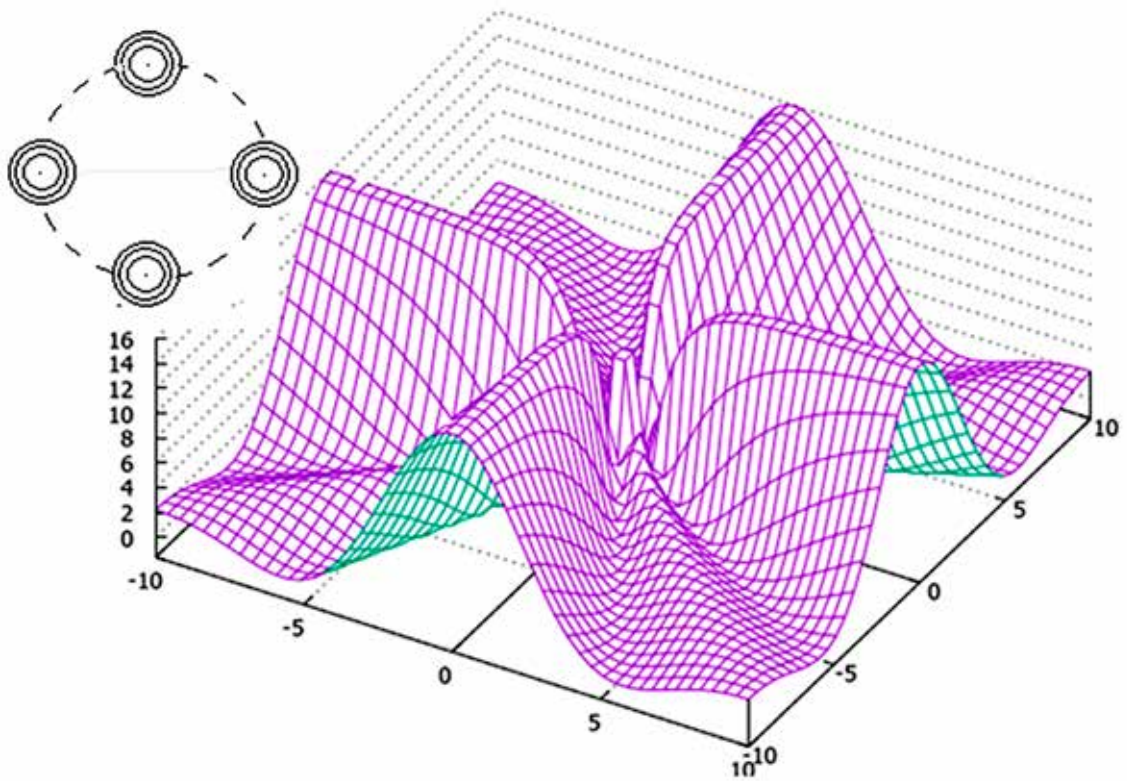


Рис. 3. Распределение интенсивности волн интерференционной картины четырех когерентных источников, расположенных в вершинах квадрата в плоскости  $xOy$

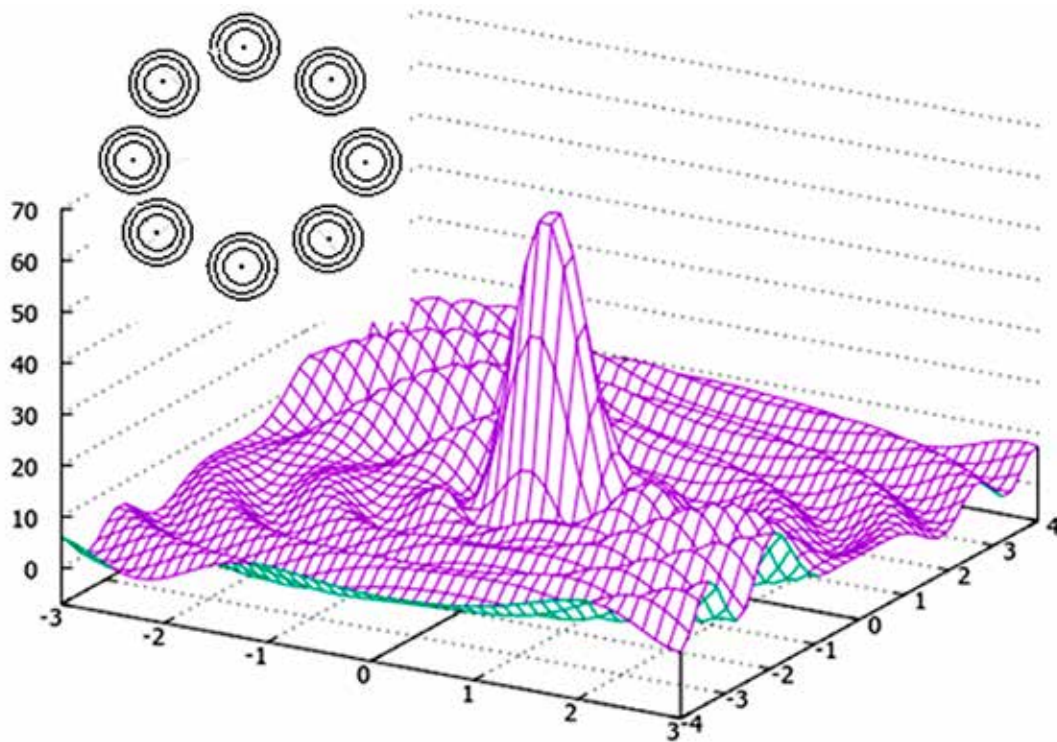


Рис. 4. Распределение интенсивности волн интерференционной картины восьми когерентных источников

Введение пятого осциллятора в центре системы четырех когерентных излучателей дополнительно увеличивает уровень излучения в центре структуры при сохранении характера структуры интерференционной картины четырех излучателей.

В системе шести когерентных излучателей с одинаковыми начальными фазами, равномерно расположенных по кругу, существенно растет уровень излучения в центре структуры при заметном спаде уровня излучения по периферии структуры. Таким образом, уже для шести излучателей наблюдается качественная деформация интерференционной картины: смещение области максимального уровня излучения в центр кольца когерентных излучателей. Концентрация излучения в центре кольца излучателей растет при увеличении числа излучателей.

Интерференционная картина для восьми когерентных излучателей с одинаковыми начальными фазами, расположенными попарно друг от друга на расстоянии  $l=1, \lambda=2$ , показана на рис. 4. Кольцевая структура излучателей создает систему, практически не излучающую во внешнее пространство, в то время как при линейном расположении излучателей формируется узкая диаграмма

направленности излучения (в направлении оси структуры) во внешнюю среду, что используется при создании антенных решеток различных диапазонов частот.

Распределение интенсивности для шестнадцати излучателей показано на рис. 5. Наблюдается дополнительный рост уровня излучения в центре системы (на несколько порядков выше, чем у прилегающих за пределами кольца областей). Соотношение (2) позволяют рассчитывать диаграммы излучения системы излучателей с любыми начальными фазами в изотропных и анизотропных средах. Наибольшее изменение интерференционной картины наблюдается при изменении числа излучателей от одного до шести.

При изменении числа когерентных излучателей свыше шести наблюдается увеличение концентрации излучения в локальной области в центре кольцевой системы и уменьшение интерференционного характера интенсивности излучения за пределами кольца излучателей. Интерес представляет анализ влияния начальных фаз и движения системы на интерференционную картину системы излучателей и учет влияния временной когерентности на картину интерференции системы.

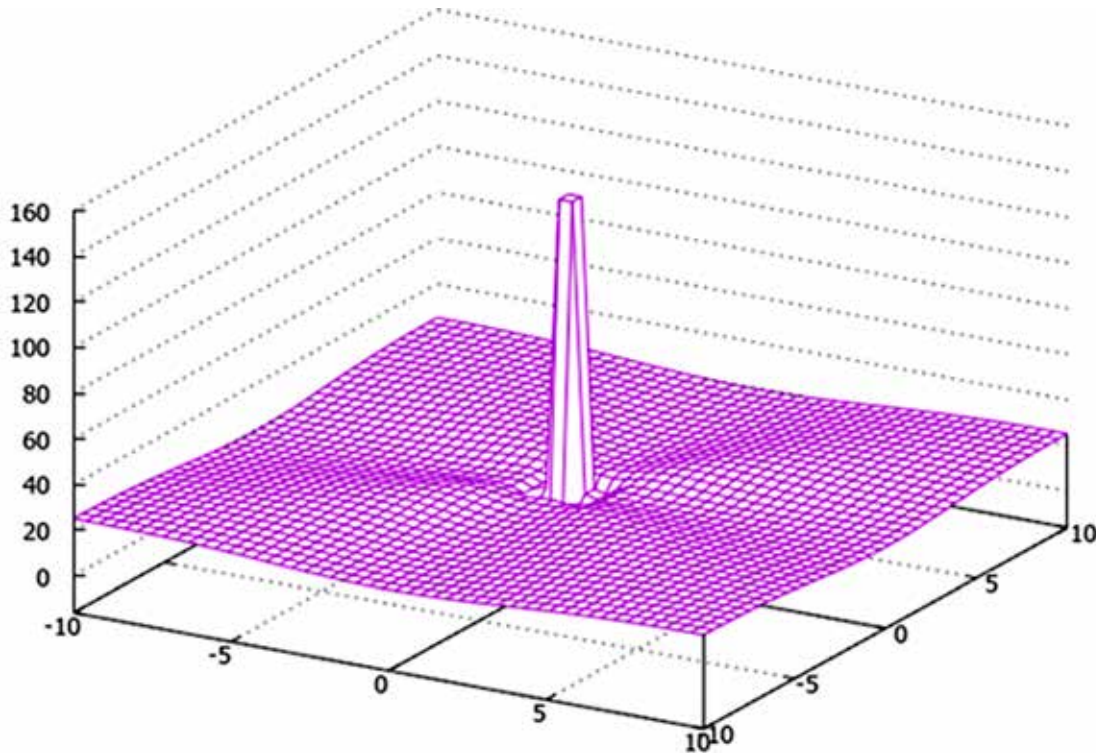


Рис. 5. Распределение интенсивности волн интерференционной картины шестнадцати когерентных источников

При изменении числа когерентных излучателей свыше шести наблюдается увеличение концентрации излучения в локальной области в центре кольцевой системы и уменьшение интерференционного характера интенсивности излучения за пределами кольца излучателей. Интерес представляет анализ влияния начальных фаз и движения системы на интерференционную картину системы излучателей и учет влияния временной когерентности на картину интерференции системы.

### Заключение

Рассмотрена зависимость интерференционной картины в зависимости от числа излучателей, расположенных по кругу. Установлено, что при увеличении числа излучателей свыше восьми наблюдается рост концентрация поля в области внутри кольца излучателей. В этом случае система излучателей становится замкнутой: нет излучения за пределами системы излучателей. Вся энергия излучения концентрируется в центре системы излучателей, расположенных по кольцу.

### Список литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. СПб.: Лань, 2021. 500 с.
2. Дятко А.А., Костромицкий С.М., Шумский П.Н., Давыденко И.Н. Работа радиолокационной угломерной системы в условиях сигнала, создаваемого когерентными источниками излучения из двух точек пространства // Доклады БГУИР. 2019. № 7–8. С. 22–29. DOI: 10.35596/1729-7648-2019-126-8-22-29.
3. Алексейцев С.А., Паршин Ю.Н. Электродинамика проводных двух диапазонных излучателей дипольного вида с концевым типом возбуждения // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2021. № 3. С. 31–39. DOI: 10.38013/2542-0542-2021-3-31-39.
4. Саломатов Ю.П., Панько В.С., Лемберг К.В. Устройства сверхвысоких частот и антенны: учебное пособие. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020. 180 с.
5. Глущенко А.Г., Глущенко Е.П. Методика расчета пространственного распределения интенсивности волнового процесса, формируемого точечными источниками // Вестник науки и образования. 2016. № 11 (23). С. 6–9.
6. Gluschenko A.A., Gluschenko A.G., Gluschenko E.P. Generalization of the Cosines Theorem to Polygons and Its Application to the Analytical Calculation of Multi-Beam Interference of Coherent Radiation of Light with an Arbitrary Phase Distribution // European J. of Physics Education. 2020. Vol. 11, Is. 3. P. 1309–7202.
7. Шишлов А.В., Левитан Б.А., Топчиев С.А., Анпилов В.Р., Денисенко В.В. Многолучевые антенны для систем радиолокации и связи // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 7. DOI: 10.30898/1684-1719.2018.7.6.
8. Казарин П.В., Менсов С.Н., Услугин Н.Ф. Демонстрация процесса формирования диаграммы направленности антенных решеток муаровыми структурами // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2020. № 4 (60). С. 155–160.
9. Opromolla M. High Repetition Rate and Coherent Free-Electron Laser Oscillator in the Tender X-ray Range Tailored for Linear Spectroscopy. Appl. Sci. 2021. No. 11 (13). P. 5892. DOI: 10.3390/app11135892.
10. Wang W., Lu P.K., Vinod A.K. Coherent terahertz radiation with 2.8-octave tunability through chip-scale photomixed microresonator optical parametric oscillation // Nat. Commun. 2022. No. 13. P. 5123. DOI: 10.1038/s41467-022-32739-6.



УДК 004.89

## ФОРМИРОВАНИЕ ФРАГМЕНТИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПОРТИВНЫХ СОБЫТИЙ

Крутиков А.К., Клюкин В.Ю., Подковырин В.Д., Кислицына М.И.

*ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», Киров,*

*e-mail: yadrodisk@yandex.ru, klyukin@vyatsu.ru, usr00321@vyatsu.ru, stud115697@vyatsu.ru*

В данной работе описывается подход к построению фрагментированной обучающей выборки. На основе фрагментированной обучающей выборки строится каскад нейросетевых модулей, который является инструментом прогнозирования спортивных результатов в индивидуальных и командных спортивных дисциплинах. При фрагментации обучающей выборки ключевую роль играют логические зависимости между ее параметрами. Само детальное разбиение на фрагменты построено на наличии прямой логической и/или транзитивной зависимости между набором (фрагментом) параметров и результирующим вектором, являющимся частью зависимого набора (фрагмента) параметров. Приводятся схематические изображения логических зависимостей между фрагментами выборки. Описывается пример фрагментирования обучающей выборки для прогнозирования спортивного события, а также приводится результат эксперимента с использованием полученной фрагментированной выборки. Рассматриваются вопросы автоматизированного определения логических зависимостей, формирования фрагментов выборок, нормализация и автоматизированный сбор данных обучающей выборки. Формирование фрагментированной обучающей выборки позволяет формировать нейросетевую каскад, который, в свою очередь, является «решающей» частью специализированной системы прогнозирования спортивных результатов. В свою очередь, алгоритмы формирования обучающей выборки и обучения отдельных нейросетевых блоков служат частью блока, управляющего «решающей» частью системы.

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, прогноз, спортивный результат, нейрон, прогнозирование, алгоритм обучения, обучающая выборка, каскадная структура, каскад, спортивное событие, фрагментированная обучающая выборка, фрагмент, система прогнозирования

## FORMATION OF A FRAGMENTED TRAINING SAMPLE IN AN SPECIALIZED SPORTS EVENT FORECASTING SYSTEM

Krutikov A.K., Klyukin V.L., Podkovyirin V.D., Kislitsyna M.I.

*Vyatka state university, Kirov, e-mail: yadrodisk@yandex.ru, klyukin@vyatsu.ru,*

*usr00321@vyatsu.ru, stud115697@vyatsu.ru*

This paper describes an approach to constructing a fragmented training sample. A cascade of neural network modules is built on the basis of a fragmented training sample, which is a tool for predicting sports results in individual and team sports disciplines. When fragmenting a training sample, logical dependencies between its parameters play a key role. The detailed fragmentation itself is based on the presence of a direct logical and/or transitive dependence between the set (fragments) of parameters and the resulting vector, which is part of the dependent set (fragment) of parameters. Schematic images of logical dependencies between the sample fragments are given. An example of fragmentation of a training sample for predicting a sports event is described, and the result of an experiment using the resulting fragmented sample is also given. The issue of automated determination of logical dependencies, formation of sample fragments, normalization and automated data collection of the training sample is considered. The formation of a fragmented training sample allows you to form a neural network cascade, which in turn is a «crucial» part of a specialized sports performance forecasting system. In turn, the algorithms for forming a training sample and training individual neural network blocks are part of the control unit of the «decisive» part of the system.

**Keywords:** artificial neural network, prediction, sports result, neuron, prediction, learning algorithm, training sample, cascade structure, cascade, sports event, fragmented training sample, fragment, prediction system

Прогнозирование результатов спортивных событий требует оценки и анализа набора данных, влияющих на итоговый результат. Результатом прогноза являются численный результат или формализованное утверждение о наступлении некоторого исхода спортивного события. Набор данных, влияющих на итоговый результат прогноза, может быть слабо структурирован, иметь сильно отличающиеся по типу и размеру значения.

При прогнозировании с использованием средств машинного обучения такой набор данных называют обучающим набором, или обучающей выборкой [1]. Среди наибо-

лее популярных средств ИИ, применяемых в качестве инструмента прогнозирования, можно выделить генетические алгоритмы, экспертные системы на основе логического вывода [2], математические средства моделирования [3], искусственные нейронные сети [4, 5, 6], в том числе комбинированные решения на основе нейронных сетей [7] – ансамбли нейронных сетей [8].

В данной работе в качестве основного инструмента прогнозирования рассматриваются нейронные сети.

Целью проводимых исследований являются оптимизация и повышение точности

процесса прогнозирования в индивидуальных и командных видах спорта.

### Материалы и методы исследования

В работах [9, 10] описываются эксперименты по прогнозированию различных спортивных результатов: командных, мультикомандных, индивидуальных – с применением каскада нейросетевых модулей.

При прогнозировании в экспериментах применялись три типа выборок. Обучающая выборка (dataset, выборка) – совокупность данных, обработанная для использования алгоритмами машинного обучения (Machine Learning). Под использованием подразумеваются обучение модели и дальнейшее ее применение для решения реальных задач на основе готового и структурированного набора данных, представленного в табличном виде. Благодаря обучающей выборке реализуются настройка и оптимизация параметров алгоритма, вследствие чего модель обучается. Контрольная (тестовая) выборка не зависит от обучающей выборки и в идеальном варианте должна содержать в себе новые данные. Благодаря этому этапу происходит проверка качества обученной модели. Валидационная выборка также не зависит от обучающей выборки, помогает выбирать наилучшую обученную модель.

Для обучения каскада, предлагаемого авторами, стандартная обучающая выборка прямоугольного вида (двумерный массив) (рис. 1) не может быть использована, поскольку структура каскада предполагает применение ограниченных фрагментов.

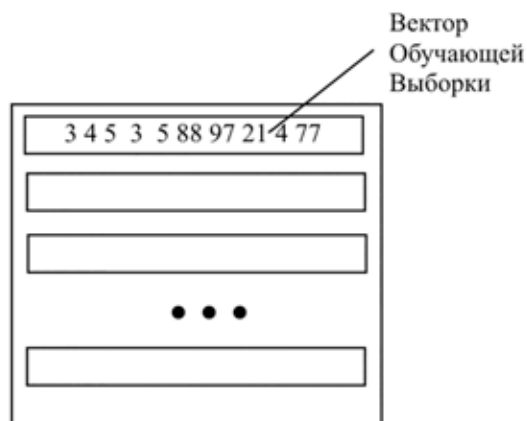


Рис. 1. Обучающая выборка (двумерный массив)

Каждая из строк двумерного массива содержит набор параметров одного «наблюдения» в один временной период. Набору таких параметров соответствует известный

элемент, известный в данный момент времени итоговый (профильный) результат.

При формировании фрагментированной структуры обучающей выборки двумерный массив данных разбивается на двумерные массивы меньшей размерности (рис. 2). Основным принципом разбиения является наличие логических зависимостей между элементами выборки, при условии, что элемент изначально не является итоговым результатом.

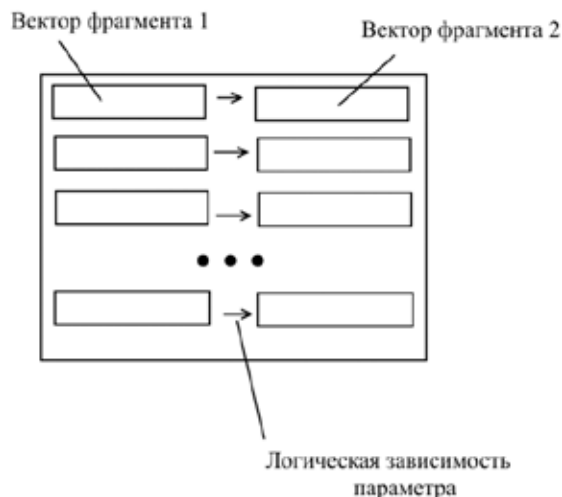


Рис. 2. Разбиение обучающей выборки на два фрагмента

Определение зависимости фрагментов обучающей выборки происходит на основе наличия логической зависимости между отдельным прямоугольным фрагментом и вектором и «столбцом» элементов из связываемого фрагмента. Количество связываемых фрагментов не ограничено. Логические связи могут быть выстроены исходя из предметной области, экспертного мнения или математической связи, выявленной с помощью отдельного блока анализатора.

Фрагменты выстраиваются в логически взаимосвязанную последовательность или последовательности (рис. 3).

Выделяются два типа параметров: предикторы – независимые переменные; целевые признаки – зависимые переменные, вычисляемые на основе предикторов.

Существует первичный набор исходных данных, называемый генеральной совокупностью. В процессе порождения данных из генеральной совокупности формируются выборки. Выборкой является конечное подмножество из элементов генеральной совокупности, проанализированное, которое, можно узнать и поведение генеральной совокупности.

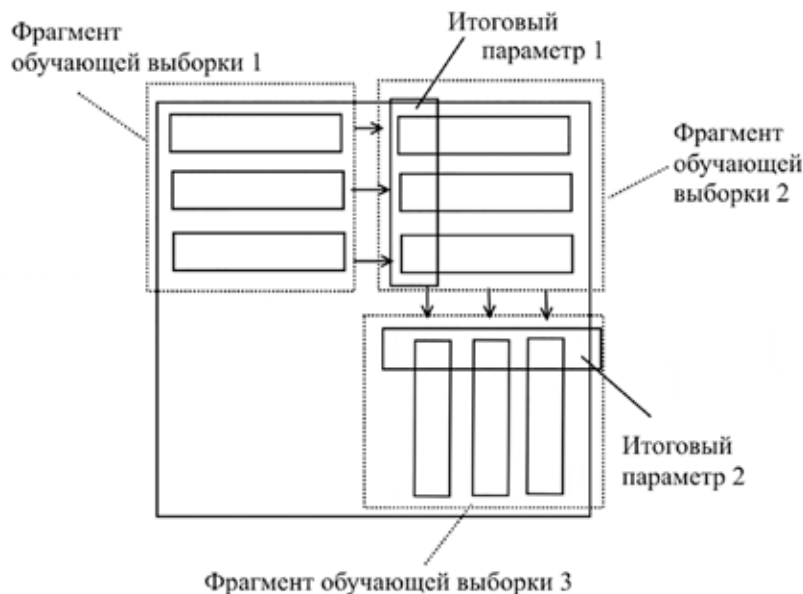


Рис. 3. Разбиение обучающей выборки на три фрагмента

Отдельные из параметров («столбцов») могут оказывать наибольшее влияние на результат или промежуточный результат (итоговый параметр в одном из фрагментов) прогноза. Такие параметры являются прогнозоформирующими предикторами, в работах [10-12] описан алгоритм определения прогнозоформирующих предикторов.

При обучении существующие фрагменты распределяются между выделенными уровнями нейросетевого каскада и являются обучающими выборками для отдельных нейросетевых модулей.

#### Результаты исследования и их обсуждение

На основе последовательностей определяются уровни нейросетевого каскада. Модули, содержащие сети, распределяются по ярусам каскада. Начиная со второго яруса, на каждый последующий ярус поступают данные промежуточных прогнозов, формирующие следующие прогнозные значения (параметры зависимых фрагментов). Количество прогнозоформирующих предикторов от яруса к ярусу может как уменьшаться, так и увеличиваться. В ряде задач при сокращении размеров обучающей выборки выделение прогнозоформирующих предикторов позволит уменьшить выборку без серьезных потерь в точности результата прогнозирования. Выявление зависимостей по ярусам каскада дает возможность определять те из предикторов, которые наибольшим образом воздействуют на текущие промежуточные результаты на выходе отдельных модулей.

Нейросетевые модули каскада обучаются отдельно, после чего соединяются друг с другом. В качестве эксперимента приведены результаты прогнозирования одного из международных спортивных событий – боксерского поединка. В эксперименте использовалась обучающаяся выборка, сформированная аналогично предыдущему примеру. Однако вектор выборки разбивается на две части. На основе результатов обработки исходных данных первым слоем получаем необходимые элементы выборки, поступающие на второй слой каскада. Нейронная сеть второго слоя обучалась отдельно. Пример разделения параметров во входной выборке и динамического формирования элементов выборок для последующих слоев приведен на рисунке 4.

Для реализации прогноза спроектирован каскад нейросетевых модулей. Каскад состоит из двух обобщенно-регрессионных нейронных сетей во входном (первом) слое и одной LVQ сети в заключительном модуле выходного (второго) слоя каскада [12]. Непосредственно результаты прогнозирования приведены в таблице.

Вектор (0,1) означает победу второго боксера, вектор (1,0) – победу первого боксера. В большинстве экспериментов система верно определила победителя. Определение логических взаимосвязей в обучающей выборке позволяет детализировать прогноз и динамически формировать промежуточные результаты, которые одновременно являются предикторами для последующих уровней каскада.

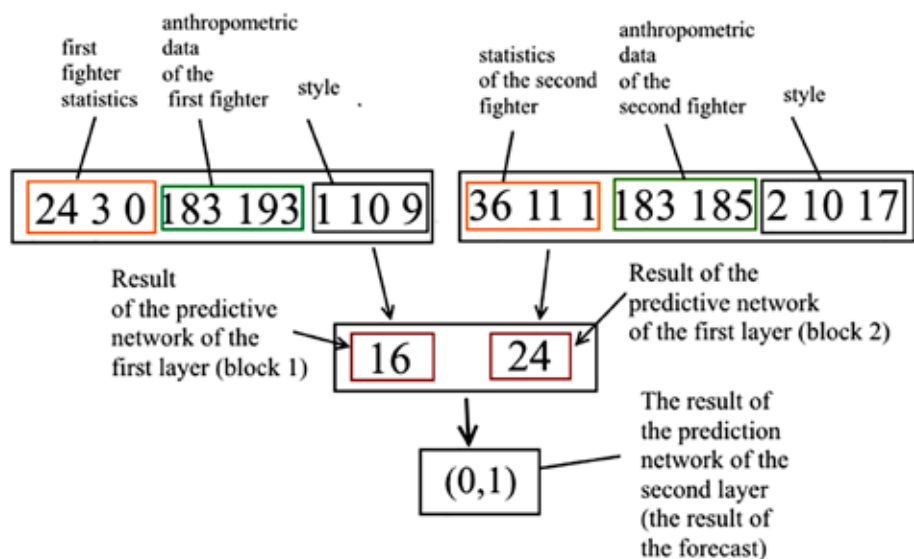


Рис. 4. Пример формирования обучающей выборки

#### Результат эксперимента

Количество нейронов второго яруса каскада (LVQ)	Результат прогноза
10	(1,0)
15	(1,0)
22	(0,1)
33	(0,1)
100	(0,1)
150	(0,1)
200	(0,1)
250	(0,1)

Нейросетевой каскада является «решающей» частью так называемой специализированной системы прогнозирования спортивных результатов. При этом фрагментирование выборки на основе логических зависимостей повышало точность прогнозирования как в мультиспортивных, так и в индивидуальных дисциплинах.

#### Заключение

Детализация прогноза путем динамического формирования вектора данных для последующих слоев каскада позволяет уменьшить объем информации, обрабатываемый последующими слоями, и увеличить точность прогноза.

Применение нейронных сетей для прогнозирования спортивных результатов в индивидуальных и командных дисциплинах перспективно и эффективно. Построение

нейросетевого каскада невозможно без выделения логических взаимосвязей в обучающей выборке. На данный момент тестируется отдельный модуль системы, автоматически определяющий не только прогнозоформирующие предикторы, но и наиболее сильные логические взаимосвязи между фрагментами выборки.

Продолжается тестирование различных вариантов нейросетевого каскада на основе новых вариантов фрагментированных обучающих выборок. Фрагменты обучающих выборок могут быть дополнены уникальными параметрами, которые не содержатся в исходном датасете.

Применение системы на основе нейросетевого каскада в качестве инструмента прогнозирования специалистами сферы физической культуры и спорта позволит повысить точность прогнозов, на основе которых можно выстраивать процесс планирования тренировки и подготовки спортсменов.

#### Список литературы

1. Обучающая выборка [Электронный ресурс]. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Выборка> (дата обращения: 12.04.2023).
2. Dolzhenkova M.L., Meltsov V.Y., Strabykin D.A. Method of consequences inference from new facts in case of an incomplete knowledge base // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9. No. 39. P. 100-413.
3. Емельянов С.В. Информационные технологии и вычислительные системы: Высокопроизводительные вычислительные системы. Математическое моделирование. Методы обработки информации. М.: Ленанд, 2012. 100 с.
4. Ростовцев В.С. Искусственные нейронные сети: учебник. Киров: Изд-во ВятГУ, 2014. 208 с.

5. Кудряшов В.А., Лезин И.А. Прогнозирование медицинских расходов рекуррентной сетью Элмана // Международная молодежная научная конференция, посвящённая 110-летию со дня рождения академика С.П. Королёва, 75-летию КуАИ-СГАУ-СамГУ-Самарского университета и 60-летию со дня запуска первого искусственного спутника Земли. Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2017. 547 с.
6. Введение в нейронные сети GRNN и PNN и в практику MATLAB [Электронный ресурс]. URL: <https://russianblogs.com/article/13761933/> (дата обращения: 23.09.2021).
7. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского. Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
8. Брюхнова В.О., Цуканова Н.И. Ансамбли нейронных сетей при прогнозировании объемов продаж в торговой сети // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2018. № 66-1. С. 90-99.
9. Крутиков А.К. Механизм формирования обучающей выборки с выделением прогнозоформирующих предикторов для каскада нейронных сетей // Информационные технологии: материалы 60-й Междунар. науч. студ. конф. 10–20 апреля 2022 г. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2022. 106 с.
10. Meltsov V., Krutikov A., Strabykin D. Improving the Efficiency of Forecasting Sports Events Using a Cascade of Neural Networks // Lecture Notes in Networks and Systems this link is disabled. 2022. No. 461. P. 675–684.
11. Krutikov A.K., Meltsov V.Y., Strabykin D.A. Evaluation the Efficiency of Forecasting Sports Events Using a Cascade of Artificial Neural Networks Based on FPGA // Proceedings of ElConRus-2022. St. Petersburg: ETU LETI, 2022. P. 355–360.
12. Krutikov A.K., Meltsov V.Yu., Podkovyrin V.D. Neural Network of Vector Quantization as a Tool for Predicting Sports Achievements in Individual and Team Sports. Proceedings of the Volga Region Conference on Economics, Humanities and Sports (FICEHS 2019). Atlantis Press. P. 789-792.
13. Ясницкий Л.Н., Черепанов Ф.М. О возможностях применения нейросетевых технологий в политологии // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2010. № 8. С. 47-53.

УДК 004.89

## РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

<sup>1,2</sup>Лукинов В.А., <sup>1</sup>Соколов Д.А.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения»,  
Санкт-Петербург, e-mail: denisandsokolov@gmail.com;<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена»,  
Санкт-Петербург, e-mail: v.a.lukinov@list.ru

Актуальность данной темы обусловлена реализацией Указа Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации», Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года», Указа от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», в том числе с целью решения задачи по обеспечению ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере, Указа Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации до 2030 года». Сегодня перед обществом стоит большое количество вызовов, связанных с цифровой трансформацией Российской Федерации. В данной статье рассмотрено одно из основных направлений цифровой трансформации – искусственный интеллект. Проанализирована текущая ситуация с развитием представлений в данном направлении, а также приведены основные решения, представленные различными организациями на рынке Российской Федерации. Цифровая трансформация – неотъемлемый этап развития России. Отметим, что научно-технологическое и цифровое развитие экономики Российской Федерации – необходимое условие независимости нашей страны.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, цифровизация образования, искусственный интеллект, современные технологии

## THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF MODERN RUSSIA

<sup>1,2</sup>Lukinov V.A., <sup>1</sup>Sokolov D.A.<sup>1</sup>Saint Petersburg State Institute of Film and Television, Saint Petersburg,  
e-mail: denisandsokolov@gmail.com;<sup>2</sup>Russian State Pedagogical University named after A.I. Herzen, Saint Petersburg,  
e-mail: v.a.lukinov@list.ru

The relevance of this topic is due to the implementation of Presidential Decrees of October 10, 2019 No. 490 “On the development of artificial intelligence in the Russian Federation” approved the National Strategy for the Development of Artificial Intelligence for the period up to 2030, Decree of May 7, 2018 No. 204 “On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024”, including in order to solve the problem of ensuring the accelerated introduction of digital technologies in the economy and social sphere, Decree of the President of the Russian Federation dated 21.07.2020. No. 474 “On the National Development Goals of the Russian Federation until 2030”. Today, society faces a large number of challenges related to the digital transformation of the Russian Federation. This article discusses one of the main directions of digital transformation – Artificial Intelligence. The current situation with the development of ideas in this direction is analyzed, as well as the main solutions presented by various organizations in the Russian Federation market are presented.

**Keywords:** digital transformation, digitalization of education, artificial intelligence, modern technologies

В настоящее время происходит глобальная автоматизация технологических процессов путем интеграции современных информационных технологий в различные сферы занятости человека. Сегодня уже трудно представить жизнь без инновационных гаджетов, которые окружают нас, будь то смартфон, ноутбук, смарт-часы и прочие устройства, которые люди привыкли использовать повседневно для выхода в сеть.

На данный момент возможность получить необходимую информацию в любой момент позволяют сервисы сети Интернет. Эволюция таких сервисов значительно упростила жизнь человеку, сократила время, которое он тратил на поиск инфор-

мации для решения различного рода задач. Однако сервисы сети Интернет не только позволяют получить в ту же секунду необходимую информацию, но и позволяют автоматизировать процессы, которые способны работать с минимальным участием человека, что в конечном счете позволяет сократить главный ресурс человека – время на выполнение ряда бытовых операций. В настоящее время стоит отметить все возрастающую роль обеспечения четырех основных функций работы с информацией в современном мире. Процесс сбора является неотъемлемой частью работы с информацией, при этом необходимо отмечать многоаспектность данного вопроса.

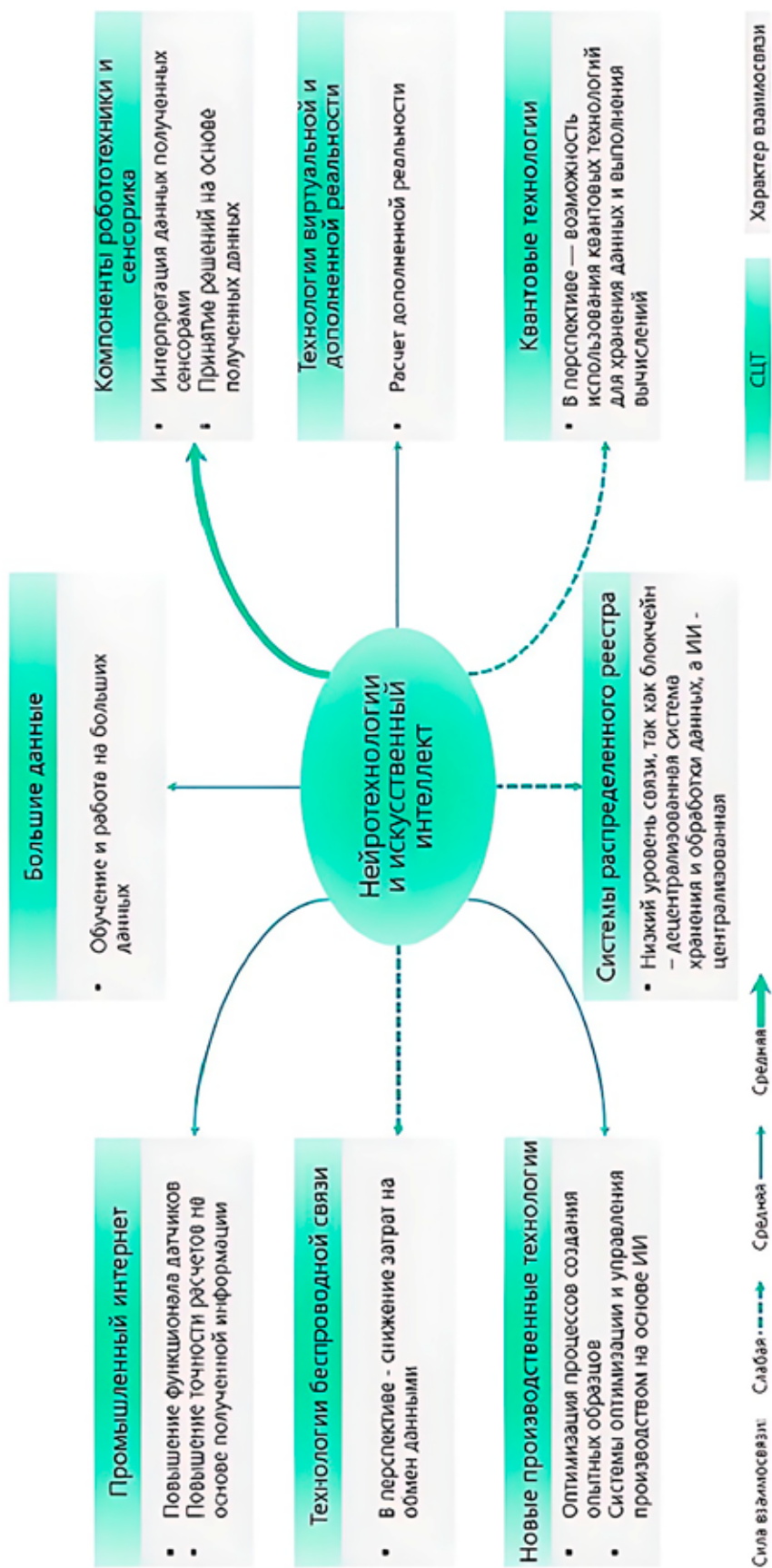


Рис. 1. Взаимосвязь искусственного интеллекта с другими сквозными цифровыми технологиями

В частности, механизм процесса сбора информации, безопасность, оперативность, типизация данных и многие другие вопросы являются актуальными при планировании и построении любой информационной системы.

Важно отметить тот факт, что развитие технологий в данной области обуславливает и усовершенствование устройств, которые позволяют получить доступ к данным технологиям. Процесс усовершенствования и модернизации устройств являлся предпосылкой к появлению нового, современного и высокотехнологичного направления – искусственного интеллекта [1].

Стоит особо подчеркнуть, что на сегодняшний день крайне сложно выделить сферу, в которой будет отсутствовать необходимость в повышении реалистичности процессов, происходящих в реальном мире, будь то ракетостроение или пошив одежды, медицина или искусство, оборонные технологии или производство детских игрушек. Именно поэтому, в настоящее время, наблюдается все большая сегментация такого раздела науки, как информатика, если посмотреть на историю развития и становления данной отрасли науки, то можно про-

следить поэтапно увеличение направлений в данной предметной области. Подобные требования обусловили появление нового направления – искусственного интеллекта.

Ближайшие десять лет в Российской Федерации будет проходить цифровая трансформация, которая коснется каждого гражданина нашей страны, всех уровней власти. Об этом Президент России Владимир Путин заявил 4 декабря 2020 г. на конференции по искусственному интеллекту.

Цифровая трансформация – процесс внедрения цифровых технологий, которые сопровождаются оптимизацией системы управления основными технологическими процессами [2]. Сегодня наблюдается огромный рост интереса к таким отраслям, как искусственный интеллект (AI), Интернет вещей, робототехника. Данные отрасли стали флагманами в развитии современных технологий. Мы остановимся подробнее на отрасли искусственного интеллекта (рис. 1).

Цель исследования – анализ рынка искусственного интеллекта в Российской Федерации. Знакомство с новыми флагманами в данном направлении, с перспективами искусственного интеллекта в условиях цифровой трансформации России.



Рис. 2. Классификация интеллектуальных информационных систем по типам систем



Существует большое количество определений искусственного интеллекта, мы выделим одно из них. Искусственный интеллект (ИИ) – алгоритмы, которые имеют способность самообучаться, чтобы применять полученные знания для достижения поставленных человеком целей [3].

Термин Artificial intelligence (с английского «искусственный интеллект») был упомянут в 1956 г. Джоном МакКарти, основателем функционального программирования, на конференции, проходившей в Университете Дартмута. Отметим один факт – идея данной системы была сформулирована в 1935 г. Аланом Тьюрингом. Именно он предложил считать интеллектуальными такие системы, которые в общении не будут отличаться от человека (рис. 2).

Сфера ИИ включает в себя следующие направления:

1. Машинное обучение – подразделение ИИ по разработке алгоритмов и моделей, для решения задач через обобщение множества сложных примеров.

2. Глубокое обучение – тип машинного обучения на основе многослойных нейронных сетей, которые способны самостоятельно находить алгоритм решения задач.

3. Нейросети – модели, которые строятся на тех же принципах, что и человеческая нервная система.

Искусственный интеллект сегодня остается еще новым направлением, способным исследовать важные и еще не решенные фундаментальные и прикладные проблемы. К ним можно отнести аспекты сознания, мышления и принятия решений, «машинного обучения», обработка больших данных и др. [4, 5].

В Российской Федерации в 2020 г. стартовал федеральный проект «Искусственный интеллект», главные задачи которого – создание условий для предприятий и граждан России использовать преимущественно отечественные технологии ИИ [6].

Федеральный проект реализуется по нескольким направлениям, например поддержка научных исследований и разработок, развитие и разработка отечественного программного обеспечения и пр.

## Материалы и методы исследования

### *Перспективы развития искусственного интеллекта в России*

По результатам исследования «Бизнес-лидеры в эпоху Искусственного интеллекта», которое было проведено экспертами одной из крупных компаний по созданию операционных систем для персональных компьютеров среди 800 топ-менеджеров аналитики предположили связь между применением искусственного интеллекта и темпами роста компании. Выяснилось, что почти 41% руководителей активно развивающихся компаний по всему миру внедряют искусственный интеллект.

Указом Президента РФ от 21.07.2020 г. № 473 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» были определены национальные цели развития Российской Федерации на период до 2030 г., среди которых «Цифровая трансформация». Также 29 января 2023 г. Президентом России Владимиром Путиным по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта» было поручено до 1 сентября 2023 г. внести в национальные проекты и государственные программы корректировки для внедрения искусственного интеллекта во все отрасли экономики и социальной сферы.

По оценкам международной исследовательской компании (IDC) от 2021 г., российский рынок решений искусственного интеллекта будет демонстрировать среднегодовой рост на уровне 18,5% до 2024 г. (рис. 3).

В России существуют крупные ИИ – проекты, локомотив индустрии – огромные корпорации и компании, которые способны делать инвестиции в развитие данного направления и способны видеть в этом финансовую перспективу. Например, «Сбер» вкладывает в развитие искусственного интеллекта огромные средства. Разработки Сбера охватывают все технологические направления в области ИИ.

Ярким примером внедрения ИИ является *разработка моделей машинного обучения*.



Рис. 3. Наиболее часто используемые технологии в России

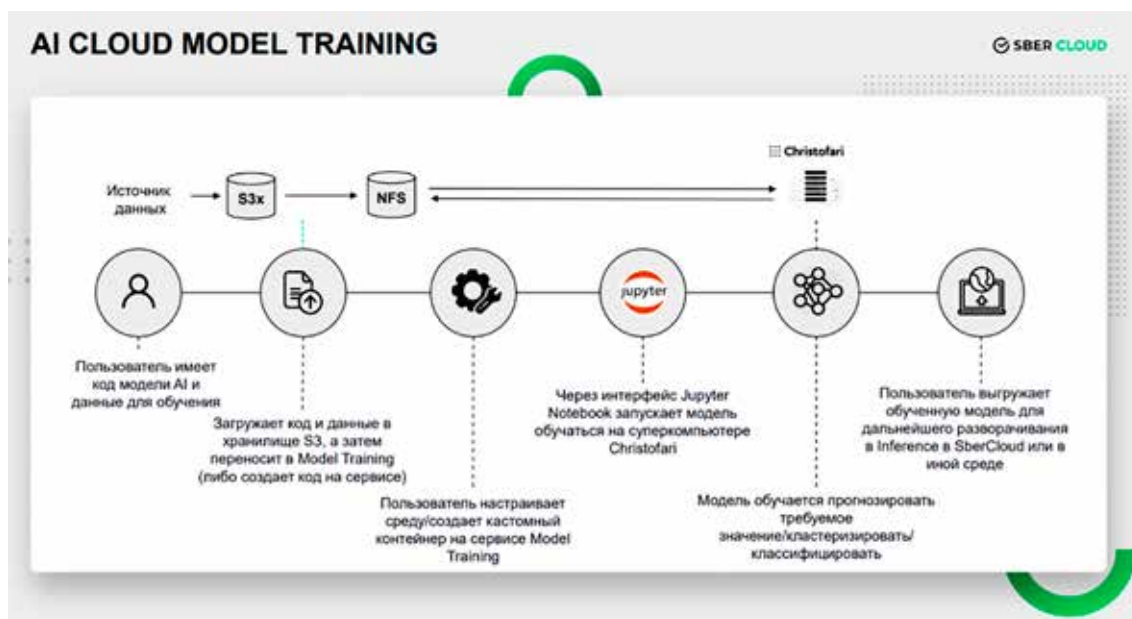


Рис. 4. SberCloud Model Training



Рис. 5. AI RESP



Рис. 6. AI SKIN

На сегодняшний день в рамках облачной платформы AI Cloud, доступна услуга SberCloud Model Training – это сервис для разработки моделей машинного и глубокого, ускоренного обучения (рис. 4).

**Искусственный интеллект для здравоохранения.** Лаборатория по ИИ Сбера разработала проект диагностирования инсульта

по результатам бесконтрастной компьютерной томографии с помощью модели ИИ.

SberMedAI – разработчик решений с использованием ИИ для медицины. Алгоритмы машинного обучения имеют возможность выделять закономерности так же, как и врачи. Ключевая особенность состоит в том, что для обучения алгоритмов требуются десятки тысяч конкретных примеров. Нейросеть способна обучаться, и чем больше данных она использует, тем точнее будет диагноз.

Выделим некоторые разработки:

1. AI RESP – предварительная диагностика COVID-19. Данное приложение способно предварительно диагностировать наличие респираторных заболеваний, на основе алгоритмов ИИ приложение обрабатывает полученные материалы, такие как кашель, дыхание, голос. Интерфейс достаточно простой и понятный (рис. 5).

2. AI SKIN – предварительная диагностика кожных заболеваний по фотографии. Приложение на основе полученных фотографий оценивает вероятность наличия патологии из семи самых распространенных типов заболевания кожи. Данное приложение работает на основе алгоритмов ИИ и анализа нескольких тысяч изображений (рис. 6).

**Речевая аналитика.** Давно известное семейство виртуальных ассистентов «Салют» также строится на базе ИИ – первое в мире семейство виртуальных ассистентов Сбер, Джой и Афина. Каждый из ассистентов умеет выражать эмоции: радоваться, печалиться, смущаться, проявлять симпатию и беспокойство. Изображенный «лавашар»

имеет возможность менять форму, цвет и характер движения в зависимости от настроения персонажей.

Разработкой занимается подразделение Сбера «SberDevices», при помощи данных разработок появилась возможность оплачивать покупки, переводить денежные средства и даже подобрать фильм по запросу – для этого достаточно подать голосовую команду и многое др.

*Образование.* Внедрение цифровых, информационных технологий в образовательный процесс поспособствовало улучшению качества образования. Благодаря таким технологиям образовательный процесс способен выходить на новый уровень, давать большой запас знаний, которые, в свою очередь, нацелены на освоение как теоретических, так и практических навыков. Лаборатория по ИИ Сбера уделяет особое внимание внедрению ИИ в образовательный процесс. Сбер активно работает с ведущими учебными заведениями Российской Федерации: Сколтех, МГУ, ВШЭ, МФТИ.

### Заключение

Стоит отметить, что в развитии ИИ в России вовлечены крупные государственные и коммерческие организации. В частности, Правительством РФ и ПАО «Сбербанк» подписано Соглашение о намерениях, которые предусматривают поддержку со стороны ПАО «Сбербанк» развития ИИ отрасли в Российской Федерации. Так же подписано

Соглашение между Правительством РФ и АО «УК «РФПИ», предусматривающее помощь в привлечении инвестиций в компании, занимающиеся развитием искусственного интеллекта с международными партнерами.

В России создан Альянс искусственного интеллекта, в который входят представители крупного бизнеса, создание Альянса помогает решать вызовы и решать огромное количество задач, связанных с развитием искусственного интеллекта.

### Список литературы

1. Любимов А.П., Пономарева Д.В., Барабашев А.Г. О национальной стратегии развития искусственного интеллекта // Представительная власть – XXI век: законодательство, комментарии, проблемы. 2019. № 5–6. С. 1–7.
2. Указ президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://prezident.org/articles/ukaz-prezidentarf-490-ot-10-oktjabrja-2019-goda-11-10-2019.html> (дата обращения: 07.02.2023).
3. Рыжков В. Что такое цифровая трансформация // Креативная экономика. 2018. Т. 12. № 9. С. 1345–1358.
4. Лукинов В.А. ИОТ-технологии в учебном и научном исследовании // Инновационные технологии в медиаобразовании: материалы международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 8–9 октября 2019 г.). СПб.: Издательство СПбГИКиТ, 2019. С. 109–113.
5. Гамбеева Ю.Н. Искусственный интеллект как часть концепции современного образования: вызовы и перспективы // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2021. № 10 (163). С. 10–16.
6. Доржиева В.В. Национальные приоритеты развития промышленного искусственного интеллекта в условиях новых технологических вызовов // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 1. С. 111–122.

УДК 004.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ DEVOPS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**Нажимова Н.А., Вдовин А.А.**

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
Нижний Новгород, e-mail: bahmetova@list.ru*

В настоящее время крупные компании при разработке программного обеспечения стремятся перейти на микросервисную и бессерверную архитектуры. Использование микросервисов позволяет разработчикам создавать сложные системы в виде ограниченного количества небольших приложений. Процессы разработки, тестирования и развертывания при этом для каждого приложения могут проходить независимо. Это позволяет значительно увеличить стабильность работы системы в целом и снизить время, требуемое для ее создания. Бессерверная архитектура, в свою очередь, предполагает использование облачных сервисов, что позволяет команде разработчика использовать все свои ресурсы для написания кода приложений, не занимаясь при этом созданием и обслуживанием требуемой для информационной системы инфраструктуры. При этом для ускорения процесса разработки требуется максимальная оптимизация и автоматизация доставки разрабатываемого программного обеспечения на сторону заказчика. Современная методология DevOps позволяет успешно решать подобный спектр задач, обеспечивая полностью автоматизированный процесс сборки, настройки и развертывания разрабатываемых приложений. В работе рассмотрены основные инструменты, применяемые в методологии DevOps и практиках CI-CD: GitLab CI, Ansible, Docker, Terraform, Jenkins, Kubernetes. Данный набор не является обязательным и может быть изменен в зависимости от задач, которые необходимо решить.

**Ключевые слова:** DevOps, CI-CD, Docker, Kubernetes, Gitlab-CI, Jenkins, Ansible, Terraform

## RESEARCH OF DEVOPS METHODOLOGY FOR SOFTWARE DEVELOPMENT

**Nazhimova N.A., Vdovin A.A.**

*R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod,  
e-mail: bahmetova@list.ru*

Nowadays, large companies tend to switch to microservice and serverless architectures when developing software. The use of microservices allows developers to create complex systems in the form of a limited number of small applications. At the same time, the development, testing and deployment processes for each application can take place independently. This allows you to significantly increase the stability of the system as a whole and reduce the time required to create it. The serverless architecture, in turn, involves the use of cloud services, which allows the developer team to use all its resources to write application code without having to create and maintain the infrastructure required for the information system. At the same time, to speed up the development process, maximum optimization and automation of the delivery of the developed software to the customer is required. Modern DevOps methodology allows you to successfully solve such a range of tasks, providing a fully automated process of building, configuring and deploying applications under development. The paper discusses the main tools used in the DevOps methodology and CI-CD practices: GitLab CI, Ansible, Docker, Terraform, Jenkins, Kubernetes. This set is optional and can be changed, depending on the tasks that need to be solved.

**Keywords:** DevOps, CI-CD, Docker, Kubernetes, Gitlab-CI, Jenkins, Ansible, Terraform

DevOps объединяет процессы разработки и эксплуатации программного обеспечения для повышения эффективности, скорости и безопасности создания информационных систем по сравнению с традиционными методами. Более быстрый жизненный цикл разработки программного обеспечения обеспечивает конкурентное преимущество компаниям разработчиков и их клиентам. Инструменты DevOps тесно входят в нашу жизнь, а специалисты, владеющие ими, наиболее востребованы на рынке труда.

Цель исследования – рассмотреть наиболее важные аспекты методологии DevOps для их максимально эффективного внедрения в процессы разработки программного обеспечения.

### Материалы и методы исследования

Методы исследования включают в себя анализ и обобщение исходной информации из литературных источников авторитетных авторов в области современных методов проектирования информационных систем.

DevOps (development & operations) – это методология автоматизация процессов сборки, настройки и развертывания (установки) приложений [1]. Данная методология подразумевает, что DevOps инженер (специалист) будет работать совместно с разработчиком программного обеспечения (ПО) для автоматизации сборки и установки ПО. DevOps неразрывно связан с описанием CI-CD процесса. CI-CD – Continuous integration and continuous delivery (непре-

рывная интеграция и непрерывная доставка). Непрерывная интеграция – это интеграция отдельных частей кода программного обеспечения, которые в процессе сборки соединяются между собой. Это позволяет чаще производить итерации тестирования и сборки, тем самым ускоряется и делается более гибким процесс создания ПО. Непрерывная доставка – это подход к разработке программного обеспечения, при котором ПО автоматически передается и разворачивается на рабочих серверах (станциях).

Методология DevOps представляет собой обширную тему. Это значительно более глубокое понятие, чем настройка и установка программного обеспечения. DevOps затрагивает абсолютно разные инструменты и языки программирования для реализации принципов данной методологии. Рассмотрим CI-CD процесс в его наиболее предпочтительной форме (рис. 1).

Данный процесс идет непрерывно во времени, и каждая его стадия сменяет предыдущую. CI (Continuous integration) процесс состоит из следующих основных этапов: Plan, Code, Build, Test. **Plan** – этап планирования. На данном этапе идет обсуждение и постановка целей и задач на ближайшее время. **Code** – написание кода. На данном этапе разработчики пишут код в соответствии с поставленными задачами с использованием системы контроля версий. **Build** – сборка. На данном этапе части кода, написанные участниками команды разработчика, собираются в единый код приложения. **Test** – тестирование. На данном этапе происходит тестирование собранного кода, в том числе средствами автоматизированного тестирования.

CD (Continuous delivery) процесс состоит из следующих основных этапов: Release, Deploy, Operate, Monitor [2]. **Release** – этап

выпуска программного продукта. На данном этапе принимается решение о выпуске соответствующей версии разрабатываемого ПО или отдельного микросервиса. **Deploy** – этап развертывания. На данном этапе происходит развертывание разрабатываемого ПО или отдельного микросервиса на серверах или рабочих станциях в автоматизированном режиме. **Operate** – процесс эксплуатации ПО. На данном этапе разрабатываемое ПО или приложения на базе микросервисной архитектуры эксплуатируются непосредственно клиентами. **Monitor** – процесс сбора данных об эксплуатируемом программном продукте. На данном этапе специалисты DevOps производят оценку текущих релизов с целью формирования заданий для будущего развития проекта. Наличие обратной связи позволяет построить процесс разработки информационных систем с непрерывным повышением качества.

Следует отметить, что DevOps инструменты в своем составе содержат [3]:

- GitLab CI;
- Ansible;
- Docker;
- Terraform;
- Jenkins;
- Kubernetes.

Данный набор не является обязательным и может быть изменен в зависимости от задач, которые необходимо решить.

Одним из основных инструментов для разработки по методологии DevOps является Docker (Докер). Docker – это популярная технология контейнеризации [4]. Появилась она в 2013 г. Идея контейнеризации преследует цель изолировать процессы, выполняющиеся внутри контейнера, от внешней операционной системы и сопутствующих зависимостей.

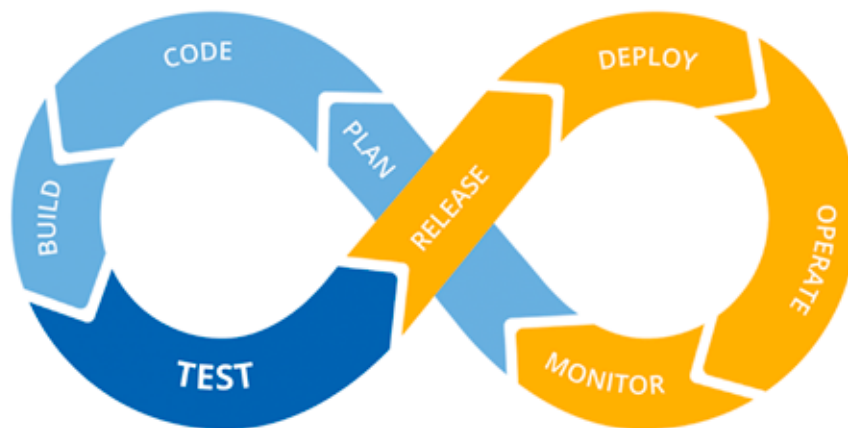


Рис. 1. Иллюстрация CI-CD процесса



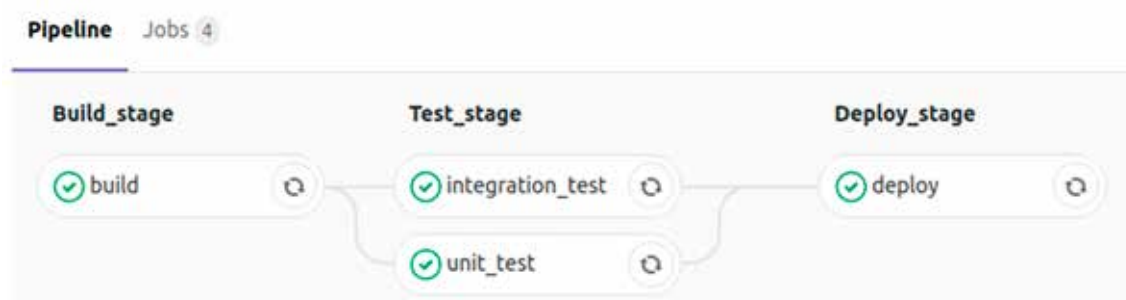


Рис. 2. Пример gitlab-ci пайплайна

С помощью контейнеров очень удобно разделять и запускать ПО модульно. Кроме того, системы контейнеризации позволяют управлять группами контейнеров, что является одной из основных причин их популярности в современных средствах разработки. Мы не будем углубляться в отличие виртуализации от контейнеризации, это отдельная достаточно хорошо описанная тема [5].

Одним из основных понятий, которые используются при работе с системой контейнеризации Docker, является «docker image». Docker image (образ) – неизменяемый файл, из которого создаются контейнеры. Все приложения упаковываются в образы. Чтобы в контейнерах могло что-либо запускаться, образы основываются на какой-либо «легкой» операционной системе ОС, например дистрибутиве Linux Ubuntu. Можно построить на основе этого образа свой, дополненный образ, где будут установлены только те пакеты, которые нужны для данной части сервиса (приложения).

Как было отмечено выше, DevOps предполагает автоматизированный процесс сборки, тестирования и установки ПО. Для начала необходимо понять, на каком этапе требуется собирать разрабатываемое ПО. Допустим это будет отведения тега в репозитории – тогда мы сталкиваемся с первым инструментом GitLab-CI.

GitLab-CI – это встроенный в GitLab инструмент, который позволяет автоматизировать процессы сборки. У GitLab-CI есть несколько основных понятий – это pipeline (пайплайн), job'a (дジョба), и stage (этап). Пайплайн – это набор дジョб и этапов. Каждая дジョба привязывается к своему этапу, для определения последовательности выполнения дジョб. Дジョба выполняется в отдельном докер-контейнере, на основе docker image, который задается при конфигурации пайплайна и дジョба. В дジョбе описываются bash скрипты, которые будут выполняться на данном этапе. Это может быть вызов любых скриптов, основное условие, чтобы это было установлено в docker image. GitLab-CI

пайплайн может быть вызван на любое событие, которые будет прописано в конфигурации. Событиями может быть отведение тега, название ветки, в которой был сделан коммит, и многое другое (рис. 2). Мы не будем углубляться в особенности этого процесса, поскольку они обычно определяются спецификой разрабатываемого ПО.

Для того чтобы построить процесс сборки, необходимо протестировать все обновления, которые появились в этом теге. Для самого начального уровня тестирования можно использовать линтеры, которые будут проверять синтаксис кода, это будет как первый этап в пайплайне, назовем его linters. После этого следует собрать написанный разработчиками код в patch/build. Так же можно описать это в дジョбе, вызвав bash/python скрипт.

В действительности build может быть описан в любом удобном виде, например в виде готовых docker-образов. Тогда необходимо описать команды, для создания этих докер-образов. Важно понимать, что для хранения докер-образов требуется использовать специальный репозиторий. Это может быть любой docker registry, например docker hub, где лежит большинство Open Source докер-образов.

Следующий этап – это развертывание докер-образов на каком-либо сервере, но, чтобы этого достичь, необходимо добиться того, чтобы этот сервер был сконфигурирован. Тут мы переходим к такому инструменту, как Terraform. Он позволит нам развернуть сервер в облачной инфраструктуре.

Terraform – это инструмент для управления инфраструктурой. В данном случае инфраструктура – это инстансы, сети и т.д. Инстанс EC2 – это ресурс с такими атрибутами, как тип машины, загрузочный образ, группа безопасности и зона доступности. Если простыми словами, Terraform позволяет развернуть сервер(а) по описанной конфигурации в файле, на таких облачных инфраструктурах, как Amazon и др. (рис. 3).

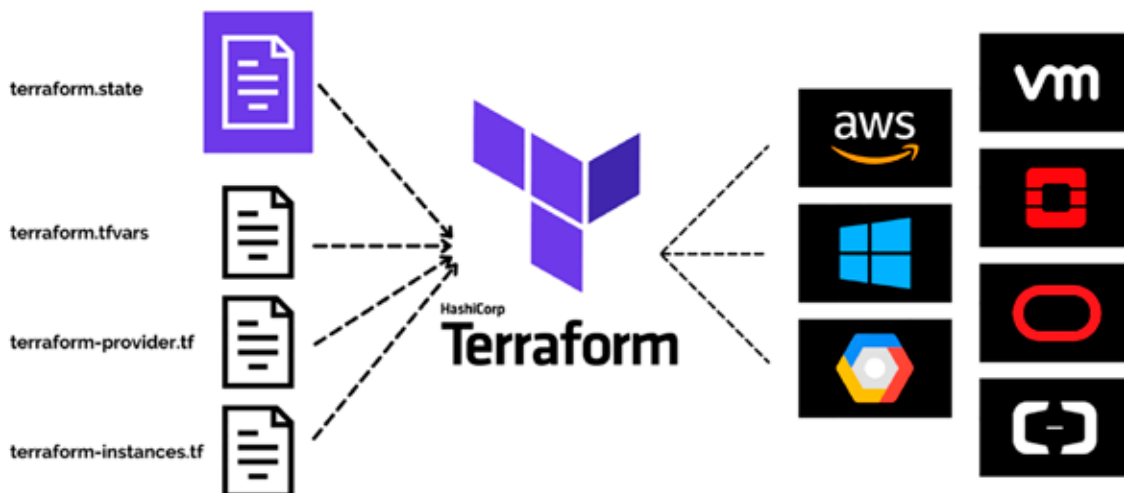


Рис. 3. Схема работы Terraform

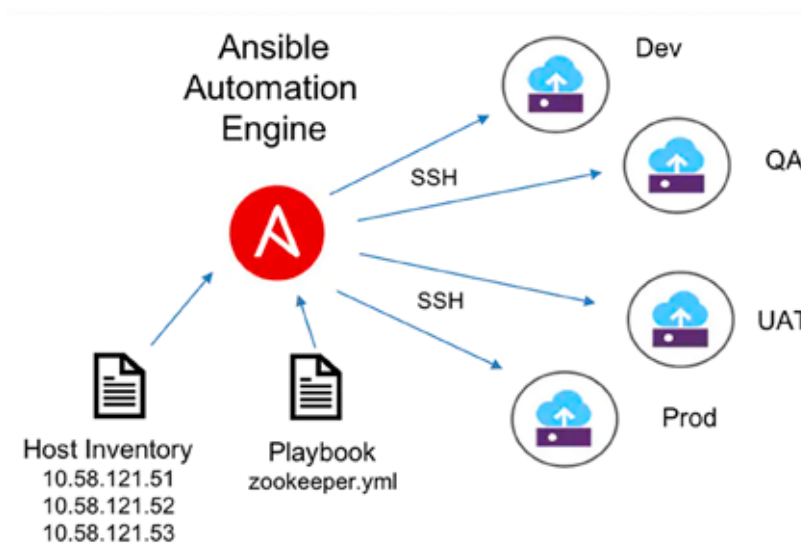


Рис. 4. Схема работы Ansible

Terraform может справиться с разворотом виртуальной машины и настройкой сети. Однако поставка необходимых third-party по типу protobuf или python3 не входит в возможности Terraform. Для этого следует использовать такой инструмент, как Ansible.

Ansible – система управления конфигурациями, написанная на языке программирования Python (рис. 4).

Данный инструмент позволяет нам описать порядок действий для установки и выполнения различных команд. Конфигурацию следует прописывать для каждого отдельного хоста. В ansible терминах конфигурация называется – inventory. Она содержит в себе информацию о хостах и переменных, которые будут распространяться на данный хост. Например, если необходимо установить ряд

пакетов с помощью пакетного менеджера yum, следует использовать стандартный ansible модуль yum. С помощью данного инструмента мы можем выстраивать логику установки и ее конфигурацию для каждой рабочей станции (сервера) отдельно.

После развертывания виртуальной машины и установки на нее всего необходимого с помощью ansible следует перейти к этапу разворачивания docker-image (докер образов). Здесь обычно применяется инструмент Kubernetes [6]. Он служит для автоматического развертывания собранных docker-образов.

Kubernetes – это портативная расширяемая платформа, которая позволяет управлять контейнерами и конфигурировать рабочие нагрузки и сервисы (рис. 5).

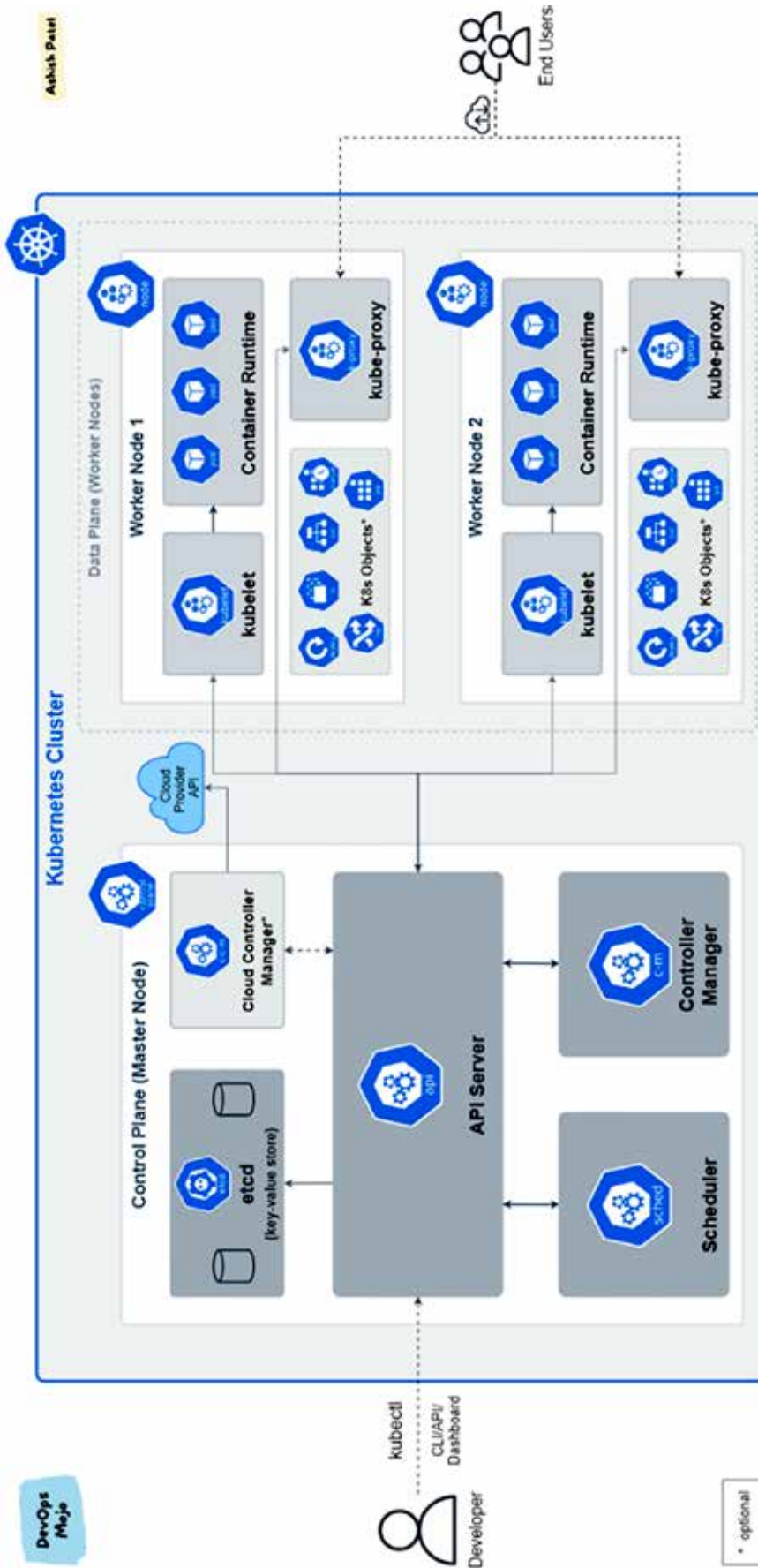


Рис. 5. Схема работы Kubernetes



В общем случае Kubernetes – это оркестратор для docker-контейнеров. Кроме того, он позволяет масштабировать приложение, производить мониторинг и распределение нагрузки между сервисами, а также осуществлять оркестрирование хранилища данных и пр.

После того, как специалисты DevOps (DevOps инженеры) развернули приложение, и оно работает в докер-контейнерах под управлением Kubernetes'a, следует начать тестирование приложения. Здесь обычно осуществляются request-запросы, какие-либо внутренние тесты и т.д., все это делается на уровне описания Gitlab-ci джобы.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования можно представить в виде следующих основных стадий процесса разработки ПО в соответствии с методологией DevOps:

1. После многочисленных изменений и правок в коде отводится тег от главной ветки git репозитория (часто данный тег называется «release»).

2. С помощью GitLab-CI запускается пайплайн (по тегу), который несет в себе ряд джоб и этапов:

2.1. Этап проверки синтаксиса кода (linters) – проверяет код на синтаксические ошибки.

2.2. Тестирование ПО. Данный этап не был освещен подробно, однако это не снижает его важности в процессе разработки ПО. Есть разные методологии тестирования ПО. Предпочтение следует отдавать автоматизированным методам. Это позволит снизить риски ошибок на данном этапе и значительно ускорить процесс.

2.3. Этап сборки (build) – собираются докер-образы из кода, который находится в данной ветке (теге) и загружаются в docker registry.

2.4. Этап разворачивания сервера (infra\_deploy) – в данном этапе используется Terraform для конфигурации машины в облачном сервисе, а после запускается Ansible скрипт, который позволит установить все необходимое для разворачивания docker-образов.

2.5. Этап установки (deploy) – на данном этапе устанавливаются (разворачиваются) докер-контейнеры на сервере с помощью оркестратора Kubernetes.

2.6. Этап тестирования (tests) – на данном этапе происходит тестирование приложения, это могут быть requests-запросы или же иные способы.

3. После полной обработки пайплайна получается готовая версия приложения на сервере, вместе с собранными образами, которые можно отправлять заказчику.

На этом процесс сборки и тестирования может считаться завершенным. Далее следует отправить готовый программный продукт на сторону заказчика. Для этого вместе gitlab-ci можно использовать Jenkins.

Jenkins – программная система с открытым исходным кодом на Java, предназначенная для обеспечения процесса непрерывной интеграции программного обеспечения. Основное отличие Jenkins'a от GitLab-CI в том, что gitlab-ci подходит больше для единой, не гибкой системы развертывания и тестирования. Jenkins же позволяет быть максимально гибким и безопасным. Он также имеет свои джобы и пайплайны, однако в данном случае не предусмотрено внесение изменений в репозиторий. При работе с Jenkins существует возможность выстроить аналогичный deploy процесс, как и в gitlab-ci, при этом указывая разные параметры и ссылки на конфигурации, что позволит правильно распределить сервера.

### Заключение

В данном исследовании были рассмотрены основные аспекты работы DevOps-инженера и DevOps как методологии в целом. Кроме того, приведены основные этапы CI-CD процесса. Следует отметить, что методология DevOps на практике сталкивается с множеством тонкостей и проблем в своей работе, потому специалисту необходимо знать и понимать весь этот процесс, начиная от написания исходного кода и заканчивая установкой разрабатываемого ПО на сторону заказчика.

### Список литературы

1. Дженнифер Д., Дэниел К. Философия DevOps. Искусство управления IT. СПб.: Питер, 2019. 600 с.
2. Вольф Э. Continuous delivery. Практика непрерывных апдейтов. СПб.: Питер, 2017. 320 с.
3. Ким Д., Дебуа П., Уиллис Д., Хамбл Д. Руководство по DevOps. М.: Манн, Иванов и Фербер (МИФ), 2018. 540 с.
4. Моуэт Э. Использование Docker. М.: ДМК-Пресс, 2017. 354 с.
5. Андреев Р. Виртуализация и контейнеризация: обзор технологий и в чем разница. [Электронный ресурс]. URL: <https://timeweb.cloud/blog/virtualizaciya-i-kontejnerizaciya-raznica> (дата обращения: 23.03.2023).
6. Основы Kubernetes. [Электронный ресурс]. URL: <https://kubernetes.io/ru/docs/tutorials/kubernetes-basics/> (дата обращения: 23.03.2023).

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 664.8

## ИННОВАЦИОННАЯ УПАКОВКА ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Бурак Л.Ч., Сапач А.Н.

*ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com, alexander@belrosakva.by*

Существенное влияние на качество и безопасность пищевых продуктов, а также срок годности продукта и привлекательность для покупателя оказывает упаковка. Традиционная пищевая упаковка обеспечивает защиту продуктов питания от порчи в процессе хранения пищевых продуктов до момента их употребления. Многие годы пластиковые пленки использовались в качестве барьера для защиты пищевых продуктов от тепла, влаги, микроорганизмов, пыли и частиц грязи. Научные исследования последних десятилетий и промышленное внедрение включают в себя дополнительные функции барьерных пленок для увеличения срока годности пищевых продуктов, такие как активная упаковка и интеллектуальная упаковка. Кроме того, восприятие потребителя влияет на упаковочные материалы, дизайн, и немаловажное значение имеет экологическая составляющая. Благодаря развитию прикладных технологий в пищевой промышленности появилась устойчивая упаковка, удовлетворяющая требованиям потребителей к экологически чистой продукции. В данной обзорной статье рассмотрены вопросы, касающиеся значения упаковки пищевых продуктов в отношении качества и безопасности пищевых продуктов. Проведен краткий критический обзор научных публикаций по разработке и применению передовых интеллектуальных, активных и интеллектуальных систем упаковки, их преимуществам и недостаткам, а также свойствам кислородного барьера.

**Ключевые слова:** активная упаковка, полимеры, интеллектуальная упаковка, качество, безопасность, пищевые продукты, прикладные технологии, потребитель

## INNOVATIVE FOOD PACKAGING

Burak L.Ch., Sapach A.N.

*LLC Belrosakva, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com, alexander@belrosakva.by*

Packaging has a significant impact on the quality and safety of food products, as well as the shelf life of the product and attractiveness to the buyer. Traditional food packaging protects food from spoilage during the storage of food until it is consumed. For many years, plastic films have been used as a barrier to protect food from heat, moisture, micro-organisms, dust and dirt particles. Recent decades of scientific research and industrial adoption include additional features of barrier films to extend food shelf life, such as active packaging and smart packaging. In addition, consumer perceptions affect packaging materials, design and environmental considerations. Thanks to the development of applied technologies in the food industry, sustainable packaging has appeared that meets the requirements of consumers in environmentally friendly products. This review article addresses issues related to the importance of food packaging in relation to food quality and safety. A brief critical review of scientific publications on the development and application of advanced intelligent, active and intelligent packaging systems, their advantages and disadvantages, as well as the properties of the oxygen barrier was carried out.

**Keywords:** active packaging, polymers, intelligent packaging, quality, safety, food products, applied technologies, consumer

Технологический процесс производства пищевых продуктов включает в себя многие основные этапы, одними из которых являются подготовка сырья, обработка и упаковка. Упаковка оказывает существенное влияние на качество, безопасность пищевых продуктов, сохранение потребительского качества продукта и срок его годности. Основные задачи любой упаковки: обеспечивать надлежащую сохранность продукта в процессе хранения, транспортировки и реализации потребителю; обеспечивать защиту от физических повреждений, процессов химической и микробиологической порчи; хранить пищевые продукты до момента их потребления в течение всего срока годности, а также содержать всю необходимую информацию для потребителя в соответствии с требованиями законодательных актов и ТНПА [1, 2].

В последние годы в пищевой промышленности для упаковки стали применяться биоактивные пленки и умные технологии

[3–5]. Пластиковые пленки, благодаря их малому весу, простоте обработки и низкой стоимости, стали наиболее приемлемыми для применения в упаковке пищевых продуктов. Достижения последнего десятилетия включают в себя дополнительные функциональные возможности барьерных пленок для увеличения срока годности пищевых продуктов, такие как активная упаковка и интеллектуальная упаковка [6–9]. Данные виды упаковки позволяют обеспечить увеличение срока годности пищевых продуктов за счет упрощения производственных процессов или сохранения пищевых продуктов с минимальным использованием консервантов [10].

Восприятие потребителя и его требования влияют на упаковочные материалы и дизайн [11]. Доля потребителей, предпочитающих экологически чистую упаковку и минимально обработанные продукты, существенно возрастает [12]. В ответ на предпочтения потребителей и экологические

проблемы развиваются прикладные технологии и внедряются в промышленное пищевое производство [13].

Цель данной статьи – обзор опубликованных, в основном за последние 10 лет, научных исследований, в которых рассматриваются важность упаковки пищевых продуктов в отношении качества и безопасности пищевых продуктов; применение упаковки из полимеров (на нефтяной и биологической основе); разработка и применение передовых интеллектуальных, активных и интеллектуальных упаковочных систем и, кроме того, свойства кислородного барьера.

#### *Полимеры для пищевой упаковки*

Полимеры широко используются для упаковки пищевых продуктов из-за простоты производства, прочных молекулярных сетей или сшивания и качественных эксплуатационных характеристик (например, прочности, барьера для кислорода и влаги и устойчивости к воздействию пищевых компонентов) [14–17]. Полимеры бывают биоразлагаемые и небiorазлагаемые. Полипропилен (ПП), полиэтилен (ПЭ), полиэтилен-со-винилацетат (ПЭСА), поливинилхлорид (ПВХ) и полиэтилентерефталат (ПЭТ) не являются биоразлагаемыми полимерами, которые обычно используются в упаковке активных пищевых продуктов [18]. Целлюлоза, хитозан, крахмал, агар, желатин, соевый белок и белок молочной сыворотки являются биоразлагаемыми полимерами на природной основе [19], которые имеют преимущества перед полимерами на нефтяной основе с точки зрения потребителя и экологической безопасности.

Биоразлагаемые, устойчивые и широкодоступные полимеры подразделяются на полимеры полисахаридного типа и полимеры на основе белков [20, 21]. Среди полимеров полисахаридного типа целлюлоза представляет собой полисахарид, состоящий из линейной цепи  $\beta$ -1,4 связанных звеньев D-глюкозы. Хитозан представляет собой линейный полисахарид, состоящий из случайных  $\beta$ -1,4-связанных D-глюкозамина и N-ацетил-D-глюкозамина. Целлюлоза и хитозан широко используются для упаковки пищевых продуктов благодаря их хорошей пленко- и гелеобразующей способности, возможности вторичной переработки и присущим им антимикробным свойствам [21]. Крахмал состоит из линейных и разветвленных звеньев D-глюкозы, связанных  $\alpha$ -1,4 и  $\alpha$ -1,6 гликозидными связями; его можно использовать для упаковки пищевых продуктов в качестве клея и добавки. Имеющиеся в продаже крахмал и крахмальные смеси включают Ecofram™, Solanyl™, Biocool™, Bioplast

™ и Pantic™ [2]. Полимеры белкового типа, например соевый белок, обладают широким спектром функциональных свойств по сравнению с пленками на белковой основе из-за потенциала межмолекулярного связывания через ковалентные связи [20]. Желатин обладает сильной пленкообразующей способностью и широко используется из-за его доступности [22].

Смесь полимолочной кислоты (ПМК) представляет собой синтетический термопластичный полиэфир. Это промышленный экологически чистый биоразлагаемый полимер в сочетании с противомикробными агентами для формирования пленок на основе ПМК, используемых для упаковки сухих и скоропортящихся пищевых продуктов, обычно продуктов с коротким сроком хранения, таких как фрукты, овощи и мясо [2, 21, 22].

#### *Умные системы упаковки пищевых продуктов*

Быстрорастущее потребление упакованных продуктов питания и напитков привело к инновационным системам упаковки из-за увеличения сложности продукта, глобализации продуктов питания и потребностей потребителей в экологически чистой упаковке. В результате на мировом рынке появились умная упаковка, активная упаковка и интеллектуальная упаковка со своими приложениями.

Умные упаковочные системы широко используются в продуктах питания и напитках, товарах медицинского назначения, средствах личной гигиены и т.д., которые могут отслеживать физико-химические воздействия, такие как условия окружающей среды, а также предотвращать микробиологические изменения. Активная упаковка и интеллектуальная упаковка, которые подробно обсуждаются ниже, являются видами интеллектуальной упаковки.

#### *Активная пищевая упаковка*

Система активной упаковки – это передовая технология, в которой активные компоненты (например, антиоксиданты) внедряются в полимерную матрицу упаковки [23]. Затем полимерная матрица высвобождает или поглощает вещества из консервированных пищевых продуктов или окружающей среды или в них, чтобы поддерживать и продлевать срок годности пищевых продуктов. Система функционирует как полимерная матрица, основанная на полимеризации полимеров или биополимеров и биоактивных веществ, высвобождаемых естественным путем в пищу или окружающую среду [10].

Активная упаковка для пищевых продуктов представляет собой хороший потенциал для поддержания качества и безопасности пищевых продуктов, особенно продуктов, чувствительных к окислению. Активные агенты для упаковки пищевых продуктов включают противомикробные препараты, антиоксиданты, излучатели/поглотители углекислого газа, поглотители кислорода и поглотители этилена [11].

#### *Антимикробные препараты*

Антимикробная упаковка интегрирует противомикробные агенты в полимерную пленку для подавления целевого микробного действия. Противомикробные агенты, такие как органические кислоты (например, бензойная кислота), ферменты (например, лизоцим), бактериоцины, фунгициды и поглотители кислорода (например, бутилированный

гидрокситолуол), широко используются в системах упаковки пищевых продуктов для предотвращения роста патогенных микроорганизмов во время хранения, производства, транспортировки и хранения пищевых продуктов. Преимуществом метода является контролируемое высвобождение в виде пролонгированного или медленного высвобождения активных веществ в течение постулируемого периода. Антимикробная упаковка применяется для пищевых продуктов без консервантов, в которых наиболее вероятно развитие патогенных микроорганизмов, таких как хлеб, торт, сыр и мясо [24].

Химические добавки постепенно заменяются природными соединениями, такими как фитохимические вещества, бактериоцины и ферменты, в связи с растущим потребительским спросом на натуральные и безопасные пищевые продукты.

Активные вещества, используемые для упаковки пищевых продуктов

Наименование	Функциональное назначение	Пищевые продукты
Хитозан	Антимикробный агент	Фрукты, хлеб, мясо, рыба
Эфирные масла		
Галловая кислота		
Лактоферрин		
Лизоцим		
Металлы		
Низин		
Эфирные масла	Антиоксидант	Зерновые, орехи, мясо, мясные продукты
Лигнин		
Экстракты растений		
Фенольные соединения		
А-токоферол		
Лимонная кислота	Поглотитель/излучатель углекислого газа	Мясо, фрукты, овощи
Карбонат железа		
Бикарбонат натрия		
Аскорбиновая кислота	Поглотитель/поглотитель кислорода	Большинство хлебобулочных изделий и орехи, мясо, рыба, фрукты
Галловая кислота	Поглотитель кислорода	Большинство хлебобулочных изделий, мясо, рыба, фрукты
Глюкозооксидаза		
Железо		
Лакказы		
Палладий		
Пирогаллол		
Активированный уголь	Поглотитель этилена	Фрукты, например киви, банан; овощи
Перманганат калия		
Оксиды металлов		
Диоксид титана		

Природные антимикробные агенты, содержащиеся в пищевых продуктах, имеют более широкое применение в упаковке пищевых продуктов и являются экологически более безопасными и эффективными, например эфирные масла, извлеченные из гвоздики, розмарина, орегано, лемонграсса, базилика и фенхеля [25]. Перечень активных веществ, применяемых для упаковки пищевых продуктов, указан в таблице.

#### *Антиоксиданты*

Антиоксиданты подавляют нежелательные микробиологические изменения и окислительные реакции, продлевая срок годности пищевых продуктов. Использование натуральных антиоксидантов в упаковке пищевых продуктов является новой тенденцией в пищевой промышленности в ответ на растущий потребительский спрос на натуральные продукты.

Экстракты растений из стеблей, корней, листьев и семян плодов эффективно используются в качестве антиоксидантных компонентов в упаковке пищевых продуктов [26]. Экстракты растений содержат значительное количество полифенолов, флавоноидов, алкалоидов и терпеновых веществ, обладающих доказанными антиоксидантными свойствами. Экстракты растений, добавляемые в упаковочные материалы, применяются в виде пленок.

Эфирные масла таких растений, как тмин, фенхель, мята, тимьян, розмарин, корица, лук и чеснок, признаны антиоксидантами. Эти соединения вводят в биополимерную матрицу, например желатиновые и желатин-монтмориллонитовые пленки, для улучшения антиоксидантных свойств [14].

Фенольные соединения, такие как полифенолы, флавоноиды и хиноны из растительных экстрактов, могут действовать как противомикробные, так и антиоксидантные агенты.

Антиоксиданты растительного происхождения, включенные в активную упаковку, препятствуют порче и ухудшению качества пищевых продуктов без прямого контакта с пищевыми продуктами и изменения органолептических качеств [27].

#### *Поглотители кислорода*

Остаточный кислород в пищевых упаковках вызывает бактериальную порчу, развитие неприятного вкуса, изменение цвета, потерю питательных веществ и образование токсичных конечных продуктов. Поглотители кислорода добавляются в закрытую упаковку для удаления или снижения уровня кислорода в упаковке, чтобы ингибировать образование аэробных патогенных

микроорганизмов и окисление, а также поддерживать качество продуктов с высоким содержанием ненасыщенных жиров. Поглотители кислорода обычно используются для упакованных пищевых продуктов и фармацевтических продуктов.

#### *Поглотители углекислого газа*

Роль двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>), используемой в пищевой упаковке, связана с защитой пищевых продуктов от окисления и его противомикробным действием. Углекислый газ может ингибировать рост микробов и хорошо растворяется в пищевых матрицах при упаковке в модифицированной атмосфере. Упаковка в модифицированной атмосфере (УМА) – это метод упаковки, который включает активный или пассивный контроль или изменение газового состава среды хранения пищевых продуктов для уменьшения окисления пищевых продуктов и роста аэробных организмов, вызывающих порчу. Пассивная УМА достигается, когда желаемая атмосфера создается естественным образом за счет дыхания пищевого продукта. Активная УМА достигается заменой газов в упаковке желаемой смесью газов [28]. Метод поглотителя углекислого газа используется в сочетании с охлаждением для свежих и ферментированных пищевых продуктов. Промышленное использование активной упаковки пока ограничено из-за незначительного применения в промышленном масштабе и низкой стабильности активных агентов

#### *Поглотители этилена*

Поглотители этилена используются для хранения фруктов и овощей, поскольку этилен приводит к нежелательным изменениям цвета и неприятному привкусу, что сокращает срок хранения фруктов и овощей во время послеуборочной обработки и хранения

#### *Интеллектуальная упаковка*

Интеллектуальная система упаковки указывает и контролирует физико-химические параметры продукта (например, степень свежести) и его влияние на окружающую среду (например, температуру, уровень pH, газ) во время транспортировки и хранения [29]. Устройство, разработанное для упаковки, может воспринимать любые изменения внутри или снаружи, а затем информировать потребителя о состоянии продукта, предоставляя звуковую и визуальную информацию. Центральной частью интеллектуальной упаковки является интеграция датчиков, или индикаторов, или систем радиочастотной идентификации (РЧИ).

### *Датчики*

Интеллектуальный датчик (например, биосенсор, датчик газа) представляет собой устройство, которое содержит рецептор, преобразующий химическую или физическую информацию в форму энергии, и преобразователь, преобразующий энергию в полезный аналитический сигнал. Устройство может локализовать, обнаруживать или количественно определять материю или энергию, а затем посылать сигналы для обнаружения химического или физического свойства, на которое реагирует устройство [1]. Биосенсоры обнаруживают, передают и записывают информацию о биологических реакциях, которые включают биорецептор (специфический для целевого анализируемого вещества, такого как микробы, гормоны, ферменты, антигены) и преобразователь (для преобразования биологических сигналов в электрический ответ, такой как электрохимический, оптический) [30]. Сенсоры газа реагируют на наличие газообразного анализируемого вещества в упаковке количественно и обратимо, а затем изменяют физические параметры сенсора и контролируются внешним устройством. Зарубежные промышленные индикаторы газа: Ageless Eye™, Shelf Life Guard, Tell-Tab и Tufflex GS [31].

### *Индикаторы*

Интеллектуальные индикаторы – это вещества, которые дают информацию о качестве, температуре, утечке, образовании и концентрации углекислого газа, микробиологическом статусе, свежести, внешнем виде или цвете. Более того, температурно-временные индикаторы дают информацию о температуре и показывают вариацию и историю изменения температуры [32]. Кислородные индикаторы дают информацию об утечке и ухудшении качества пищевых продуктов УМА [33]. Цветовые индикаторы сообщают информацию с помощью ярлыков, прикрепленных в виде небольших клейких этикеток к внешней стороне упаковки пищевых продуктов [34]. Индикаторы патогенов дают информацию о микробиологическом статусе. Индикаторы нарушения целостности дают информацию о поврежденной упаковке. Индикаторы свежести обнаруживают рост патогенных микроорганизмов и показывают информацию о качестве продуктов в отношении порчи и микробного роста [35, 36]. Fresh Tag®, Sensor<sup>QT</sup>™, Food Sentinel System и Toxin<sup>Guard</sup>® являются промышленными индикаторами свежести.

### *Радиочастотная идентификация (РЧИ)*

Радиочастотная идентификация (РЧИ) – это беспроводная связь, основанная на метках и считывателях, размещенных на контейнерах и поддонах, для сбора в режиме реального времени информации о температуре, относительной влажности, сроке годности и пищевой ценности посредством управления цепочкой поставок [4, 8]. Примерами таких устройств, промышленно используемых, являются Easy2log®, Intelligent Vox и Temptrip.

Преимущество интеллектуальной системы упаковки заключается в предоставлении информации, продлении срока годности, улучшении качества продуктов питания и повышении безопасности. Однако это увеличивает конечную стоимость пищевых продуктов, в частности системы РЧИ, а также риск потенциальной миграции частиц упаковки в пищевые продукты [6].

### *Свойства кислородного барьера*

Окислительная порча является одной из основных проблем, связанных со сроком годности пищевых продуктов. Добавление антиоксидантов является экономичным и эффективным физико-химическим способом. Методы кислородного барьера – это применение полимеров в пищевой упаковке [37, 38]. Функция полимерного барьера состоит в том, чтобы остановить проникновение кислорода через пищевую упаковку. Применяемые промышленные кислородные барьеры включают сополимер этилена и винилового спирта (СЭВС), полиакрилонитрил (ПАН), поликетон (ПК) и полиэтилен-терефталат (ПЭТ). Кислородные барьеры, например кислородный барьер BarrierGuard на основе ПЭТ, применяются для пищевых продуктов, чувствительных к окислению, включая орехи, масла, детское питание, кофе и овощи [39].

Полимеры полисахаридного типа образуют пленки и покрытия, которые являются хорошими кислородными барьерами, связанными с большим количеством водородных связей, которые помогают соседним цепям плотно связываться друг с другом. Полимеры на основе белков также являются хорошими кислородными барьерами и могут нести активные вещества, которые могут мигрировать на поверхность пищевых продуктов [40].

### *Восприятие потребителей*

Состав продукта, способ производства и упаковка являются тремя наиболее важными показателями, которые влияют на окружающую среду по результатам

опроса потребителей ( $n = 797$ ) [20]. С ростом осведомленности новой тенденцией в пищевом секторе становятся требования потребителей к экологически чистой упаковке. Упаковочные материалы и информация, отображаемая на упаковке, влияют на ожидания потребителей и готовность к покупке [41]. Потребители предпочитают упаковку пищевых продуктов с использованием добавок из природных источников и инновационных материалов, которые могут быть переработаны, например, на основе крахмала и белков [42].

Преимущественное использование в продуктах имеют пищевые пленки и покрытия с природными антимикробными агентами и биологически активными полимерами, содержащимися в углеводах или белках. Например, обычно используемые материалы для пищевых пленок и покрытий включают низин, соевый белок и желатин, хитозан, крахмал, кукурузный крахмал, рисовый крахмал, агар и каррагинан [43–45]. Съедобные пленки на основе агара, содержащие функциональные вещества (например, экстракт зеленого чая, эфирное масло корицы), подавляют рост пищевых патогенов, улучшают качество и продлевают срок годности пищевых продуктов. Пленки на основе крахмала с добавлением эфирных масел – это концепция экологичной упаковки пищевых продуктов из возобновляемых источников [46, 47]. Хитозановые пленки используются в качестве пищевых пленок и покрытий. Пленки соевого белка, покрытые низином и натуральными растительными экстрактами (например, экстрактом виноградных косточек, экстрактом зеленого чая), можно использовать для упаковки готового к употреблению мяса [19].

### Заключение

Самыми последними достижениями в области упаковки пищевых продуктов стали разработка активной упаковки и интеллектуальной упаковки, а также разработка биоразлагаемых полимеров, пищевых пленок и покрытий. С экономической точки зрения инновационная упаковка для пищевых продуктов сокращает количество пищевых отходов или предотвращает потерю качества продуктов за счет увеличения срока годности продуктов. Кроме того, использование возобновляемых биоразлагаемых упаковочных материалов сводит к минимуму воздействие на окружающую среду. Это также приносит пользу здоровью потребителей.

Система активной упаковки включает активные компоненты для улучшения каче-

ства и срока хранения пищевых продуктов, а интеллектуальная система упаковки отслеживает условия и предоставляет информацию, касающуюся качества упакованных пищевых продуктов.

Активная упаковка имеет следующие преимущества: предотвращает окисление, рост микробов и потерю цвета, устраняет неприятный привкус и замедляет метаболизм пищи. Недостатки – это увеличение стоимости производства, возможная миграция сложных упаковочных материалов в продукты питания, отсутствие возможности вторичной переработки одноразовой упаковки.

Преимущество интеллектуальных упаковочных систем заключается в том, что они могут быть интегрированы в упаковку и их действие можно увидеть невооруженным глазом, а также в возможности непрерывного отслеживания внешних условий, способности предоставлять информацию о состоянии продуктов питания, предупреждать о возможных проблемах, снижать потери продуктов питания и обнаруживать повреждения во время транспортировки.

Натуральные антимикробные и антиоксидантные агенты (например, растительные экстракты, эфирные масла) являются наиболее предпочитаемыми потребителем и полезны для экосистемы, однако необходимы дальнейшие исследования *in vitro* для оценки безопасности и возможных побочных эффектов при использовании в пищевых продуктах. Кроме того, по сравнению с пластиковыми упаковочными материалами, пленки на биологической основе являются биоразлагаемыми, но имеют низкую эластичность, низкую термическую стабильность и высокую чувствительность к воде, поэтому необходимы дальнейшие исследования для улучшения их функциональных свойств.

Следует также отметить, что все обсуждаемые упаковочные системы должны быть недорогими по сравнению со стоимостью продукта, воспроизводимыми, приемлемыми для потребителя, не оказывать негативного воздействия на здоровье и быть безопасными для окружающей среды. На внедрение активной и интеллектуальной упаковки могут влиять различные факторы, такие как рыночные факторы, разрыв между наукой и промышленным внедрением и разрыв между производством и потребителями. В заключение можно сказать, что инновационная упаковка для пищевых продуктов представляет собой действенное решение для пищевой промышленности в поддержании качества и безопасности

пищевых продуктов. Дальнейшие научные исследования необходимы для восполнения вышеуказанных пробелов, с целью реализации крупномасштабного промышленного использования с минимальным воздействием на окружающую среду и удовлетворением запросов потребителя.

### Список литературы

1. Drago E., Campardelli R., Pettinato M., Perego P. Innovations in Smart Packaging Concepts for Food: An Extensive Review // *Foods*. 2020. Vol. 9. P. 1628.
2. Shaikh S., Yaqoob M., Aggarwal P. An overview of biodegradable packaging in food industry. *Curr. Res. // Food Sci*. 2021. Vol. 4. P. 503–520.
3. Karmaus A.L., Osborn R., Krishan M. Scientific advances and challenges in safety evaluation of food packaging materials: Workshop proceedings. *Regul. Toxicol. Pharm.* 2018. Vol. 98. P. 80–87.
4. Nogueira G.F., Soares C.T., Cavasini R., Fakhouri F.M., de Oliveira R.A. Bioactive films of arrowroot starch and blackberry pulp. Physical, mechanical and barrier properties and stability to pH and sterilization // *Food Chem*. 2018. Vol. 275. P. 417–425.
5. Vanderroost M. et al. Intelligent food packaging: The next generation // *Trends in food science & technology*. 2014. Vol. 39. No. 1. P. 47–62.
6. Han J.W. et al. Food packaging: A comprehensive review and future trends // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018. Vol. 17. No. 4. P. 860–877.
7. Schaefer D., Cheung W.M. Smart packaging: Opportunities and challenges // *Procedia Cirp*. 2018. Vol. 72. P. 1022–1027.
8. Müller P., Schmid M. Intelligent packaging in the food sector: A brief overview // *Foods*. 2019. Vol. 8. No. 1. P. 16.
9. Janjarasskul T., Suppakul P. Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2018. Vol. 58. No. 5. P. 808–831.
10. Wicochea-Rodríguez J.D. et al. Active food packaging based on biopolymers and aroma compounds: How to design and control the release // *Frontiers in chemistry*. 2019. Vol. 7. P. 398.
11. Guillard V. et al. The next generation of sustainable food packaging to preserve our environment in a circular economy context // *Frontiers in nutrition*. 2018. Vol. 5. No. 121.
12. Ahmed T. et al. Biodegradation of plastics: current scenario and future prospects for environmental safety // *Environmental science and pollution research*. 2018. Vol. 25. P. 7287–7298.
13. Omerović N. et al. Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. Vol. 20. No. 3. P. 2428–2454.
14. Ncube L.K. et al. Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials // *Materials*. 2020. Vol. 13. No. 21. P. 4994.
15. Firouz M.S., Mohi-Alden K., Omid M. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development // *Food Research International*. 2021. Vol. 141. P. 110113.
16. Ketelsen M., Janssen M., Hamm U. Consumers' response to environmentally-friendly food packaging-A systematic review // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 254. P. 120123.
17. Nilsen Nygaard J. et al. Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2021. Vol. 20. No. 2. P. 1333–1380.
18. Díez-Pascual A.M. Antimicrobial polymer-based materials for food packaging applications // *Polymers*. 2020. Vol. 12. No. 4. P. 731.
19. Asgher M. et al. Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials // *Food Research International*. 2020. Vol. 137. P. 109625.
20. Jamróz E., Kopel P. Polysaccharide and protein films with antimicrobial/antioxidant activity in the food industry: A review // *Polymers*. 2020. Vol. 12. No. 6. p. 1289.
21. Sarfraz J. et al. Biodegradable active packaging as an alternative to conventional packaging: A case study with chicken fillets // *Foods*. 2021. Vol. 10. No. 5. P. 1126.
22. Petrescu D.C., Vermeir I., Petrescu-Mag R.M. Consumer understanding of food quality, healthiness, and environmental impact: A cross-national perspective // *International journal of environmental research and public health*. 2020. Vol. 17. No. 1. P. 169.
23. Zhao Y. et al. Antimicrobial activity of bioactive starch packaging films against *Listeria monocytogenes* and reconstituted meat microbiota on ham // *International journal of food microbiology*. 2019. Vol. 305. P. 108253.
24. Sharma S. et al. Essential oils as additives in active food packaging // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 343. P. 128403.
25. Bahrami A. et al. Antimicrobial-loaded nanocarriers for food packaging applications // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2020. Vol. 278. P. 102140.
26. Amor G. et al. Basil essential oil: Composition, antimicrobial properties, and microencapsulation to produce active chitosan films for food packaging // *Foods*. 2021. Vol. 10. No. 1. P. 121.
27. Zhang Y. et al. Plant-derived antioxidants incorporated into active packaging intended for vegetables and fatty animal products: A review // *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2021. Vol. 38. No. 7. P. 1237–1248.
28. Wan-Mohtar W.A.A.Q. I. et al. Total quality index of commercial oyster mushroom *Pleurotus sapidus* in modified atmosphere packaging // *British Food Journal*. 2019. Vol. 121. No. 8. P. 1871–1883.
29. Vasile C., Baican M. Progresses in food packaging, food quality, and safety –controlled-release antioxidant and/or antimicrobial packaging // *Molecules*. 2021. Vol. 26. No. 5. P. 1263.
30. Rodrigues C. et al. Bio-based sensors for smart food packaging – Current applications and future trends // *Sensors*. 2021. Vol. 21. No. 6. P. 2148.
31. Nešić A. et al. Prospect of polysaccharide-based materials as advanced food packaging // *Molecules*. 2019. Vol. 25. No. 1. P. 135.
32. Alam A.U. et al. Fruit quality monitoring with smart packaging // *Sensors*. 2021. Vol. 21. No. 4. P. 1509.
33. Rahimah S. et al. Betacyanin as bioindicator using time-temperature integrator for smart packaging of fresh goat milk // *The Scientific World Journal*. 2020. Vol. 208. P. 58–67.
34. Yang Z. et al. Bilayer pH-sensitive colorimetric films with light-blocking ability and electrochemical writing property: Application in monitoring crucial spoilage in smart packaging // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 336. P. 127634.
35. Ibrahim S., Fahmy H., Salah S. Application of Interactive and Intelligent Packaging for Fresh Fish Shelf-Life Monitoring // *Frontiers in Nutrition*. 2021. Vol. 8. P. 677884.
36. Kim J. et al. Oxygen barrier properties of polyketone/EVOH blend films and their resistance to moisture // *Journal of Applied Polymer Science*. 2020. Vol. 137. No. 47. P. 49537.
37. Sahraee S. et al. Protection of foods against oxidative deterioration using edible films and coatings: A review // *Food Bioscience*. 2019. Vol. 32. P. 100451.
38. Chang Y. et al. Development of protein-based high-oxygen barrier films using an industrial manufacturing facility // *Journal of food science*. 2019. Vol. 84. No. 2. P. 303–310.



39. Souza E., Gottschalk L., Freitas-Silva O. Overview of nanocellulose in food packaging // *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. 2020. Vol. 11. No. 2. P. 154–167.
40. Kawhena T.G., Opara U.L., Fawole O.A. Effect of Gum Arabic and Starch-Based Coating and Different Polyliners on Postharvest Quality Attributes of Whole Pomegranate Fruit // *Processes*. 2022. Vol. 10. No. 1. P. 164.
41. Yao X. et al. Development of active and smart packaging films based on starch, polyvinyl alcohol and betacyanins from different plant sources // *International journal of biological macromolecules*. 2021. Vol. 183. P. 358–368.
42. Jeevahan J., Chandrasekaran M. Influence of nanocellulose additive on the film properties of native rice starch-based edible films for food packaging // *Recent patents on nanotechnology*. 2019. Vol. 13. No. 3. P. 222–233.
43. Vianna T.C. et al. Essential oils as additives in active starch-based food packaging films: A review // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 182. P. 1803–1819.
44. Salgado P.R. et al. Recent developments in smart food packaging focused on biobased and biodegradable polymers // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 5. P. 630393.
45. Sani M.A. et al. Recent advances in the development of smart and active biodegradable packaging materials // *Nanomaterials*. 2021. Vol. 11. No. 5. P. 1331.
46. Ribeiro-Santos R. et al. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends // *Trends in food science & technology*. 2017. Vol. 61. P. 132–140.
47. Tiekstra S. et al. Holistic approach to a successful market implementation of active and intelligent food packaging // *Foods*. 2021. Vol. 10. No. 2. P. 465.