

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»**

при поддержке:  
Российской академии естественных наук  
Академии наук Республики Башкортостан  
Общественной организации  
«Профессионалы дистанционного обучения»  
Ассоциации образовательных программ  
«Электронное образование Республики Башкортостан»  
Российского союза научных и инженерных  
общественных объединений  
Партнерского центра  
международного сертификационного холдинга IMQ

# **Информационные технологии Проблемы и решения**

У ф а  
УНПЦ «Издательство УГНТУ»  
2 0 2 1

**Информационные технологии. Проблемы и решения.** – Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ», 2021, 1(14). 80 С.

**Information technology.** – Ufa: ERPC «USPTU Publishing House», 2021, 1(14). 80 p.

**Учредитель:**

**ФГБОУ ВО Уфимский государственный  
нефтяной технический университет**

**2021, 1(14)**

Издается с 2014 г.

**РЕДКОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор**

Р.Н. Бахтизин, первый проректор Уфимского государственного нефтяного технического университета, д-р физ.-мат. наук, профессор

**Члены редколлегии**

Ю.Н. Белоножкин, канд. экон. наук, доцент кафедры финансы и кредит Сочинского государственного университета

Й. Дарадке, доцент, заместитель декана факультета вычислительной техники и сетей Университета принца Саттама бин Абдулазиза (PSAU) - Королевство Саудовская Аравия (KSA)

Ф.У. Еникеев, д-р техн. наук, профессор кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета

В.В. Ерофеев, д-р техн. наук, профессор, руководитель Челябинского регионального отделения РАЕН

Н.В. Корнеев, д-р техн. наук, профессор кафедры управления безопасностью сложных систем Губкинского университета, член-корр. РАЕН

И.М. Михайловская, ст. преподаватель кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета

Е.А. Султанова, канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета, член-корр. РАЕН

В.Н. Филиппов, канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета, действительный член РАЕН

© ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 2021

© Коллектив авторов, 2021

Полнотекстовая версия выпуска размещена в Научной электронной библиотеке elibrary.ru по ссылке:

[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=61250](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=61250)

Подробности на сайте: <http://vtik.net>

Отпечатано с готового электронного файла.

Подписано в печать 23.02.2021. Формат 60x80 1/16. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 4,65. Тираж 800 экз. Заказ 147.

Учебный научно-производственный центр «Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета»

Адрес учебного научно-производственного центра «Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета»: 450064, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

**Founder:**

**FSBEU NE Ufa State Petroleum  
Technological University**

**2021, 1(14)**

Published since 2014

**EDITORIAL BOARD**

**Editor-in-Chief**

R.N. Bakhtizin, Dr. of Physical and Mathematical Sci., Professor, First Vice-Rector of Ufa State Petroleum Technological University

**Editorial Board Members:**

Yu. N. Belonozhkin, PhD Economic Sci. Department of Finance and Credit Sochi State university

Dr. Yousef Daradkeh, Associate Professor and Assistant Dean for Administrative Affairs, Department of Computer Engineering and Networks, Prince Sattam bin Abdulaziz University (PSAU) - Kingdom of Saudi Arabia (KSA)

F.U. Enikeev, Dr. of Technical Sci., Professor of Department of Computer Science and Engineering Cybernetics Ufa State Petroleum Technological University

V.V. Yerofeyev, Dr. Sci. Professor, Head of the Chelyabinsk regional branch of RANS

N.V. Korneev, Dr. Tech. Sci., Professor of the Department of Safety Management of Complex Systems, Gubkin University, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences.

I.M. Mikhaylovskaya, Senior Lecturer of Department of Computer Engineering and Engineering Cybernetics Ufa State Petroleum Technological University

E.A. Sultanova, PhD, Deputy Head of Department of Computer science and Engineering cybernetics Ufa State Petroleum Technological University, corresponding member RANS

V.N. Filippov, PhD, Deputy Head of Department of Computer science and Engineering cybernetics of Ufa State Petroleum Technological University, Full member of the RANS

**ОГЛАВЛЕНИЕ****ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ: КОНЦЕПЦИЯ,  
МЕТОДОЛОГИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ**

Кирюшин О.В., Асыллов М.А. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ .....	4
---	---

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ,  
ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ**

Киреев К.В. ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИИ СЕТЕЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ОБРАЗОВАНИЕМ ДВУХЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ.....	9
--	---

Абросимова М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ MICROSOFT SQL SERVER ДЛЯ АНАЛИЗА ИНДЕКСНЫХ СТРУКТУР.....	16
---	----

Дмитриев В.А., Имаева Л.Р. СИСТЕМА ДОКУМЕНТАЛЬНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРАКТИКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ .....	23
---	----

Саитова К.А., Барахнина В.Б., Киреев И.Р., Коннов Я.А. ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА АВАРИЙНЫХ ПОТЕРЬ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	29
--	----

Идрисова Ж.В., Алихаджиев С.Х. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАНИИ.....	35
--	----

Ерофеев В.В., Игнатъев А.Г., Ерофеев С.В., Шарафиев Р.Г., Трояновская И.П., Гребенщикова О.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ НА УЧАСТКАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ШТАМПОСВАРНЫХ ОТВОДОВ.....	42
---	----

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ,  
УПРАВЛЕНИИ И БИЗНЕСЕ**

Моисеенко В.А. ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ....	49
---	----

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Курбонов Н.М. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ И ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ КООРДИНАТНОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ.....	55
---	----

Абдрафикова Ф.Ф., Муравьева Е.А., Шарипов М.И. ПРЕДСКАЗАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОДУКТИВНОСТИ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ.....	63
--	----

**СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

Батенков К.А. ТРИ ТИПА КАЧЕСТВА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ.....	70
---	----

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ**

Идрисова Ж.В., Алихаджиев С.Х. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ, РИСКИ.....	76
--	----

## ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ: КОНЦЕПЦИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 004.421

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

### AUTOMATED ASSESSMENT OF OPERATOR PERFORMANCE IN PROCESS CONTROL

Кiryushin O.V., Asylov M.A.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия

O.V. Kiryushin, M.A. Asylov,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia

e-mail: asilow@mail.ru

**Аннотация.** На сегодняшний день, в условиях выработки срока эксплуатации оборудования и нехватки средств на ремонт и техническое усовершенствование, состояние химических и нефтехимических заводов значительно ухудшилось, при этом бремя ответственности на оператора значительно повысилось. Явным фактом является необходимость как компьютерного обучения в нефтеперерабатывающих производствах, так и разработка методической базы обучения операторов. Так, к примеру, ошибочные действия старшего оператора технологического оборудования на «Ачинском нефтеперерабатывающем заводе Восточной нефтяной компании» привели к страшному событию, в котором погибли восемь человек, тридцать человек получили увечья различной степени тяжести, а организации был нанесён ущерб свыше 440 млн рублей. Одной из причин этого события являлся недостаток когнитивных навыков по идентификации опасных ситуаций у оператора установки. Данный пример ещё раз подчеркивает, что разработка обучающих тренажерных комплексов для операторов взрывопожароопасных объектов, на сегодняшний день, является весьма актуальной задачей. В следствии этого проведен анализ построения системы обучения и оценки действий технического персонала на тренажерах-имитаторах. Выделены основные требования к ним. Представлена модернизированная методика оценки действий обучаемого применительно к нефтеперерабатывающей отрасли и приведена схема предлагаемого алгоритма оценки.

**Abstract.** To date, the condition of chemical and petrochemical plants has deteriorated significantly in the conditions of developing the life of the equipment and the lack of funds for repair and technical improvement, while the burden of responsibility on the operator has increased significantly. A clear fact is the need for both computer training in oil refineries and the development of a methodological framework for training operators. So, for example, the erroneous actions of the senior operator of technological equipment at the Achinsky Oil Refinery of the Eastern Oil Company led to a terrible event in which eight people were killed, thirty people were injured of varying severity, and the organization suffered damage of over

440 million rubles. One of the reasons for this event was the lack of cognitive skills in identifying dangerous situations in the installation operator. This example once again emphasizes that the development of training simulators for operators of explosion and fire hazardous objects, today, is a very urgent task. As a result of this, an analysis of the construction of the training system and assessment of the actions of technical personnel on simulators was carried out. The main requirements for them are highlighted. The modernized method of evaluation of trainee's actions in relation to oil refining industry is presented and the diagram of the proposed evaluation algorithm is presented.

**Ключевые слова:** обучение оперативного персонала, тренажер-имитатор, компьютерные тренажер, АСУТП.

**Keywords:** training of operational personnel, simulator, computer simulator, APCS.

В последнее время компьютерные тренажеры-имитаторы АРМ операторов-технологов получили широкое распространение благодаря способности эффективно формировать и контролировать когнитивные навыки обучаемых. Однако методическая база подготовки операторов химических и нефтехимических производств очень слаба [1, С. 48-50].

На Российском рынке чаще всего встречаются системы компьютерного моделирования, реализованные на архитектуре «тренируемые операторы-учителя» [2, С. 213-216].

Проблема заключается в том, что в концепции компьютерного обучения в учебный контур вовлечен эксперт-инструктор, как человек, организующий программу обучения и дающий оценку корректности её выполнения. Поэтому пропускная способность классического симулятора напрямую зависит от количества инструкторов. Следовательно, автоматизированная подготовка и оценка действий операторов-технологов при компьютерном обучении являются довольно новыми и перспективными вариантами компьютерных тренажеров для подготовки оперативного персонала технологических процессов.

В диссертации [3, С. 96–101] разработана методика оценки эффективности применения тренажерных комплексов на основе формулы 1.

При оценке показателя эффективности руководствуются формулой:

$$V = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot K_i}{N} - \ln\left(1 + \frac{\Delta t}{t_n}\right), \quad (1)$$

где  $t_n$  – нормированное время для каждого вида тренинга;

$\Delta t$  – штрафное (премиальное) время;

$N$  – количество ошибок при выполнении тренинга;

$K_i$  – коэффициент (весовой) ошибки от конкретной ошибки  $N_i$ .

Тренинг считается выполненным, если  $V \rightarrow 1$ , то есть нет ошибок и действительное время соответствует нормированному.

В статье [4, С. 122-127] приведен следующий методика оценки знаний. Автоматизированный компьютерный тренинг и оценка действий [5, С. 59-65] строятся на базе графа переходов состояний технологического процесса, формирующего сценарий обучения (рисунок 1). Действия оператора оцениваются исходя из корректности управляющих воздействий для осуществления перехода из состояний и продолжительности пребывания в текущей ситуации. В результате прохождения проверки тренажерная система назначает баллы обучаемому (АС).

В результате анализа вышеприведенного материала выявлены следующие обязательные требования к методикам оценки эффективности обучения персонала:

- обязательно должно быть ограничение по времени на выполнение поставленной задачи;
- обязательно должно фиксироваться ошибочное действие тестируемого человека.

Наиболее подходящей методикой для оценки качества управления оператором-технологом установкой АВТ является способ, разработанный в Ангарской государственной технической академии, так как в ней учитываются особенности работы технологической установки в разных состояниях (режимах), что является необходимым условием при описании поведения объектов нефтеперерабатывающей отрасли. Однако методика имеет недостаток, который следует устранить для более точной оценки обученности персонала.

Оценка действий оператора (АС), обеспечивающего текущее состояние, для каждого верного или не верного действия имеет одно и то же числовое значение соответственно со знаком «+» или «-». Такой подход оценки не совсем корректен и не учитывает особенности определенной ситуации и величину ущерба нанесенного объекту тренинга от того или иного неправильного действия. Поэтому предлагается ввести понятие коэффициента (весовой) ошибки  $K_i$  (в долях от целого), либо связать значение балла со скоростью выполнения верного действия. С учетом этого оценка действий обучаемого будет ближе к истине.

Предлагается следующая методика оценки качества обучения операторов-технологов:

1. строится граф переходов состояний технологического процесса, с учетом всех возможных управляющих действий оператора;
2. описываются состояния технологического процесса;
3. оцениваются действия обучаемого в зависимости от скорости выполнения в случае корректного действия, а в случае неправильного действия используется коэффициент (весовой) ошибок  $k_i$ ;
4. выдается оценка в виде четырехбалльной шкалы.

Совместная работа тренажера-имитатора и методики оценки будет реализована следующим образом.

При запуске обучающегося комплекса имитируемый технологический процесс выйдет в устойчивый режим работы. Спустя некоторое время, отсчитанное таймером, произойдет аварийное событие, и некоторые переменные технологического процесса будут изменять свои значения по определенной функции в соответствии со сценарием. Выбор сценария зависит от цели использования тренажера-имитатора.

В случае обучения пользователь сам может выбрать нужный сценарий, а в случае экзамена предусмотрен случайный выбор сценария.

На рисунке 1 представлена алгоритмизированная методика оценки качества управления технологическими процессами оперативного персонала. Согласно ему, таймер отсчитывает время жизни модели и запускает событие  $A_i$ , путем изменения параметров модели, симулируя нарушение работы объекта, и переводит имитационную модель системы в начальное состояние  $S_0$ . Также таймер контролирует время пребывания системы в аварийном состоянии  $t_i$  и выполнение условий перехода в следующее состояние  $S_{j+1}$ . Далее обучаемому необходимо вмешаться в процесс, задавая уставки при помощи регулируемых параметров, для вывода режима в удовлетворительное состояние  $S_{j+1}$ .

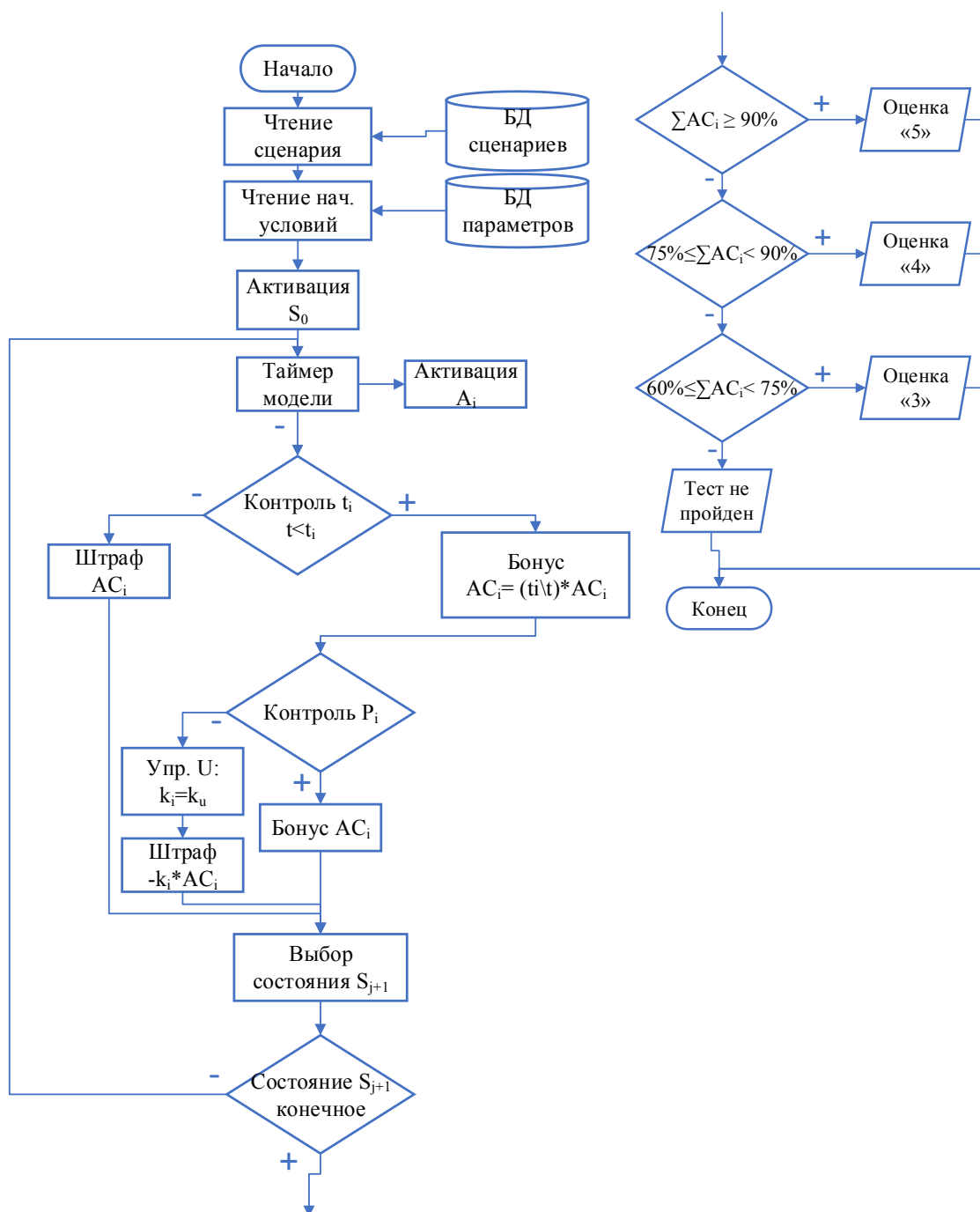


Рисунок 1. Схема предлагаемого алгоритма оценки действий оператора

Каждому сценарию соответствуют база продукционных правил технологических параметров  $P_i$ , описывающих состояние текущего процесса. Переход в нужное состояние считается выполненным, когда оператор путем манипуляций над параметрами управления  $Y_i$  имитационной модели достигнет требуемых параметров технологических переменных  $V$ .

Если оператор выполнил действие и уложился ровно в отведенное для этого время  $t_i$ , то он получает в качестве бонуса значение  $AC_i$ .

Если действие было выполнено быстрее нормы, тогда значение  $AC_i$  умножается на коэффициент  $\frac{t}{t_i}$ . При ином исходе полагается штраф  $AC_i$ .

Далее проверяется правильность управления. Если оператор оказал верное управляющие воздействия, то его оценка возрастает за счет суммирования бонусов за время выполнения и правильность управления:

$$\frac{t}{t_i} \cdot AC_i + AC_i.$$

В случае неверного манипулирования параметрами управления назначается штраф в виде

$$-k_i \cdot AC_i,$$

где  $k_i$  – коэффициент (весовой) ошибки, зависящий от неправильного управления  $U$ .

В этом случае бонус за время выполнения не учитывается.

В результате прохождения упражнения на тренажере система суммирует все баллы  $\sum AC_i$ , полученные обучаемым, и выдает, используя продукционные правила, оценку по четырёхбалльной шкале. Результат будет зависеть от доли набранных баллов.

### **Выводы**

В статье рассмотрены методы оценки эффективности подготовки оперативного персонала непрерывных технологических производств. А также предложена модернизированная методика, учитывающая вес ошибок и скорость выполнения теста, и выдающая дифференцированную оценку обучаемого в привычной четырёхбалльной шкале.

### **Литература**

1. Виноградов А.П., Сверчков А.М., Егоров А.Ф. Компьютерный тренажерный комплекс системы поддержки принятия решений для подготовки операторов химических производств // Успехи в химии и химической технологии. 2012. №1 (130). С. 48-50.
2. Котелева Н.И., Шабловский И.Е., Кошкин А.В. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов нефтегазовой отрасли: анализ существующих решений и пути их усовершенствования // Записки Горного института. 2011. С. 213-216.
3. Шарафутдинов А.А. Совершенствование оценки эффективности совместной тренажерной подготовки персонала объектов ТЭЖ и личного состава пожарной охраны: дис. канд. техн. наук: 05.26.03. – УГНТУ, Уфа, 2016. С. 96-101.
4. Кривов М.В., Благодарный Н.С., Колмогоров А.Г., Кобозев В.Ю., Бадеников В.Я. Методика автоматизированной оценки качества управления технологическим процессом операторами котлов-утилизаторов // Вестник АНГТУ. Ангарск: АНГТУ. – 2015. – №9. – С. 122-127.
5. Благодарный Н.С., Колмогоров А.Г., Кобозев В.Ю., Кривов М.В. Критерий адекватности тренажерной модели // Автоматизация в промышленности. 2010. №7. С. 59-65.



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

UDC 004.378.147

### RESEARCH OF COMMUTATION OF HIGH VOLTAGE NETWORKS WITH FORMATION OF TWO-FREQUENCY OSCILLATORY CIRCUIT

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИИ СЕТЕЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ОБРАЗОВАНИЕМ ДВУХЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ

K.V. Kireev,  
FSBEI HE “Samara State Technical University”,  
Samara, Russian Federation

Киреев К.В.,  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,  
г. Самара, Российская Федерация

e-mail: m\_kir\_2001@mail.ru

**Abstract.** When switching high-voltage electrical circuits with a certain ratio of the parameters of the elements, the phenomenon of transient resonance may occur, accompanied by significant overvoltages of high frequency. The cause of these overvoltages is the transient process in the two-frequency oscillatory circuit of positive sequence formed after switching. Transient resonance is a complex multiply connected process that requires the construction of an adequate model to describe and study. In this work, the popular Multisim software package was used as a modeling tool. As an example, the power supply diagram of a network with current-limiting reactors powered by high-power transformers is considered. An equivalent circuit is constructed for a network switched with the formation of two-frequency oscillatory circuits. The conditions for the occurrence of significant overvoltages during the transient process in the network are determined. Cases of connection of a circuit of a two-frequency oscillatory circuit to sources of constant and alternating sinusoidal voltage with and without taking into account the active resistance of the circuit are investigated. Timing diagrams of voltages are given, the dependence of the multiplicity of switching overvoltages on the ratio of the source frequency and the beat frequency of the voltage amplitude is shown. The results of computer modeling obtained in this work can also be used in the educational process in the study of special electrical disciplines.

**Аннотация.** При коммутациях высоковольтных электрических цепей при определенном соотношении параметров элементов возможно возникновение явления переходного резонанса, сопровождающееся значительными перенапряжениями высокой кратности. Причиной этих перенапряжений является переходный процесс в образовавшемся после коммутации двухчастотном колебательном контуре прямой последовательности. Переходный резонанс представляет собой сложный многосвязный процесс, для описания и исследования которого требуется построение адекватной модели. В данной работе в качестве инструмента моделирования использовался популярный программный пакет Multisim. В качестве примера рассмотрена схема электроснабжения сети с токоограничивающими реакторами, питающейся от

трансформаторов большой мощности. Построена схема замещения сети, коммутируемой с образованием двухчастотных колебательных контуров. Определены условия возникновения значительных перенапряжений при переходном процессе в сети. Исследованы случаи подключения цепи двухчастотного колебательного контура к источникам постоянного и переменного синусоидального напряжения с учетом и без учета активного сопротивления цепи. Приведены временные диаграммы напряжений, показана зависимость кратности коммутационных перенапряжений от соотношения частоты источника и частоты биений амплитуды напряжения. Полученные в работе результаты компьютерного моделирования также могут быть использованы в учебном процессе при изучении специальных электротехнических дисциплин.

**Keywords:** transient, electric circuit, simulation, resonance, overvoltage, frequency.

**Ключевые слова:** переходный процесс, электрическая цепь, моделирование, резонанс, перенапряжение, частота.

When switching real high-voltage networks (6 kV and above), circuits with two-frequency oscillatory circuits can be formed, with certain combinations of parameters leading to the occurrence of significant overvoltages during the transient process [1].

Consider network diagrams in which such commutations are possible. Figure 1 shows the power supply diagram of a network with current-limiting reactors powered by high-power transformers.

When switching switches in these networks, the formation of two-frequency oscillatory circuits and the occurrence of significant overvoltages behind the reactor on the capacitance of the cable line relative to the ground are possible.

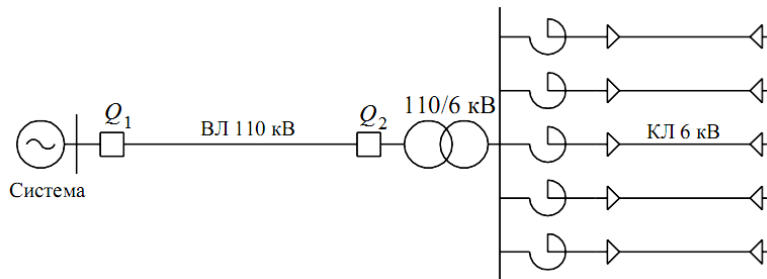


Figure 1. Network power supply diagram

The magnitude of these overvoltages depends on the moment of switching on and will be maximum when switched on at the moment of maximum voltage at the contacts of the switch.

A two-frequency positive-sequence oscillatory circuit formed during such commutations is shown in Figure 2.

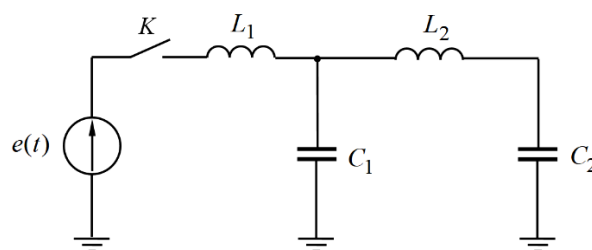


Figure 2. Dual-frequency oscillatory circuit

Here  $L_1$  is the inductance of the positive sequence system (total inductance of the line and transformer);  $C_1$  – the total capacity of the positive sequence of one phase of all connections on the buses, except for the selected one;  $L_2$  – direct sequence inductance of the current-limiting reactor;  $C_2$  is the positive sequence capacitance of the cable phase.

The conditions for the occurrence of significant overvoltages during transient processes (transient resonance) in the given network diagrams are the approximate equality of the resonant frequencies of individual oscillatory circuits and a significant difference in their wave impedances.

We investigate the connection of a constant voltage source  $U$  to a circuit of a two-frequency oscillatory circuit (see Figure 2).

After the key  $K$  is closed in the circuit, a transient process will begin, caused by the charge of the capacitive elements  $C_1$  and  $C_2$  under nonzero initial conditions, described by a fourth-order differential equation:

$$L_1 C_1 L_2 C_2 \frac{d^4 u_{C_2}}{dt^4} + (L_1 C_1 + L_2 C_2 + L_1 C_2) \frac{d^2 u_{C_2}}{dt^2} + u_{C_2} = U.$$

The characteristic equation is similar to the equation in the case of free oscillations:

$$p^4 + \frac{L_1 C_1 + L_2 C_2 + L_1 C_2}{L_1 C_1 L_2 C_2} p^2 + \frac{1}{L_1 C_1 L_2 C_2} = 0.$$

Therefore, the roots of the characteristic equation (frequency) cannot be equal under any conditions, but can be sufficiently close in value provided

$$2 \cdot \left( \frac{C_2}{C_1} + \frac{L_1}{L_2} \right) + \frac{L_1 C_2}{L_2 C_1} \rightarrow 0,$$

what is possible if  $L_2 \gg L_1$  and  $C_1 \gg C_2$ .

In this case, free oscillations during the transient process in a two-frequency oscillatory circuit have different, but close frequencies  $\omega_1 \approx \omega_2$ , and their addition gives an oscillation, which is characterized by an amplitude beat.

$$\text{Since } \left| \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \right| < \frac{\omega_1 + \omega_2}{2},$$

then in the considered two-frequency oscillatory circuit with the selected ratio of parameters  $L_2 \gg L_1$  and  $C_1 \gg C_2$  capacitive voltage  $u_{C_2}(t)$  has the form of continuous oscillations with beating amplitude. The amplitude of the beats is the greater, the closer to each other the values of the frequencies of free vibrations  $\omega_1$  and  $\omega_2$ .

Taking active resistances into account will lead to the fact that the maximum voltage values decrease and the beatings will decay over time.

When a two-frequency oscillatory circuit with zero initial conditions is connected to a constant voltage source, high overvoltage multipliers can occur on the capacitive element  $C_2$  if the relations  $L_2 \gg L_1$  and  $C_1 \gg C_2$ .

Let's carry out virtual simulation in the Multisim program [2]. The circuit model for studying a two-frequency resonant circuit in a transient process with zero initial conditions is shown in Figure 3.

Contour parameter ratio:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{1}{0,01} = 100; \quad \frac{C_1}{C_2} = \frac{1000}{10} = 100.$$

Thus, the condition for the occurrence of beats of the vibration amplitude is satisfied:  $L_2 \gg L_1$  и  $C_1 \gg C_2$ .

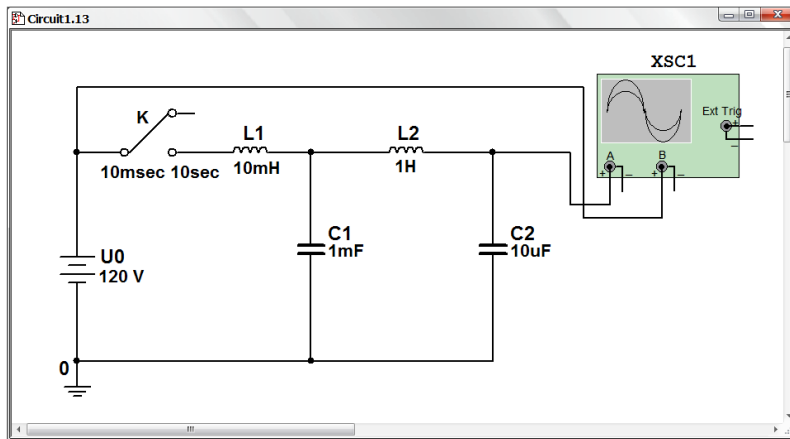


Figure 3. Resonant circuit model

Analysis shows that for the considered circuit parameters  $L_1$ ,  $C_1$ ,  $L_2$  and  $C_2$  the amplitude beat maxima can be about 10 times the source voltage.

The resulting voltage timing diagram  $u_{C_2}(t)$  on the capacitive element  $C_2$  is shown in Figure 4.

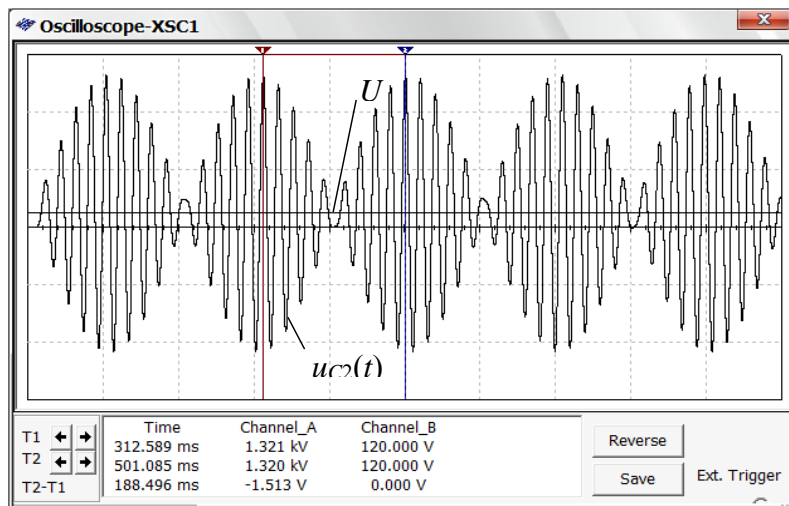


Figure 4. Voltage timing diagram

It follows from the diagram that in the considered two-frequency reactive oscillatory circuit with the selected ratio of parameters  $L_2 \gg L_1$  and  $C_1 \gg C_2$  there are undamped oscillations with a beat of the amplitude.

Immediately after switching, the voltage on  $C_2$  is equal to  $E$  and does not change abruptly. In the T2-T1 field for the Time parameter, the time interval corresponding to the oscillation beat period is shown:  $T_6 = 0,1885$  s.

The beat frequency of the voltage amplitude according to the diagram

$$f_6 = \frac{1}{T_6} = \frac{1}{0,1885} = 5,3 \text{ Гц.}$$

The maximum voltage on C2 (channel A, T1 or T2) is 1,32 kV. The voltage beat amplitude is 1200 V, which is 10 times the source voltage.

Add resistive elements to each of the circuits of the circuit under study  $R_1 = R_2 = 100$  m $\Omega$ . The resulting timing diagram of the voltages on the capacitive elements and (on the same scale) is shown in Figure 5.

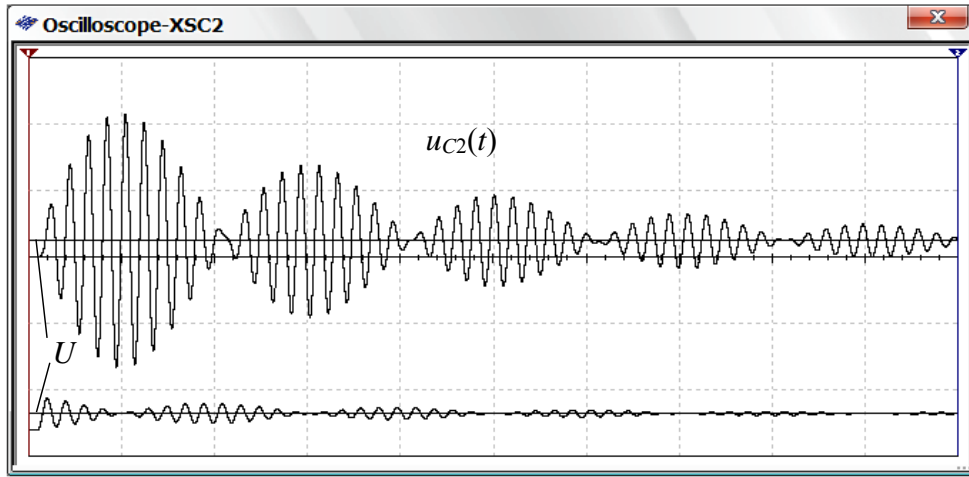


Figure 5. Voltage timing diagram

The diagram shows that taking into account active resistances (losses) leads to the fact that the maximum voltage values during the transient process decrease and the beats fade over time. Moreover, their frequency (period) does not change.

For the selected parameter values, the transient voltage  $u_{C_2}(t)$  does not exceed twice the source voltage.

Let us check the statement that there will be no beats in the chain under consideration if the condition  $L_2 \gg L_1$  и  $C_1 \gg C_2$  is not satisfied.

Take the following parameters of the elements in the circuit under study:  $L_1 = 0,1$  H,  $C_1 = 1000$  uF,  $L_2 = 1$  H,  $C_2 = 100$  uF. In this case, the ratios of the contour parameters will become as follows:

$$\frac{L_2}{L_1} = 1; \quad \frac{C_1}{C_2} = 1.$$

The time diagrams of voltages on capacitive elements obtained as a result of modeling (on the same scale) are shown in Figure 6.

At the established values of the parameters of the circuit elements, there are no beating oscillations in the transient process, and the multiplicity of overvoltages on the capacitive elements in relation to the source voltage is approximately 2.

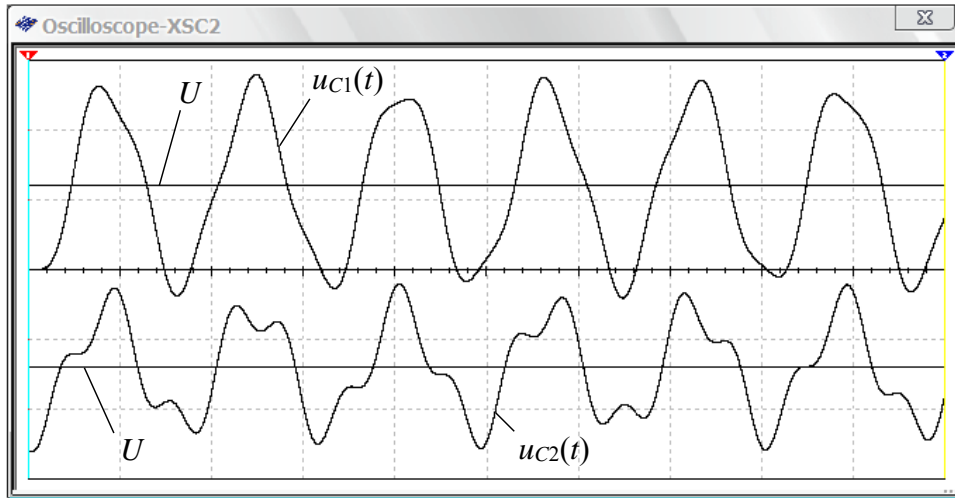


Figure 6. Voltage timing diagram

Let's conduct a virtual simulation of the process of connecting the considered two-frequency circuit with losses to a sinusoidal voltage source  $u(t) = U_m \sin \omega t$  for the following values:  $\omega > \omega_0$ ;  $\omega = \omega_0/2$ ;  $\omega < \omega_0$ .

The resulting voltage timing diagrams are presented in Figures 7, 8, 9.

The multiplicity of switching overvoltages on the capacitor  $C_2$  is determined by the expression:

$$K_U = \frac{u_{C2\max}}{U_m}$$

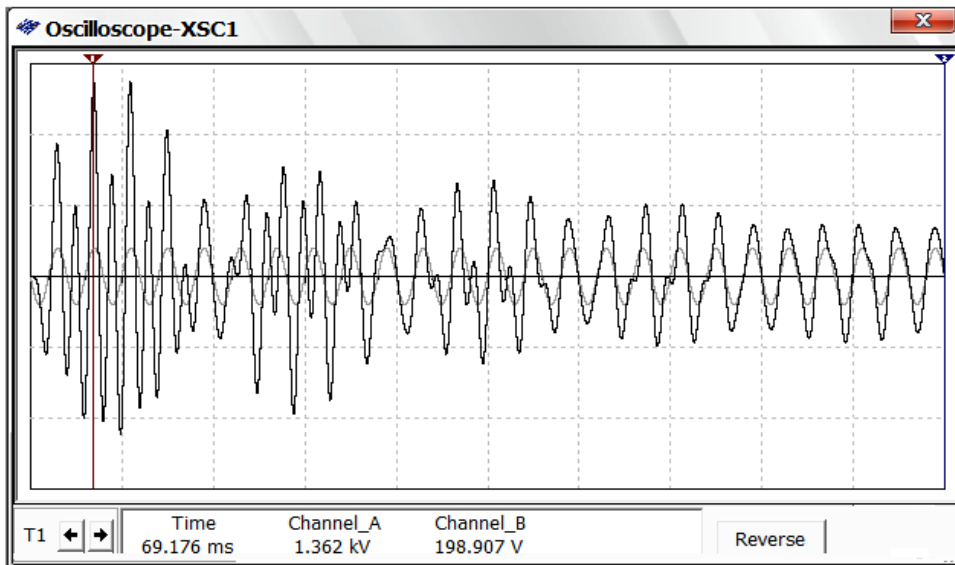


Figure 7. Voltage timing diagram ( $f_0 < f = 25$  Hz)

The multiplicity of switching overvoltages  $K_U = 6,81$ .

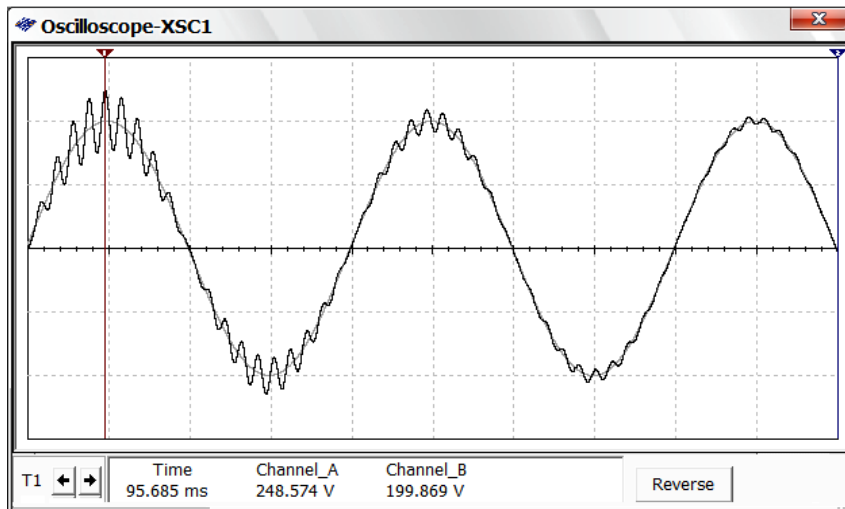


Figure 8. Voltage timing diagram ( $f = f_{\delta}/2 = 2,5$  Hz)

The multiplicity of switching overvoltages  $K_U = 1,24$ .

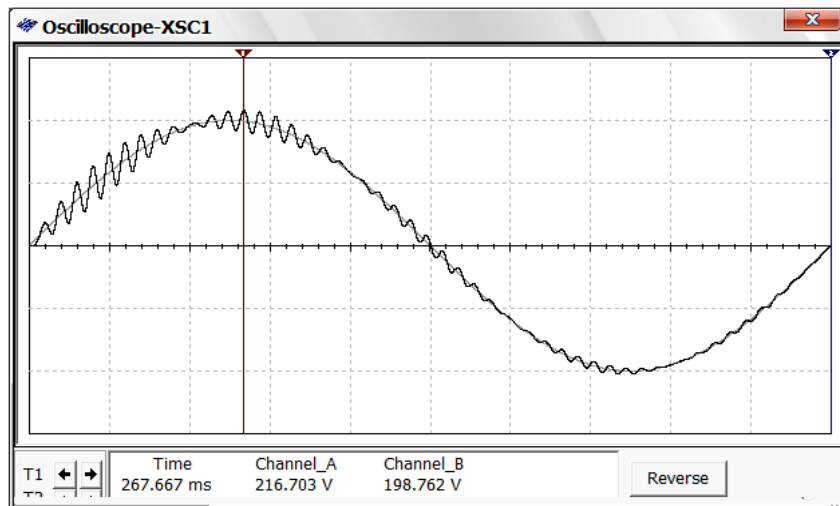


Figure 9. Voltage timing diagram ( $f_{\delta} > f = 1$  Гц).

The multiplicity of switching overvoltages  $K_U = 1,08$ .

### Findings

Modeling in the Multisim program made it possible to study the process of connecting a high-voltage circuit of a two-frequency oscillatory circuit to sources of constant and sinusoidal voltage, to obtain time diagrams of voltages, to determine the multiplicity of switching overvoltages at various ratios of the source frequency and the beat frequency of the voltage amplitude.

### References

1. Grebe T.E. Application of distribution system capacitor banks and their impact on power quality // IEEE Transactions on industry applications. – 1996. – №3. – vol. IA-32. – pp. 714-719.

2. Киреев К.В. Теоретическая электротехника: виртуальная лаборатория в Multisim 11 / К.В. Киреев. – М.: Машиностроение, 2012. – 293 с.

УДК 004.451.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ  
MICROSOFT SQL SERVER ДЛЯ АНАЛИЗА ИНДЕКСНЫХ СТРУКТУР**

**USING MICROSOFT SQL SERVER SYSTEM TOOLS  
TO ANALYZE INDEX STRUCTURES**

Абросимова М.А.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия

M.A. Abrosimova,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia

e-mail: m.abrosimova@gmail.com

**Аннотация.** Использование индексов в базах данных обусловлено стремлением повысить скорость выполнения запросов. SQL Server позволяет создавать разные типы индексов, наиболее часто используемыми из них являются кластеризованные и некластеризованные индексы. Работа с индексами требует навыков анализа их структуры. Как правило, для анализа используются системные инструменты - системные таблицы, представления, процедуры, функции, однако интерпретация результатов часто затруднена, несмотря на достаточно подробную документацию Microsoft. Задачей исследования является изучение полезности ряда системных инструментов SQL Server для анализа индексных структур с целью уточнения назначения параметров индексов, позволяющих их более точно интерпретировать. В качестве метода исследования используется изучение и систематизация информации по документации Microsoft и из открытых источников и постановка эксперимента, состоящего в сравнении значений параметров кластеризованных и некластеризованных индексов, в т.ч. тип узла, количество уровней, страниц, строк на страницах, столбцов в ключе; объем выделенной памяти, фрагментированность индекса, полученных с использованием различных системных инструментов. В результате построена матрица применимости системных инструментов, уточняющая назначение параметров индексов и облегчающая понимание их сути.

**Abstract.** The use of indexes in databases is driven by the desire to improve the speed of query execution. SQL Server allows you to create different types of indexes, the most commonly used of which are clustered and non-clustered indexes. Working with indices requires skills in analyzing their structure. As a rule, system tools are used for analysis - system tables, views, procedures, functions, however, the interpretation of the results is often difficult, despite the rather detailed Microsoft documentation. The aim of the research is to study the usefulness of a number of SQL Server system tools for analyzing index structures in order to clarify the purpose of the index parameters, allowing them to be more accurately interpreted. As a research method, we use the study and systematization of information from Microsoft



documentation and from open sources and setting up an experiment that compares the values of the parameters of clustered and non-clustered indices, incl. node type, number of levels, pages, rows on pages, columns in a key; the amount of allocated memory, fragmentation of the index obtained using various system tools. As a result, a matrix of system tools applicability has been built, which clarifies the purpose of the index parameters and makes it easier to understand their essence.

**Ключевые слова:** базы данных, MS SQL Server, индексы, системные таблицы, структура индексов.

**Keywords:** databases, MS SQL Server, indexes, system tables, index structure.

MS SQL Server занимает лидирующие позиции на рынке СУБД корпоративного уровня. Среди факторов эффективного администрирования баз данных SQL Server находятся решения в области управления памятью и оптимизации запросов, которые в большой степени зависят от подходов к индексированию баз данных.

Индекс – специальная структура данных, созданная для повышения эффективности выполнения операций поиска данных.

В MS SQL Server возможно создание индексов разных типов [1]. Чаще всего создаются кластеризованные и некластеризованные индексы.

Кластеризованный индекс объединяет в единый «кластер» и записи таблицы, и индекс, в качестве которого выступает ее первичный ключ.

Некластеризованные индексы создаются на основе неключевых полей таблицы и хранятся отдельно.

Хранение индексов требует дополнительных ресурсов памяти, особенно некластеризованных индексов, создаваемых по наиболее часто запрашиваемым полям. Таким образом, преимущества использования индексов, состоящие в повышении скорости выполнения запросов, в основном, за счет скорости самых ресурсоемких в запросе операции ввода-вывода данных, входят в противоречие с целями эффективного управления памятью. В этой связи проводится анализ индексных структур с использованием системных инструментов, в том числе, системных таблиц, системных представлений, процедур, функций, позволяющих просматривать параметры индексных структур под разными углами. Однако интерпретация результатов применения системных инструментов часто затруднена вследствие, с одной стороны, детализации параметров индексных структур и, с другой стороны, часто недостаточно подробного и законченного описания их в документации Microsoft.

Задачей исследования является изучение полезности ряда системных инструментов SQL Server для анализа индексных структур с целью уточнения назначения параметров индексов, позволяющих их более точно интерпретировать.

В качестве метода исследования используется изучение и систематизация информации по документации Microsoft и из открытых источников и постановка эксперимента.

Логически индекс представляет собой таблицу с ключом. Физическое хранение индекса осуществляется в виде B-дерева. Первым узлом в индексной структуре является корневой узел (root) – с него начинается поиск. Далее просматриваются узлы промежуточного уровня, затем листовые узлы, находящиеся на самом нижнем уровне. Каждый узел представляет собой отдельную страницу памяти (индексная страница) (m\_type=2).

Каждая страница содержит индексные строки.

Каждая строка указывает на другой узел (промежуточный) или на конечный

(листовой).

Каждый промежуточный узел содержит также связанный список других промежуточных узлов того же уровня. Количество промежуточных уровней и количество узлов на каждом зависит от мощности таблицы, размера ключа индекса и количества столбцов в ключе.

Листовой узел некластеризованного индекса содержит значение ключа и идентификатор строки таблицы или, если в таблице есть еще и кластеризованный индекс, то ключ кластеризованного индекса [2].

Идентификатор строки автоматически формируется из идентификатора файла, номера страницы и номера строки. Кластеризованный индекс на уровне листовых узлов содержит сами данные (m\_type=1).

При создании таблиц/индексов выделяются страницы памяти в незаполненных или в новых экстентах. Многоуровневые индексы и/или некластеризованные индексы могут размещаться фрагментами в разных экстентах, что увеличивает число занятых экстентов и количество переходов от одной страницы к другой. Экстенты таблицы/индекса отслеживаются с помощью страниц с картой распределения индексов-страниц IAM (m\_type=10).

В «куче»/индексе есть минимум по одной странице IAM для каждого файла. Страницы IAM распределены в файле случайным образом и связаны друг с другом, обеспечивая при поиске данных переход от первой страницы к последующим [3].

Таким образом, для исследования выделены следующие параметры индексных структур: тип индекса, размер индекса, измеряемый количеством уровней, строк на странице, столбцов в ключе, страниц памяти, и фрагментированность индекса.

Инструменты исследования: системные таблица SysIndexes, процедура sp\_spaceused, функция sys.dm\_db\_index\_physical\_stats() и недокументированные команды утилиты DBCC.

Для эксперимента созданы две таблицы Tab\_1 и Tab\_2 одинаковой мощности в 1000 строк, заполненных случайными числами, но в Tab\_1 созданы три некластеризованных индекса, а в Tab\_2 – один кластеризованный.

В SysIndexes по каждому индексу приведены: указатели (в 16-тиричном виде с обратным порядком байтов) корневых узлов индекса (Root), первой страницы экстенда размещения индекса (First), 1-й IAM-страницы файла (FirstIAM) и количество страниц (dpages) (рисунок 1).

	Id	IndId	rows	dpages	First	Root	FirstIAM
1	901578250	0	1000	11	0xE800000000100	0x000000000000	0x5000000000100
2	901578250	2	1000	4	0x0001000000100	0x0101000000100	0x5900000000100
3	901578250	3	1000	4	0x0801000000100	0x0901000000100	0x5A00000000100
4	901578250	4	1000	4	0x1801000000100	0x1901000000100	0x5D00000000100

Рисунок 1. Информация о индексах в системной таблице SysIndexes

Сведения обо всех узлах индекса дает команда DBCC Ind.

Tab\_1 занимает 30 страниц; создано три индекса: страницы PageType=2 с IndexID=2, 3, 4; для каждого индекса зарезервировано по 6 страниц в экстентах с номерами первых страниц: для IndexID=2, 3 и 4 соответственно – 256, 264 и 280, включая

одну IAM-страницу; корневые узлы для IndexID=2, 3 и 4 занимают страницы с PagePID= 257, 265 и 281, на что указывает максимальное значение в столбце IndexLevel (IndexLevel=1); на листовом уровне (IndexLevel=0) для каждого индекса приведены номера предыдущих и следующих индексных страниц (PrevPagePID, NextPagePID); IAM файла (PageType=10) размещается в 4-х разделах (Partition), указаны номера их первых страниц– PagePID = 80, 89, 90, 93; 11 страниц занимают данные (PageType=1, IndexLevel=0) [4].

Таким образом, некластеризованные индексы 2-х уровневые: на верхнем уровне – корневая страница, на листовом – номера индексных страниц (рисунок 2).

Выделено по 6 страниц: 1 – под корень, 4 – под листья и 1 – под IAM.

Отсутствие NextPagePID/PrevPagePID для некоторых страниц указывает на фрагментацию. Также можно сделать вывод, что количество индексных страниц, указанное в SysIndexes, относится к листовым страницам (в общем случае – промежуточным).

PageFID	PagePID	IAMFID	IAMPID	ObjectID	IndexID	PartitionNumber	PageType	IndexLevel	NextPageFID	NextPagePID	PrevPageFID	PrevPagePID
1	80	NULL	NULL	901578250	0	1	10	NULL	0	0	0	0
2	232	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
3	233	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
4	234	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
5	235	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
6	236	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
7	237	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
8	238	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
9	239	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
10	288	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
11	289	1	80	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
12	290	1	90	901578250	0	1	1	0	0	0	0	0
13	89	NULL	NULL	901578250	2	1	10	NULL	0	0	0	0
14	256	1	89	901578250	2	1	2	0	1	260	0	0
15	257	1	89	901578250	2	1	2	1	0	0	0	0
16	258	1	89	901578250	2	1	2	0	1	259	1	260
17	259	1	89	901578250	2	1	2	0	0	0	1	258
18	260	1	89	901578250	2	1	2	0	1	258	1	256
19	90	NULL	NULL	901578250	3	1	10	NULL	0	0	0	0
20	264	1	90	901578250	3	1	2	0	1	268	0	0
21	265	1	90	901578250	3	1	2	1	0	0	0	0
22	266	1	90	901578250	3	1	2	0	1	267	1	268
23	267	1	90	901578250	3	1	2	0	0	0	1	266
24	268	1	90	901578250	3	1	2	0	1	266	1	264
25	93	NULL	NULL	901578250	4	1	10	NULL	0	0	0	0
26	280	1	93	901578250	4	1	2	0	1	284	0	0
27	281	1	93	901578250	4	1	2	1	0	0	0	0
28	282	1	93	901578250	4	1	2	0	1	283	1	284
29	283	1	93	901578250	4	1	2	0	0	0	1	282
30	284	1	93	901578250	4	1	2	0	1	282	1	280

Рисунок 2. Структура индексов в режиме DBCC Ind

Tab\_2 занимает всего 14 страниц, выделены корневая страница и одна страница IAM, на листовом уровне – 12 страниц данных (PageType=1).

Таким образом, кластеризованный индекс 2-х уровневый: на верхнем уровне – корень, на листовом – данные.

Для всех страниц листового уровня кроме последней указаны номера и предыдущих, и последующих страниц, т.е., индекс не фрагментирован.

Содержимое страниц выводит команда DBCC Page (рисунок 3).

Field	PageId	Row	Level	ChildField	ChildPageId	Key_0 (key)	HEAP RID (key)	KeyHashValue	Row Size
1	257	0	1	1	256	NULL	NULL	NULL	19
2	257	1	1	1	260	243	0xE90000001000500	NULL	19
3	257	2	1	1	258	496	0xEC0000001003800	NULL	19
4	257	3	1	1	259	758	0xEB0000001003F00	NULL	19

Рисунок 3. Информация о индексах в режиме DBCC Page

Корневая страница некластеризованного индекса с PagePID=257 адресуется к дочерним (ChildPageId) страницам 258, 259, 260 (при 2-х уровневом индексе – листовые страницы).

Key – ключ индекса, его значения связаны с дочерними страницами. Если бы ключ имел несколько столбцов, они вошли бы в этот набор результатов [5]. У нас – один столбец.

На основании результатов DBCC Ind и DBCC Page для корневых и листовых узлов построена структура некластеризованного индекса (рисунок 4).

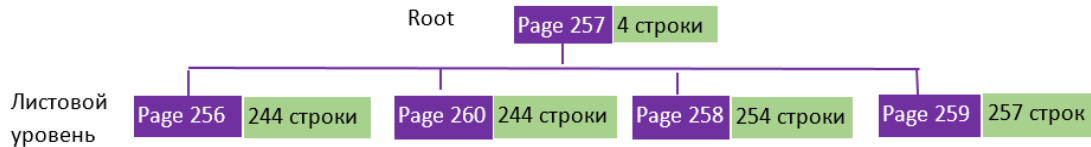


Рисунок 4. Структура некластеризованного индекса

В сжатом виде информацию об индексах дает команда DBCC ExtentInfo: номера первых страниц экстентов (page\_id), в которых размещаются индексные страницы (index\_id>0), и общее количество зарезервированных индексных страниц (page\_alloc), однако без данных о корневых, промежуточных и листовых узлах индекса (рисунок 5).

file_id	page_id	pg_alloc	ext_size	object_id	index_id	partition_number	partition_id	iam_chain_type
1	232	9	8	901578250	0	1	72057594043105280	In-row data
2	288	3	8	901578250	0	1	72057594043105280	In-row data
3	256	6	8	901578250	2	1	72057594043170816	In-row data
4	264	6	8	901578250	3	1	72057594043236352	In-row data
5	280	6	8	901578250	4	1	72057594043301888	In-row data

Рисунок 5. Информация о индексах в режиме DBCC ExtentInfo

Функция sys.dm\_db\_index\_physical\_stats() возвращает % фрагментированности, количество фрагментов и пр., а также количество уровней.

Видим, что некластеризованные индексы – 2-х уровневые (index\_depth=2), на листовом уровне (index\_level=0) страницы размещаются в 3-х фрагментах (fragment count=3), индексы фрагментированы на 50% (avg\_fragmentation\_in\_percent).

Каждый индекс занимает по 4 страницы (page\_count= 4). (рисунок 6).

database_id	object_id	index_id	partition_number	index_type_desc	alloc_unit_type_desc	index_depth	index_level	avg_fragmentation_in_percent	fragment_count
22	901578250	0	1	HEAP	IN_ROW_DATA	1	0	50	2
22	901578250	2	1	NONCLUSTERED INDEX	IN_ROW_DATA	2	0	50	3
22	901578250	3	1	NONCLUSTERED INDEX	IN_ROW_DATA	2	0	50	3
22	901578250	4	1	NONCLUSTERED INDEX	IN_ROW_DATA	2	0	50	3

а)

database_id	object_id	index_id	partition_number	index_type_desc	alloc_unit_type_desc	index_depth	index_level	avg_fragmentation_in_percent	fragment_count
23	901578250	1	1	CLUSTERED INDEX	IN_ROW_DATA	2	0	8.33333333333333	2

б)

Рисунок 6. Фрагментированность индексов в режиме sys.dm\_db\_index\_physical\_stats(): а) некластеризованных, б) кластеризованного

Кластеризованный индекс также 2-х уровневый, фрагментирован на 8% (при допустимых Microsoft 10%). На листовом уровне индекс размещается в 2-х фрагментах. Чем больше мощность таблицы и чем больше места занимает ключ, тем больше памяти выделяется индексу.

Объем памяти показывает процедура sp\_spaceused: для 3-х некластеризованных индексов выделено 152 Кб, одного кластеризованного – всего 16 Кб, что отчасти объясняется большей фрагментированностью первых (рисунок 8).

name	rows	reserved	data	index_size	unused
Tab_1	1000	352 KB	88 KB	152 KB	112 KB

name	rows	reserved	data	index_size	unused
Tab_2	1000	136 KB	96 KB	16 KB	24 KB

Рисунок 8. Объемы памяти, выделенные индексам

В результате исследования сформирована матрица применимости системных инструментов для анализа индексных структур, определяющая перечень параметров и уточняющая их назначение (таблица):

Таблица – Матрица применимости системных инструментов для анализа индексных структур

Параметры	SysIndexes	DBCC Extentinfo	DBCC Ind	DBCC Page	sp_spaceused	sys.dm_db_index_physical_stats()
Тип индекса	+					Index_type_desc
Количество уровней			+			Index_depth
Тип узла индекса			IndexLevel для PageType =2			
Номер страницы корневого узла	Root – в 16-тиричном виде с обратным порядком байтов		PagePID для PageType=2 и IndexLevel= max	Page_ID		

Продолжение таблицы

Параметры	SysIndexes	DBCC Extentinfo	DBCC Ind	DBCC Page	sp_spaceused	sys.dm_db_index_physical_stats()
Номер 1-й страницы в экстенсте	First – в 16-тирич-ном виде с обратным порядком байтов	page_id	+			
Номер IAM-страницы (первой IAM страницы)	FirsIAM – в 16-тиричном виде с обратным порядком байтов		PagePID для PageType=10			
Номера всех страниц (узлов)			PagePID для PageType=2	Page_ID, ChildPageId		
Номер предыдущей/ последующей страницы			NextPagePID/ PrevPagePID			
Количество страниц	dpages – без корневых	pg_alloc	+			page_count – без корневых
Количество строк на странице				+		
Количество столбцов в ключе				≠		
Фрагментированность			+			avg_fragmentation_in_percent
Объем дискового пространства					index_size, reserved, unesed	

Матрица применимости системных инструментов для анализа индексных структур показывает, что наиболее полезным инструментом является команда DBCC Ind, позволяющая увидеть параметры всех узлов индекса:

- тип (корневой/промежуточный/листовой),
- номера всех страниц, в том числе IAM-страниц, номера предыдущих и последующих страниц, факт наличия которых позволяет сделать вывод о фрагментации индекса.

Уровень фрагментации индексов удобно просматривать, обращаясь к функции sys.dm\_db\_index\_physical\_stats(), которая одновременно покажет и глубину индексов.

Командой DBCC Page в режиме интерпретации результатов можно, кроме номеров корневых и дочерних узлов, определить количество столбцов в ключе индекса.

### Выводы

Сформированная матрица применимости системных инструментов SQL Server облегчает понимание содержания системных таблиц при анализе индексных структур, что может быть далее использовано в задачах управления дисковой памятью и оптимизации запросов.

## Литература

1. Индексы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/W4iNP> (дата обращения: 30.03.2021)
2. How to get an Index's Root Page, Intermediate Pages and Leaf Pages Information? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/W4iSs> (дата обращения: 30.03.2021)
3. Дмитрий Пилюгин. Нужно ли бороться с фрагментацией в таблице-куче. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/W4iWB> (дата обращения: 30.03.2021)
4. How to Inspect the content of a DATA PAGE or INDEX PAGE? Tip 6: Sql Server 101 Performance Tuning Tips and Tricks. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/W4mY4> (дата обращения: 30.03.2021)
5. Intermediate Index Pages in SQL Server. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/W4mct> (дата обращения: 30.03.2021)

УДК 004.91

## СИСТЕМА ДОКУМЕНТАЛЬНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРАКТИКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### THE SYSTEM OF DOCUMENTAL SUPPORT OF STUDENTS PRACTICE

Дмитриев В.А., Имаева Л.Р.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия

V.A. Dmitriev, L.R. Imaeva,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia

e-mail: dmtrvld@mail.ru

**Аннотация.** В современном мире цифровизация активно внедряется во все сферы общественной жизни. Система образования не является исключением.

Данный подход в учебном процессе предполагает организацию онлайн доступа посредством использования информационных технологий.

На данный момент документальное сопровождение организации практики обучающихся на кафедре вычислительной техники и инженерной кибернетики (ВТИК) Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ) реализуется без применения современных цифровых возможностей.

В статье рассматривается структура организации проведения практики обучающихся в образовательных учреждениях.

Уделяется внимание существующим цифровым системам организации обучения: личному кабинету студента УГНТУ, системе дистанционного обучения (СДО) Moodle, СДО Google Classroom.

Сравниваются основные возможности применения перечисленных решений для сопровождения практики обучающихся, и выявляется, что представленный функционал

лишь частично покрывает запросы, возникающие при организации практической деятельности обучающихся.

Предлагается использование одностраничного клиент-серверного веб-приложения, реализованного с использованием JavaScript-фреймворка VueJS, облачного хранилища данных Google Firebase, библиотеки docx.js.

В статье уделено внимание этапам разработки предложенной системы, описано ее моделирование: представлены алгоритмы работы с облачной базой данных, функциональная модель в виде диаграммы деятельности приложения.

**Abstract.** In the modern world, digitalization is presented in all spheres of public life. The education system is no exception.

This approach in the educational process involves the organization of online access using information technology.

Now, documentary support for the organization of the practice of students at the Department of Computer Engineering and Engineering Cybernetics of the Ufa State Petroleum Technical University (USPTU) is implemented without the use of modern digital capabilities.

The article examines the structure of organizing the practice of students in educational institutions.

Attention is paid to the existing digital systems for organizing education: personal account of USPTU student, distance-learning system (LMS) Moodle, LMS Google Classroom.

The main possibilities of using the listed solutions to support the practice of students are compared, and it is revealed that the presented functionality only partially covers the requests that arise when organizing the practical activities of students.

It is proposed to use a single-page client-server web application, implemented using the VueJS JavaScript framework, Google Firebase cloud data storage, docx.js library.

The article focuses on the development stages of the proposed system, describes its modeling: algorithms for working with a cloud database, a functional model in the form of an application activity diagram are presented.

**Ключевые слова:** образовательный процесс, практика обучающихся, система электронного документооборота, моделирование системы, алгоритм взаимодействия с базой данных.

**Keywords:** educational process, student practice, document management system, system modeling, an algorithm for interacting with a database.

Практика – это вид учебной деятельности в рамках образовательной программы, направленный на формирование, закрепление, развитие практических навыков и компетенций в процессе выполнения определенных видов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью [1].

Согласно положению о порядке проведения практики студентов УГНТУ организация практики заключается в подборе мест практики, формировании приказа по каждой группе, заполнении направлений и отчетов [2].

Самыми трудоемкими процессами являются: составление направлений по каждому студенту и оформление отчета по практике.

В направлении на практику требуется заполнить множество полей, которые зачастую повторяются, например, личные данные студента, название кафедры, место проведения практики.

Данную задачу можно решать автоматически, заполняя документ информацией из базы данных. Аналогичный подход применим к отчету студента.



В существующей модели организации практик акцент смещается в сторону состава (оформления) отчета, хотя важно именно содержание – какую работу проделал студент. Поэтому можно доверить документальное сопровождение практик автоматической системе.

Виды практик для направлений обучения, реализуемых на кафедре ВТИК, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Виды практик

В настоящий момент университетом в качестве систем электронного документооборота используются: личный кабинет студента, реализованный в формате веб-сайта, система дистанционного обучения, как правило Moodle, либо веб-сервис Google Classroom.

Проведено сравнение возможности документального сопровождения практик в перечисленных цифровых решениях.

*Личный кабинет (ЛК) УГНТУ.* Через раздел «Мои работы» обучающийся имеет возможность, выбрав дисциплину и вид работы, отправить документ на проверку руководителю.

Преподаватель, получив работу, просматривает вложенные файлы и оставляет отзыв.

Возможность формирования документов системой на основе введенных данных отсутствует, направления на практику прикрепляются в виде документа, доступного всей группе, то есть отсутствует возможность получить направление индивидуально.

Помимо личного кабинета в университете используется Moodle – популярная система электронного обучения.

*Система дистанционного обучения (СДО) УГНТУ.* Запись на курс производится по заявке преподавателя и только всей группы целиком. Таким образом, при прохождении практики вне графика группы, появляются определённые трудности с доступом практиканта к материалам руководителя практики.

Обучающийся выбирает учебный курс, после чего происходит переход на страницу дисциплины с последующим выбором работы из списка, сформированного преподавателем.

На странице работы пользователь имеет возможность загрузить документ, оставить комментарий. Далее руководитель просматривает представленный на проверку файл, пишет отзыв.

Формирование документов системой не осуществляется.

В качестве альтернативы первым двум системам преподаватели УГНТУ нередко используют *Google Classroom* – веб-сервис, предназначенный для обмена документами в рамках учебного процесса.

Функционал: обучающийся имеет возможность ознакомиться с информацией по работе, а также загрузить документ, содержащий выполненное задание. Далее преподаватель просматривает представленный на проверку файл, оценивает работу. Система не предоставляет функции создания документов.

Сравнительный анализ рассмотренных систем приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ систем документооборота

Критерий	ЛК УГНТУ	СДО Moodle	СДО Google Classroom
Выбор работы	да	да	да
Загрузка файлов	да	да	да
Оценка работы	да	да	да
Формирование документа	нет	нет	нет

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что системы, используемые в УГНТУ, позволяют осуществлять процесс документооборота, но имеющийся в данных цифровых решениях функционал лишь частично покрывает запросы, возникающие при документальном сопровождении практик. В первую очередь это выражается в отсутствии возможности сгенерировать документ посредством взаимодействия с системой.

Данная проблема влечет за собой дополнительную нагрузку на обучающегося и руководителя: в рамках существующей организации практик все руководства по заполнению представлены в виде методических пособий, что усложняет процесс оформления документов со стороны студента и влечет за собой дополнительную нагрузку на преподавателя.

На основании проведенного анализа появилась идея создания автоматизированной системы по организации практик обучающихся, ориентируясь на кафедру ВТИК.

С учетом опыта использования существующих цифровых решений, было проведено моделирование системы при помощи UML диаграмм.

Unified Modelling Language (UML) – графический язык, предназначенный для конструирования систем [2]. Система предусматривает авторизацию и, в зависимости от профиля входа, предоставляет определенные возможности, т.е. обучающийся может заполнить свой отчет, а руководитель может: добавить и редактировать данные по группам и студентам, а также по видам практики. Диаграмма деятельности системы приведена на рисунке 2.

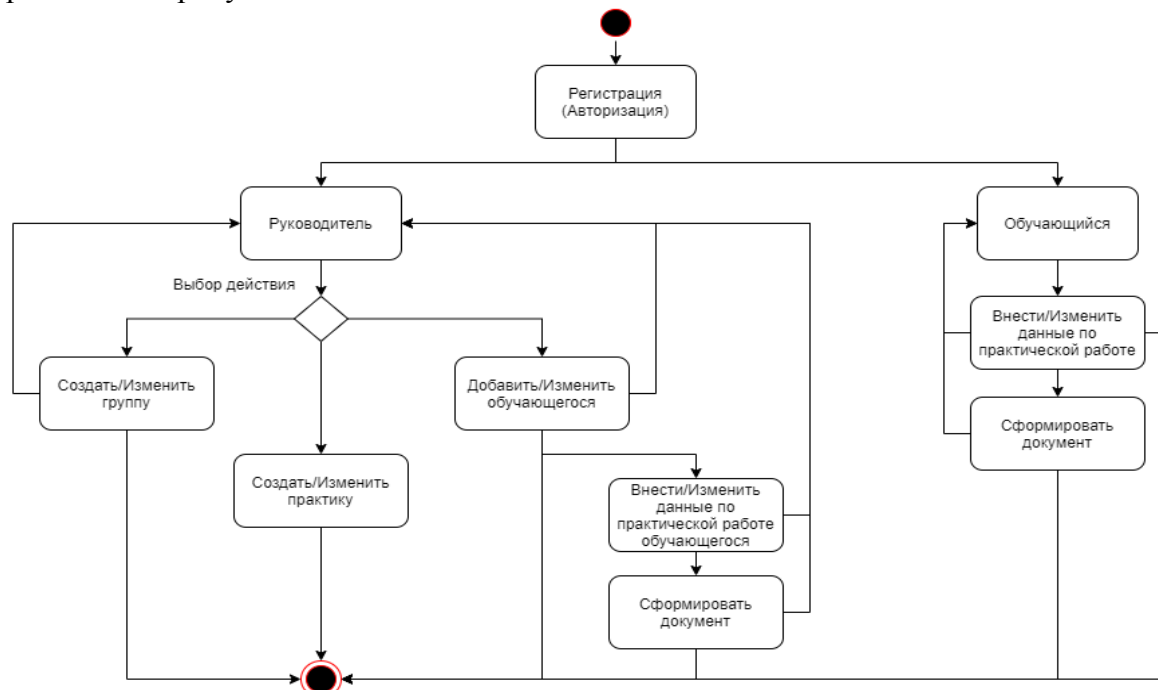


Рисунок 2. Диаграмма деятельности

При запуске системы на экране появляется форма авторизации.

Далее, в зависимости от профиля учетной записи, пользователь определяется с выбором действия, которое желает выполнить, и при нажатии на соответствующую кнопку меню открывается один из трех элементов системы для руководителя или раздел личных работ для обучающегося.

*Деятельность руководителя.* Алгоритм взаимодействия с записями групп включает в себя проверку входных данных на правильность ввода и отправку на хранение в облачную базу данных, каждой записи присваивается уникальный идентификатор.

Процесс создания практик в системе состоит из внесения информации о работе в соответствующий раздел базы данных с привязкой по идентификатору группы, группа выбирается заранее из выпадающего списка.

Каждая добавленная работа получает уникальный идентификатор.

Добавление обучающихся в систему состоит из внесения информации о новом пользователе, с последующей процедурой регистрации:

- добавление записи в раздел аутентификации базы данных,
- выдача пользовательского идентификатора.

Работа с данными по практической работе обучающегося происходит по данному принципу: по идентификатору группы каждый студент наследует практические работы, далее создаются записи в соответствии с иерархией, после чего пользователь получает возможность внести информацию по практической работе (рисунок 3) и скачать сгенерированный системой документ в формате .docx.

На рисунке 3 демонстрируется иерархия базы данных: вид практики – уникальный идентификатор практики – уникальный идентификатор студента – данные по работе, введенные в соответствующие поля предоставленной пользователю формы.

Описанный способ организации хранения информации применяется во всех представленных ранее разделах системы.

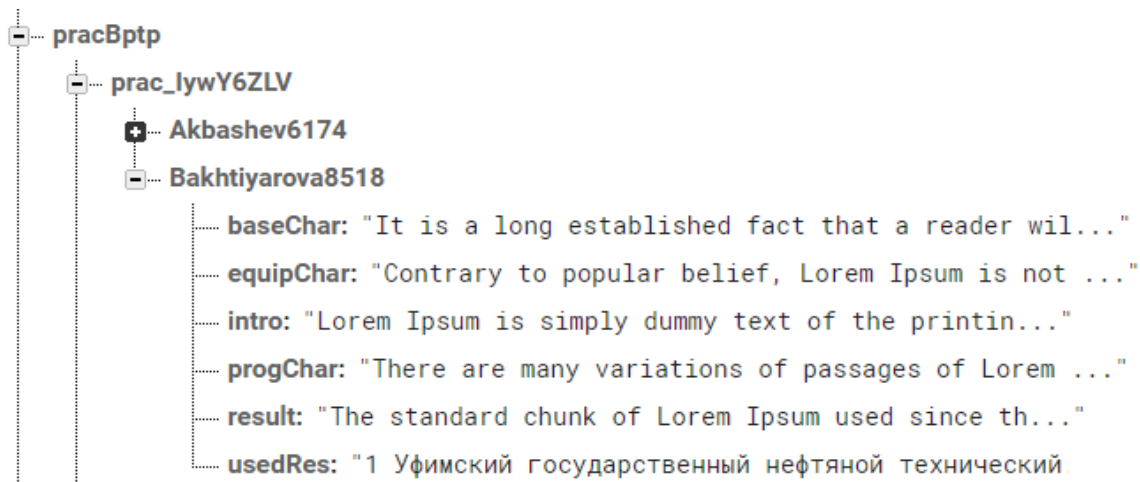


Рисунок 3. Структура записи базы данных

Алгоритм изменения и удаления записей является универсальным для всех перечисленных выше процессов: по уникальному идентификатору определяется искомая запись в базе данных, после чего происходит обновление или удаление информации из соответствующего раздела.

Система разрабатывается на языке JavaScript, имеет веб интерфейс, используется фреймворк Vue.JS.

Для генерации документов применяется библиотека docx.js, облачные данные размещаются в Firebase: FB.realtimedb для базы данных и FB.auth для авторизации.

## Выводы

На текущий момент система находится на стадии реализации программного комплекса.

Предварительно:

- была изучена структура сопроводительных документов по практике,
- рассмотрен опыт аналогичных цифровых решений,
- выбраны инструменты реализации,
- проведено моделирование.

## Литература

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 08.12.2020) Об образовании в Российской Федерации // СПС КонсультантПлюс.
2. Положение о порядке проведения практики студентов Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ), обучающихся по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры // Приложение № 1 к приказу по УГНТУ от 12.01.2016 № 08-1
3. Гома, Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений // Х. Гома. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 704 с.

УДК 004.5

**ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА  
АВАРИЙНЫХ ПОТЕРЬ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**SOFTWARE FOR THE DETERMINATION  
OF THE LOSS OF OIL AND OIL PRODUCTS IN ACCIDENTAL SITUATIONS**

Саитова К.А., Барахнина В.Б., Киреев И.Р., Коннов Я.А.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия

K.A. Saitova, V.B. Barakhnina, I.R. Kireev, Ya.A. Konnov,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia

e-mail: [ecologia1@rambler.ru](mailto:ecologia1@rambler.ru)

**Аннотация.** Повышение качества образования в России является на сегодняшний день актуальной проблемой.

Для полноценного обучения студентов нефтегазовых вузов необходимо давать не только теоретические знания, но и практические (с целью усвоения предмета и обучения студентов анализировать инженерные задачи и находить самостоятельные решения).

Авторами проведен анализ существующего программного обеспечения для экологических расчетов. Выявлены недостатки существующих обучающих программ для специалистов по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

В ходе выполнения практической работы «Расчет ущерба от аварийного разлива нефти и нефтепродуктов» студенты Уфимского государственного технического университета определяют степень загрязнения окружающей среды при аварийных утечках нефти и нефтепродуктов. При этом обучающиеся должны научиться определять степень загрязнения при аварийном истечении нефти из трубопроводов и резервуаров, безвозвратные потери нефти от испарения с поверхности грунта и воды, максимально возможные потери нефти от инфильтрации в грунт.

Для ускорения расчетов разработана новая программа, позволяющая произвести оценку ущерба от разлива нефти из нефтепровода (нефтеналивной эстакады, нефтеналивного танкера, металлических стальных резервуаров) при аварии, а также визуализировать процесс аварийного разлива.

**Abstract.** Improving the quality of education in Russia is an urgent problem today.

For full-fledged education of students of oil and gas universities, it is necessary to give not only theoretical knowledge, but also practical knowledge (in order to master the subject and teach students to analyze engineering problems and find independent solutions).

The authors analyzed the existing software for environmental calculations. The drawbacks of the existing training programs for specialists in the elimination of emergency oil and oil products spills have been identified.

In the course of the practical work “Calculation of damage from an accidental spill of oil and oil products”, students of the Ufa State Technical University determine the degree of environmental pollution during accidental spills of oil and oil products. At the same time, students must learn to determine the degree of pollution in the event of an emergency outflow

of oil from pipelines and tanks, irrecoverable loss of oil from evaporation from the surface of the soil and water, the maximum possible loss of oil from infiltration into the soil.

To speed up the calculations, a new program has been developed that makes it possible to assess the damage from an oil spill from an oil pipeline (oil loading rack, oil tanker, metal steel tanks) in an accident, as well as to visualize the process of an emergency spill.

**Ключевые слова:** программный продукт, автоматизация, расчет аварийного разлива, специалист по промышленной безопасности, экология, резервуар, танкер, нефтепровод, нефтеналивная эстакада.

**Keywords:** software product, automation, calculation of an emergency spill, industrial safety specialist, ecology, reservoir, tanker, oil pipeline, oil loading rack.

Высокий уровень аварийности и производственного травматизма в нефтегазовой отрасли обусловлен низкой эффективностью существующей системы образования и обучения специалистов по промышленной безопасности и охране окружающей среды (ОС), а также низким уровнем контроля в сфере охраны труда, защиты ОС и ликвидации аварий (HSE).

В ФГБОУ ВО УГНТУ проводится подготовка специалистов по направлению «Техносферная безопасность».

В рамках изучения ряда дисциплин («Экология», «Прикладная экология» и «Безопасность жизнедеятельности» и др.) проводится практическая работа (ПР), на которой изучается методика «Определение степени загрязнения при аварийных утечках нефти и нефтепродуктов».

Данная ПР проводится также для 1,3 тыс. студентов практически всех факультетов, непосредственно связанных с нефтяной промышленностью.

В ходе выполнения ПР студенты определяют степень загрязнения ОС при аварийных утечках нефти и нефтепродуктов.

Для ускорения расчетов и визуализации разлива нефти из резервуара разработаны программные модули с использованием языка VBA.

У каждого модуля предусмотрена кнопка активации расчетов, запускающая форму для ввода данных.

Для каждой кнопки расчета задания представлена краткая информация о ее содержимом и входных параметрах.

Все управляющие кнопки с описанием расположены на одном листе «РАСЧЕТЫ», также есть отдельный лист «Анимация», который представляет собой технологическую схему резервуара с изображением процесса истечения нефти из коррозионного свища и заполнением обваловки резервуара.

Рассмотрим, работу программного продукта (ПП), на примере первой задачи [2, 3].

При запуске файла «Расчет загрязнения ОС» открывается рабочий лист «РАСЧЕТЫ» (рисунок 1), на котором расположены все кнопки активации расчетов с кратким описанием соответствующего задания и входных параметров.

Для запуска первого программного модуля необходимо нажать на кнопку «Расчет вытекшего вещества из резервуара», в результате откроется диалоговая форма для ввода данных (рисунок 2).

После нажатия на кнопку активации расчетов запустится обработчик, который в свою очередь, запускает процедуру открытия диалоговой формы первого задания.

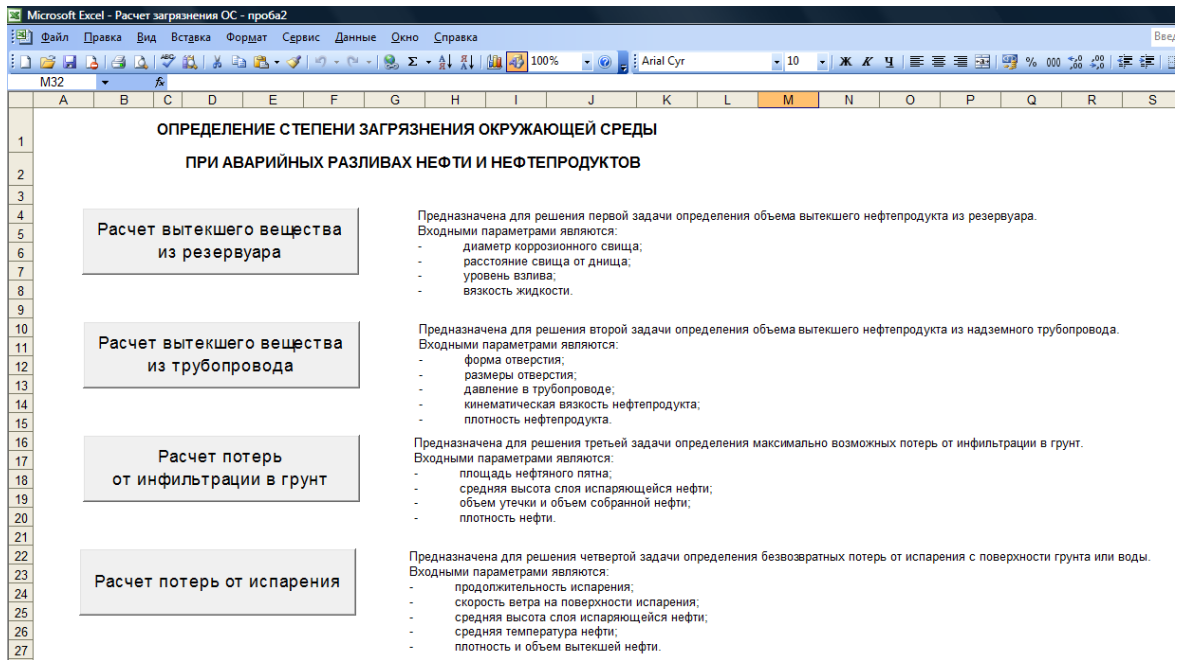


Рисунок 1. Исходная форма запуска заданий для расчета

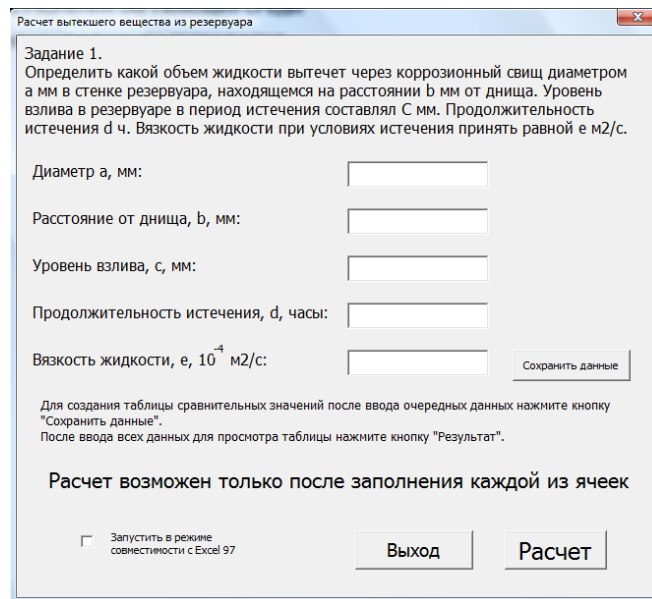


Рисунок 2. Диалоговая форма первого задания

На экране отобразится диалоговая форма, в которую можно ввести параметры, необходимые для расчета. Это: диаметр свища, расстояние от свища до дна, уровень разлива, продолжительность истечения, вязкость жидкости, находящейся в резервуаре.

Каждый из указанных пяти параметров может принимать только числовые (вещественные) значения.

Однако, пользователь по ошибке может ввести и нечисловые значения, например, вместе с цифрами нажать на текстовую клавишу. Если такое значение передается в расчеты, возникнет ошибка.

То же самое будет происходить при вводе всех остальных четырех параметров диалоговой формы, для которых проводится аналогичная проверка на предмет их принадлежности к числовому типу, а также на предмет наличия введенного значения [1, 4].

После ввода всех значений необходимо нажать кнопку «Расчет», которая запускает процедуру расчета конечных параметров, а также создает новый лист с номером задания, куда будут выводиться все рассчитанные данные.

Во избежание ошибки существующего листа предусмотрен код на проверку наличия листа с таким названием.

В случае отсутствия такого листа, он создается, и ему присваивается имя «Задание\_1», затем он активируется.

На рисунке 3 представлен пример расчетов первого задания.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										

Рисунок 3. Результаты решения первого задания

По усовершенствованной методике проведения ПР перед студентами ставится цель проанализировать зависимость между объемом излившейся нефти, ее напором или вязкостью, а также размером аварийного отверстия. Для этого предусмотрена возможность построения таблицы данных и кнопка для запоминания входных параметров. Параметры из ячеек ввода данных записываются в таблицу в столбцы K, L, M, N, O. Кнопка «Выход» реализует функцию скрытия диалогового окна Raschet\_1.Hide.

По полученной таблице с помощью стандартных средств Excel студентам имеет возможность построить графики и написать соответствующие выводы.

Кроме того, в диалоговой форме для задания 1 (как, впрочем, и для всех остальных заданий) имеется окно, в которое можно установить «флажок» для целей совместимости со старой версией Excel 97.

Дело в том, что вывод на лист Excel «РАСЧЕТЫ» результатов решения первого задания содержит индексные текстовые надписи, например,  $m^3$ ,  $кг/м^3$  и т.д. К сожалению, старая версия Excel не поддерживает вывод индексов. Поэтому, если все же пользователю необходимо запустить первое задание в старом Excel, то следует поставить «флажок» (галочку). При этом индексы проставляться не будут, а соответствующие символы (которые должны быть в виде индексов) будут отображаться, как обычно, например,  $m^3$ ,  $кг/м^3$ .

Аналогично решаются задания со второго по четвертое. При этом создаются листы с соответствующими названиями и результатами. Для решения, например, второго задания следует нажать на кнопку «Расчет вытекшего вещества из трубопровода». При этом возникнет диалоговая форма с полями для ввода данных второго задания (рисунок 4).



Отдельно стоит остановиться лишь на анимации. Для этого необходимо войти на лист Excel под названием «Анимация», на котором можно видеть уже конечные результаты работы программы, т.е. когда виртуальная нефть, выливаясь из резервуара, уже заполнила обваловку.

**Расчет вытекшего вещества из резервуара**

**Задание 2.**  
 На надземном участке нефтепродуктопровода обнаружено отверстие, имеющее форму А. Измерения на месте показали, что диагонали формы равны  $B \cdot 10^{-5}$  м и  $V \cdot 10^{-5}$  м, а его можно классифицировать как отверстие в толстой стенке.  
 Давление в трубопроводе в месте обнаружения отверстия составляет  $\Gamma$  кгс/см<sup>2</sup>. Кинематическая вязкость нефтегазоконденсатной смеси равна  $D$ , а её плотность -  $P$  кг/м<sup>3</sup>. Продолжительность истечения  $K$  часов. Определить объем утечки.

Форма отверстия А:

Диагонали формы: Б:   $\times 10^{-5}$  м

В:   $\times 10^{-5}$  м

Давление в трубопроводе  $\Gamma$ :  кгс/см<sup>2</sup>

Кинематическая вязкость газоконденсатной смеси  $D$ :   $10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с

Плотность нефтегазоконденсатной смеси  $P$ :  кг/м<sup>3</sup>

Продолжительность  $K$ :  часов

Расчет возможен только после заполнения каждой из ячеек

Запустить в режиме совместности с Excel 97

Рисунок 4. Диалоговая форма второго задания

В этот момент выполнение расчетов прекращается (рисунок 5).

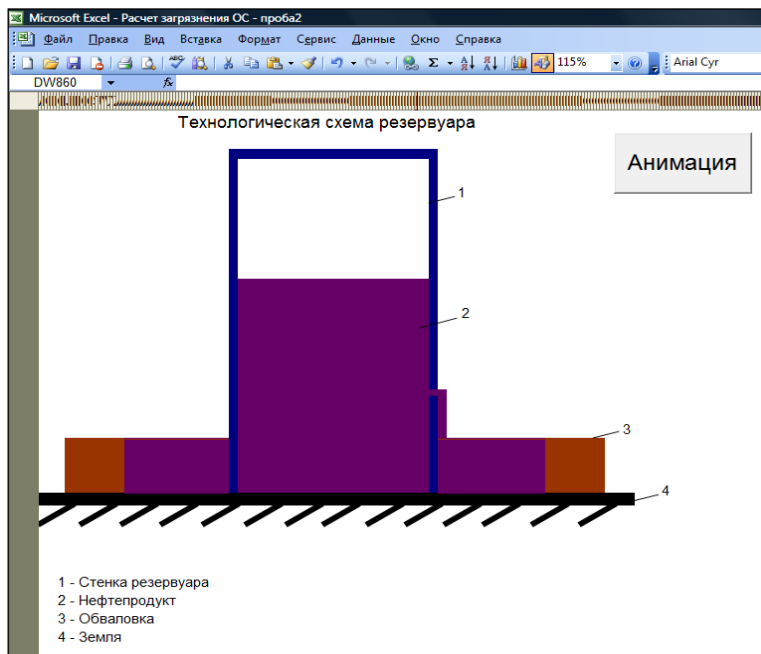


Рисунок 5. Конечные результаты анимации

Для того, чтобы запустить анимацию, следует нажать на соответствующую кнопку. После чего возникнет диалоговое окно, запрашивающее, стоит ли запустить анимацию.

Если нажать кнопку «Запустить анимацию», вначале возникнет изображение

резервуара с нефтью. Затем, через 1 секунду в правой части экрана, внизу резервуара появится отверстие с заданными в задаче параметрами, визуализируется утечка нефти в виде струи (фиолетового цвета – для контрастности изображения).

Затем уровень нефти в обваловке начнет увеличиваться, а в резервуаре, наоборот, снижаться [2, 3].

И, через расчетное время, возникнет картина, изображенная на рисунке 5.

Выбор значений полей, их анализ на принадлежность к числовому типу, а также анализ на наличие пустых значений производится полностью аналогично заданию 1.

Нажатие на кнопку «Расчет» вызовет срабатывание обработчика для этой кнопки. Эта процедура, как и в задании 1, вызовет проверку введенных параметров, создаст лист для вывода значений с именем «Задание\_2», а потом проведет расчет требуемых показателей (рисунок 6).

Программные алгоритмы и технологии, реализующие процесс решения второго задания, в целом аналогичны первому заданию и оставшимся двум заданиям (3 и 4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	

Рисунок 6. Результаты расчета по второму заданию

## Выводы

С применением данного специализированного приложения к ПР студенты смогут подкрепить свои теоретические знания о последствиях разливов нефти практическими знаниями, научатся анализировать данные по аварийным утечкам нефтепродуктов и принимать решения по их ликвидации.

В результате усовершенствования ПР путем автоматизации определения степени загрязнения ОС при аварийных разливах нефтепродуктов, студенты получают возможность приобретения таких профессиональных компетенций, как использование компьютерных средств в научно-исследовательской работе, планирование экспериментальных исследований, получение, обработка и анализ экспериментальных данных.

Новый ПП позволит студентам лучше понять предложенный материал, научиться анализировать и делать соответствующие прогнозы, тем самым повысить свои профессиональные навыки.

### Литература

1. Ибрагимова Р.А., Барахнина В.Б. Разработка программного обеспечения для определения степени загрязнения при аварийных утечках нефти и нефтепродуктов. Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: тезисы докладов международной молодежной конференции (г. Уфа, 23-29 ноября 2014 г.) / отв. ред. К.Ш. Ямалетдинова. Уфа: РИЦ БашГУ, С. 242-244.

2. Ибрагимова Р.А., Жолобова Г.Н., Азнабаев И.Р. и др. О необходимости разработки программных средств для определения потерь при аварийных разливах нефти. Сборник материалов научно-практической конференции «Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах», Сборник №3 «Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов», 20-21 мая 2015 г., Уфа: Нефтегазовое дело, 2015. С. 13-18.

3. Ибрагимова Р.А., Жолобова Г.Н., Азнабаев И.Р. и др. Современные программные средства для расчета ущерба от аварий на нефтепроводах. Сборник научных трудов II международной научно-технической конференции «Защита окружающей среды от экотоксикантов», Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015, С. 132-136.

4. Ибрагимова Р.А., Киреев И.Р., Жолобова Г.Н. и др. Разработка программного средства для определения степени загрязнения почвы при авариях на нефтепроводах. Материалы XIX Международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России», Т. 2, Изд-во УГНТУ, 2015. С. 463-464.

УДК 004.147

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАНИИ

### DIGITAL TECHNOLOGIES IN ONLINE EDUCATION

Идрисова Ж.В., Алихаджиев С.Х.,  
ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»  
г. Грозный, Российская Федерация

J.V. Idrisova, S.Kh. Alikhadzhiev,  
“Chechen State University”  
Grozny, Russian Federation

e-mail: J120712@yandex.ru

**Аннотация.** В настоящее время онлайн-образование широко востребовано в обществе. Оно активно продвигается образовательными учреждениями и является объектом интереса государства, способствуя развитию рынка образовательных услуг и повышению уровня доступности образования для всех членов общества. Современные цифровые технологии играют важную роль в трансформации образования в цифровую экономику.

В статье рассматриваются современные стандарты онлайн-обучения, используемые для создания персонализированных адаптивных онлайн-курсов. Отмечается, что для удовлетворения требований адаптивности и развития индивидуальной траектории обучения необходимо, чтобы все образовательные объекты находились в специальном репозитории, который представляет собой онлайн-библиотеку для хранения, управления и совместного использования образовательных ресурсов. Система принимает решение о выборе и последовательности включения учебных объектов в онлайн-курс на основе сбора информации об учебной деятельности студентов. Использование объектного подхода к структурированию знаний позволяет эффективно организовать учебный процесс: создавать гибкие персонализированные технологии обучения, изменять содержание и сценарии педагогической работы учителей.

Внедрение современных информационных технологий в онлайн-образование позволит раньше времени откликнуться на потребности общества в квалифицированных кадрах в условиях формирования цифровой экономики, развития прорывных и перспективных технологий и их влияния на бизнес.

**Abstract.** Currently online education is widely in demand in society. It is actively promoted by educational institutions and it is an object of interest of the state, contributing to the development of educational services market and increasing the level of accessibility of education for all society members. Modern digital technologies play an important role in the transformation of education in digital economy.

The article deals with modern standards of online learning used for creating personalized adaptive online courses. It is noted that to meet the requirements of adaptability and develop an individual learning trajectory, it is necessary that all educational objects are located in a special repository, which is an online library for storing, managing and sharing educational resources. The system makes a decision on the choice and sequence of inclusion of educational objects in the online course based on the collection of information about the educational activity of students. The use of an object approach to knowledge structuring makes it possible to effectively organize the educational process: creating flexible, personalized learning technologies, changing the content a scenarios of pedagogical work of the teachers.

The introduction of modern information technologies in online education will allow to respond ahead of time to the needs o society for qualified staff in the context of the formation of digital economy, the development of breakthrough and promising technologies and their impact on business.

**Ключевые слова:** онлайн-курс, образовательный стандарт, хранилище образовательных объектов, электронное портфолио, индивидуальная траектория.

**Keywords:** Online course, educational standard, repository of educational objects, electronic portfolio, individual trajectory.

### **Введение**

Происходящие в экономике процессы наглядно демонстрируют, что устойчивое развитие современного общества достигается за счет широкого использования цифровых технологий.

Интенсивное развитие цифровых технологий ставит перед системой образования новые задачи по созданию гибкой цифровой образовательной среды и активного

использования онлайн-курсов, размещенных на различных платформах (Boutell & Fisher, 2017; Rao-Nicholson et al., 2017).

Достижения в области информационных технологий и более глубокое понимание педагогических принципов, лежащих в основе успешного дистанционного обучения, привели к созданию инновационных методологических подходов в онлайн-образовании.

Одним из таких инновационных подходов является разработка учебного курса на основе учебных объектов, которые представляют собой небольшие части электронных учебных материалов, предназначенных для целей обучения (Комлева, Днепровская, 2018).

Таким образом, платформа для создания электронных курсов должна предоставлять возможность обмена и совместного использования образовательного контента и других данных между различными образовательными системами через Интернет.

Для реализации этого требования при создании учебных заведений необходимо использовать открытые протоколы и стандарты. Некоторые стандарты устарели, некоторые обновлены, но их применение всегда будет актуальным и востребованным.

Сегодня сложно представить сферу онлайн-образования без использования международных стандартов, обеспечивающих его доступность и мобильность.

С развитием ИТ-сферы в онлайн-образовании используются новые технологии и новые способы подачи информации, что приводит к изменениям в стандартах и подходах к внедрению онлайн-обучения.

### **Постановка проблемы**

Необходимость постоянного обновления содержания, а также высокая приоритетность проблемы создания конкурентоспособных учебных курсов подчеркивает актуальность и необходимость изучения современных образовательных стандартов и их применения в учебном процессе и исследованиях, в частности, для решения следующие вопросы:

- переход от обучения на основе набора заранее подготовленных учебных курсов к обучению на основе лично выбранных программ, которые автоматически генерируются из учебных объектов репозитория в соответствии с результатами мониторинга компетенций обучаемого и желаемыми конечными результатами;
- организация распределенного хранилища для размещения образовательных объектов и выполнение требований к репозиторию образовательных объектов: соответствие современным стандартам, простота обслуживания, мобильность, доступность и эффективность;
- возможность использования систем для сбора информации о действиях студентов на онлайн-обучении.

### **Методы исследования.**

#### **Анализ развития стандартов онлайн-образования**

Практически все существующие системы управления обучением (LMS) так или иначе реализуют стандарты онлайн-образования. Многие курсы статичны, т.е. отсутствует адаптируемость, заключающаяся в корректировке содержания обучения под определенный уровень знаний учащегося (Uthayakumar & Sarukesi, 2011). Эту адаптируемость можно реализовать с помощью современных стандартов онлайн-образования: XAPI и mi5, репозитория образовательных объектов и системы Learning Record Store (LRS).

Развитие стандартов онлайн-обучения привело к появлению XAPI и sm5, которые позволяют создавать динамические курсы, где информация о действиях студента в течение курса собирается и затем сохраняется в системе LRS для дальнейшей обработки и анализа (сайт XAPI).

«Эталонным стандартом» для онлайн-образования является SCORM, который был разработан в 1999 году по инициативе Advanced Distributed Learning (веб-сайт Advanced Distributed Learning). Этот стандарт позволяет загружать онлайн-курс в любую существующую систему LMS, которая поддерживает этот стандарт. Одним из основных недостатков стандарта SCORM является отсутствие глубокого анализа активности студентов.

Tin Can (или XAPI) (веб-сайт XAPI) стал улучшенным стандартом по сравнению с SCORM. Этот стандарт значительно расширил возможности стандарта SCORM, что привело к возможности отслеживать и записывать учебную деятельность студента. Проблема со стандартом, если это можно назвать проблемой, заключается в том, что он поддерживается только современными системами LMS.

Стандарт sm5 исправляет недостатки как SCORM, так и XAPI. В 2016 году стандарт стал доступен широкой публике. Старые системы LMS не поддерживаются XAPI, поэтому sm5 не только решил эту проблему, но и позволил студентам проходить курсы даже без подключения к Интернету.

Стандарты онлайн-образования упрощают использование и перенос курсов в разные LMS. Таким образом достигается универсальность разработанного курса.

### **Исследование принципов разработки репозитория образовательных объектов для создания персонализированных адаптивных онлайн-курсов**

Современные стандарты онлайн-обучения поддерживают возможность адаптации содержания курса к уровню подготовки студента, используя только те учебные материалы, которые в него встроены. У этого подхода есть свои недостатки:

- Актуальность учебных материалов может со временем устареть.
- Неполное раскрытие определенных тем или занятий.

Каждый обучающий объект может включать в себя один или несколько компонентов (информационных объектов), таких как текст, презентации, видеоматериалы, различные таблицы, графики или любой другой тип документа или файла. Учебный объект должен быть построен так, чтобы у пользователя не возникало проблем с его интеграцией в электронный курс из-за его внутренней структуры. Другими словами, многоразовый обучающий объект должен быть «черным ящиком» в смысле теории объектно-ориентированного программирования (Мерзон, Ибатуллин, 2017).

Основное преимущество работы с учебными объектами заключается в том, что преподаватели и студенты могут повторно использовать их для разработки электронных курсов, содержащих материалы, которые напрямую соответствуют их индивидуальным целям обучения. Совокупность образовательных объектов, которые объединяются в определенной последовательности это и есть курс. Чтобы образовательный объект был включен в онлайн-курс, он должен соответствовать содержанию курса и формировать компетенции студента, которые он должен иметь после завершения курса. Сам курс также можно рассматривать как обучающий объект. Все образовательные объекты находятся в специальном репозитории, который представляет собой онлайн-библиотеку для хранения, управления и совместного использования образовательных ресурсов.

Доступ к компонентам репозитория контролируется специальными встроенными службами безопасности. Репозиторий образовательных объектов состоит из двух частей: публичной и частной. Для автоматизации обработки контента каждый материал в

информационной среде должен быть связан с определенным набором параметров, на основании которых принимается решение его обработать (удалить, переместить между разделами или скопировать в закрытый раздел портал). Например, в информационно-образовательной среде образовательного учреждения, как отмечено (Комлева и др., 2018), параметрами могут быть: категория, метаданные, даты изменений, популярность, рейтинг модератора.

Метаданные необходимы для идентификации и поиска контента. Когда обучающий объект публикуется в открытой части репозитория, он должен соответствовать определенному набору параметров, на основании которого принимается решение его обработать (удалить, переместить между разделами, скопировать в закрытый раздел хранилища). портал). На основе этих данных объект будет автоматически описан метаданными, которые используются для классификации, организации обучающих объектов и облегчения их поиска. Чтобы переместить обучающий объект в закрытую часть репозитория, он должен пройти проверку: насколько точна, актуальна и полезна информация, содержащаяся в материале, для пользователей, насколько она соответствует указанным стандартам и насколько вы можете доверять автору этого контента (Комлева и др., 2018).

Конечно, метаданные – важный элемент, позволяющий многократно использовать учебные объекты. Они позволяют эффективно взаимодействовать с объектами, точно определяя интерфейсы и форматы. Каталогизация образовательных объектов с использованием метаданных позволяет распространять их по отдельности или в сочетании с другими, чтобы увеличить частоту их использования. Однако на повторное использование обучающих объектов также влияет уровень детализации контента. Он соответствует уровню спецификации компонентов и может варьироваться от простого изображения или графика до полной учебной программы или курса в целом. Чем более детализирован обучающий объект, тем больше вероятность его повторного использования.

### **Обзор возможностей систем LRS в онлайн-обучении**

Чтобы получить информацию о способностях и результатах обучения конкретного ученика, необходимо контролировать его учебную деятельность. Этот процесс необходим для реализации адаптируемости в системе. Это позволит своевременно реагировать на действия обучаемого и предлагать ему те образовательные объекты, которые наиболее подходят ему для достижения цели обучения (Liguori et al., 2019). Сбор учебных материалов учащихся поддерживается стандартами XAPI и cmi5. Эти данные хранятся в системе Learning Record Store (LRS), которая может быть либо встроена в LMS, либо существовать как отдельная служба.

LRS – это база данных, содержащая информацию об образовательной деятельности (сайт с описанием LRS). Эти системы принимают запросы от LMS на сохранение, получение и исправление информации.

Разработка LRS – это сложный процесс, который включает в себя выполнение определенных требований для работы такой системы. Однако некоторые компании разрабатывают такие системы с использованием различных технологий.

Благодаря технологии блокчейн финансовый сектор сильно изменился, что привело к появлению и переосмыслению старых бизнес-процессов и созданию новых. Использование блокчейна не ограничивается только банковским сектором, но его активно начинают использовать в таких сферах, как здравоохранение, логистика, энергетика, образование и другие.

Технология блокчейн – это непрерывная цепочка блоков. Использование алгоритмов шифрования позволяет защитить записи, принадлежащие конкретному человеку, от редактирования другими пользователями сети.

Один из возможных способов использования этой технологии – разработка нового типа систем LRS. Такие системы называются системами Learning Record Blockchain (LRB) (Walther, 2018) и по сравнению с традиционными реализациями имеют ряд преимуществ:

- конфиденциальность личной информации с помощью криптографии.
- децентрализованная система хранения данных.
- неизменность добавленных блоков (блок не снимается).

При онлайн-обучении стандарт ХАPI отправляет данные об академической деятельности каждого студента в систему LRB, которые хранятся в блоках с использованием алгоритмов шифрования. Таким образом, чтобы получить информацию о конкретном ученике, вы должны пройти верификацию (Sharples & Domingue, 2016).

Каждый студент сможет пройти процедуру верификации для создания соответствующей учетной записи в LRB, где будут сохраняться результаты обучения и онлайн-курсов. Однако в ЛРБ можно не только хранить информацию о действиях студента, но и хранить сертификаты, дипломы и информацию об организации, в которой пользователь прошел обучение и каких результатов в учебном процессе он смог добиться, по сути, формируя его электронное портфолио.

Доступ к данным студента будет осуществляться исключительно с их согласия, что позволит контролировать выдачу определенных данных, чтобы они не влияли на конфиденциальную информацию.

Блокчейн известен своим высоким уровнем доверия к хранимым данным, что достигается с помощью криптографии, децентрализации и алгоритмов консенсуса. Такой уровень безопасности гарантирует правильность хранимой информации, но не гарантирует ее надежность. Образовательная организация по-прежнему может выдавать поддельный сертификат или другие методы предоставления ложной информации, которые в настоящее время очень сложно проверить.

Хранение информации о действиях студента, сертификатов, дипломов и другой образовательной деятельности в единой, криптографически защищенной системе, позволит не только накапливать информацию о способностях и результатах обучения конкретного студента, но и давать рекомендации по содержанию и последовательности включения учебных объектов из репозитория в соответствии с мониторингом индивидуального уровня компетентности студентов.

## **Выводы**

Индивидуальная траектория персонализации – это образовательный маршрут, адаптированный к конкретному человеку с учетом его характеристик и потребностей (Chaw & Tang, 2018). Разработка личной траектории осуществляется путем реализации следующих компонентов:

1. База данных, содержащая информацию о студенте (LRB).
2. Модуль для анализа иерархий материалов в закрытой части репозитория.
3. Модуль экспорта результатов анализа для создания курса.
4. Модуль оценки качества построенной траектории обучения.

Объекты обучения извлекаются из закрытой части хранилища для последующего использования в онлайн-курсе.

Поскольку каждый обучающий объект содержит определенный набор метаданных, поиск нужных объектов намного проще.



Получение результатов обучения из системы LRB для связанных курсов позволяет с большей точностью выбирать обучающие объекты из репозитория.

Сегодня большое внимание уделяется трансформации процесса обучения и формированию индивидуальной траектории обучения (Афанасьев и др., 2018; Никульчев и др., 2019). Некоторые LMS пытаются реализовать этот подход, но он не всегда показывает отличные результаты. Разработка индивидуальной траектории возможна только при наличии достаточного количества и вариативности учебных материалов в репозитории для полноценной реализации создания адаптивного онлайн-курса, ориентированного на конкретного студента.

Эволюция современного информационного общества и системы образования ясно демонстрирует, что знания становятся доминирующим средством достижения высоких социально-экономических результатов и основным источником конкурентных преимуществ (Kılıc et al., 2015; Liventsova et al., 2016). Определяющими понятиями этих процессов являются управление знаниями и интеллектуальный капитал. Сегодня онлайн-образование широко востребовано в обществе, активно продвигается образовательными учреждениями и является объектом государственного интереса (Илиева-Колева, Добрева, 2015).

Персонализация учебного курса – новое направление в образовательной среде, она характеризуется учетом требований и потребностей студента и помогает воспитывать его независимость в дополнение к выполнению своей целевой задачи. В среде с постоянно растущей популярностью и спросом на онлайн-курсы разработка программного обеспечения, реализующего личную траекторию, является одной из важнейших задач современного образования.

Важная роль в трансформации образования в условиях цифровой экономики, обеспечении его доступности и мобильности отводится современным стандартам онлайн-обучения, используемым для построения персонализированных адаптивных онлайн-курсов.

Создание репозитория образовательных объектов, спроектированного в соответствии с современными стандартами их хранения, управления и совместного использования, отвечает современным требованиям онлайн-образования и способствует подготовке высококвалифицированных кадров для цифровой экономики.

## Литература

1. Афанасьев М., Днепровская Н., Клячин М., Демидко Д. (2018). Proc. 19 евро. Конф. по управлению знаниями – ЕСКМ т. 1. Academic Conferences and Publishing International Limited. 2018 (Падуя).
2. Комлева Н., Днепровская Н. Proc. 17 евро. Конф. по электронному обучению – ECEL 2018 проводится совместно с Университетом Западной Атики. Греческая военно-воздушная академия. 2018.
3. Комлева Н., Днепровская Н., Внукова Т. Proc. 19 евро. Конф. по управлению знаниями – ЕСКМ 2018 (Падуя), том 1, изд. Э. Болисани, Э. Ди Мария и Э. Скарсо. Academic Conferences and Publishing International Limited. 2018.
4. Лигуори, Э., Бендиксон, Дж., Соломон, С., и Макдауэлл, У.К. Разработка многомерного метода оценки предпринимательских экосистем. Предпринимательство и региональное развитие, 2019. 31 (1-2), 7-21. URL:<https://clck.ru/W4z4j>
5. Ливенцова Е., Румянцева Т., Сырямкина Е. Развитие социальных и предпринимательских навыков студентов инженерно-технических специальностей в современном университете. Документ представлен на веб-сайте конференций МАТЕС, 79. URL:<https://clck.ru/W4z7A>. 2016.

6. Никульчев Э., Ильин Д., Белов Б., Колясников П., Косенков А. Int. J. of Adv. Комп. Наука и приложение, 2019, 10 (4), 29-34.  
7. Вальтер, П. (2018). Блокчейн записи обучения. URL: <https://clck.ru/W4z3S>

УДК 004.621.791:624.078.45

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ  
НА УЧАСТКАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ШТАМПОСВАРНЫХ ОТВОДОВ**

**IMPROVING THE PIPELINE SYSTEMS  
OPERATIONAL SAFETY  
IN THE STAMPED-WELDED BENDS LOCATION AREAS**

<sup>1,2</sup>Ерофеев В.В., <sup>3</sup>Игнатьев А.Г., <sup>4</sup>Ерофеев С.В., <sup>1</sup>Шарафиев Р.Г.,  
<sup>2,3</sup>Трояновская И.П., <sup>2,5</sup>Гребенщикова О.А.,

<sup>1</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет,  
г. Троицк, Российская Федерация,  
<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный университет,  
<sup>4</sup>ООО НПП «Плазмотрон»,  
<sup>5</sup>Филиал ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия  
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
г. Челябинск Российская Федерация

V.V. Erofeev<sup>1,2</sup>, A.G. Ignatiev<sup>3</sup>, S.V. Erofeev<sup>4</sup>, R.G. Sharafiev<sup>1</sup>,  
I.P. Troyanovskaya<sup>2,3</sup>, O.A. Grebenschikova<sup>2,5</sup>,  
<sup>1</sup>Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia  
<sup>2</sup>FSBEI HE «South Ural State Agrarian University»,  
Troitsk, Russian Federation,  
<sup>3</sup>FSAEI HE «South Ural State University»,  
<sup>4</sup>LLC NPP “Plazmotron”,  
<sup>5</sup>Air Force Military Educational and Scientific Centre,  
Air Force Academy N.a. Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin,  
Chelyabinsk, Russian Federation

e-mail: [ervv52@mail.ru](mailto:ervv52@mail.ru)

**Аннотация.** Отводы и тройники являются наиболее нагруженными элементами трубопроводных систем объектов нефтегазодобывающего комплекса в процессе их эксплуатации. В настоящей работе рассматриваются отводы в виде торообразных оболочковых конструкций. Предложен новый подход к повышению несущей способности сварных трубопроводов с такого вида соединительными элементами. В основу подхода положено совершенствование конструктивно-технологического проектирования и изготовления отводов. Предлагается на стадии заключительного контроля использовать оптимальные значения режимов опрессовки изделий. Эти режимы гарантируют полное снятие остаточных сварочных напряжений. Также они

учитывают особенности напряженно-деформированного состояния тороидальных конструкций и эффект концентрации напряжений в зонах сварных соединений.

**Abstract.** Bends and tees are the most loaded elements of oil and gas production facilities pipeline systems during their operation. In this paper, bends in the form of toroidal shell structures are considered. A new approach to increasing the bearing capacity of welded pipelines with this connecting elements type is proposed. This approach is based on the bends structural and technological design and manufacture improvement. It is proposed to use the optimal values of products crimping modes at the control final stage. These modes guarantee the complete removal of residual welding stresses. Also they take into account the stress-strain state peculiarities of toroidal structures and the stress concentration effect in the welded joints zones.

**Ключевые слова:** трубопроводы, штампосварные отводы, безопасность, остаточные сварочные напряжения, давление опрессовки.

**Keywords:** pipelines, stamped-welded bends, safety, welding residual stresses, crimping pressure.

Врезки (тройники, отводы и т.д.) являются наиболее опасными участками трубопроводных систем, в процессе эксплуатации которых наблюдается большое число аварий.

Одной из причин аварий является наличие полей остаточных сварочных напряжений, образующихся при изготовлении отводов и эффекта концентрации напряжений вблизи сварных соединений.

Для обеспечения требуемой долговечности и надежности участков врезки трубопроводных систем рекомендуется использовать технологические приемы по снятию остаточных сварочных напряжений в области сварных соединений.

Соединительный узел (отвод) представляет собой тороидальную оболочковую конструкцию, в процессе нагружения которой наблюдается более сложное напряженно-деформированное состояние по сравнению с линейным трубопроводом. В связи с этим отводы, как правило, имеют большую толщину, чем линейная часть трубопровода.

Тороидальные отводы, как правило, изготавливаются из двух заготовок двумя стыковыми швами, которые являются очагами концентрации напряжений.

В частности, величина коэффициента концентрации напряжений в стыковых соединениях  $K_{\sigma}^A = \sigma_{\max} / \sigma_H$  (рисунок 1) может быть определена по соотношению, приведенному в работе [1]:

$$K_{\sigma}^A = 1 + \left[ \rho^A \left( \frac{14}{B} + \frac{1,7}{C} + \frac{5}{t} \right) \right]^{-1/2}, \quad (1)$$

где  $B$  – ширина в головной части стыкового шва;  $\rho^A$  – радиус в вершине перехода от шва к основному металлу,  $C$  – усиление стыкового шва;  $t$  – толщина соединения (рисунок 1).

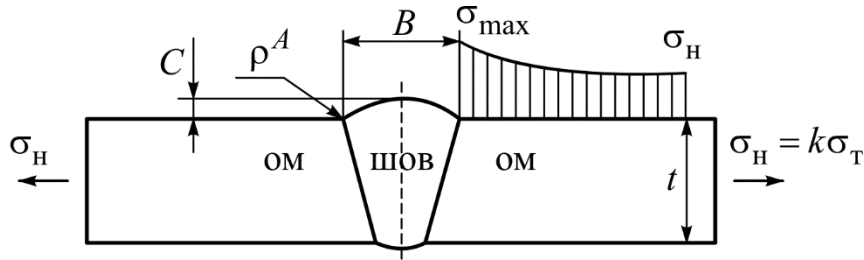


Рисунок 1. Распределение напряжений в стыковом сварном соединении [2]

В соответствии с нормативным документом [3] для различных типоразмеров стыковых швов можно подобрать искомые значения  $B$  и  $C$ . Например, для соединений типа С17 толщиной  $t = 40$  мм ширина шва  $B = 50$  мм, усиление  $C = 2$  мм.

Принимая  $\rho^A = 1$  мм, получим  $K_{\sigma}^A = 1,89$ .

Анализ напряженного состояния штампосварных отводов проводили с учетом того, что данные тороидальные оболочковые металлоконструкции работают в условиях двухосного нагружения.

Для рассматриваемых металлоконструкций (рисунок 2) значение параметра двухосности нагружения стенки  $n$  может быть определено по следующей зависимости [4]:

$$n = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{1 + \alpha \sin \theta}{2 + \alpha \sin \theta}, \quad (2)$$

где  $\sigma_2$ ,  $\sigma_1$  – соответственно главные напряжения, действующие вдоль и поперек продольной оси оболочки,  $\alpha = R_{\text{внутр}} / R_{\text{Т}}$  – параметр, характеризующий типоразмер отвода;  $R_{\text{Т}}$ ,  $R_{\text{внутр}}$  и  $\theta$  – геометрические параметры, показанные на рисунке 2.

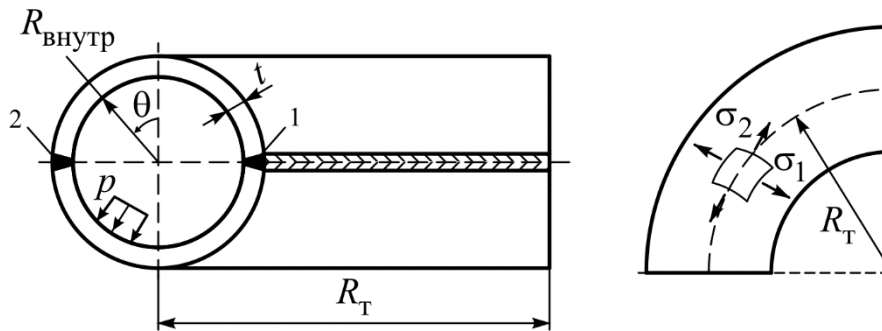


Рисунок 2. Отвод, выполненный из двух полуштампов, соединенных продольными сварными швами

Как следует из соотношения (2), для данного типа конструкции характерна неоднородность значений параметра двухосности  $n$  по объему оболочки, вследствие чего места расположения сварных соединений предопределяют условия их нагруженности в процессе эксплуатации.

В качестве примера рассмотрим штампосварной отвод ОКШ-90°-1420-8,5-0,75, выполненный из стали 12ГМФБ-пл (угол поворота 90°, радиус тора  $R_{\text{Т}} = 2100$  мм,  $R_{\text{внутр}} = 670$  мм, наружный диаметр 1420 мм, толщина стенки 40 мм), который является соединительной деталью как магистральных, так и промышленных трубопроводов.

Штамповарные отводы разных типоразмеров [5] относятся к классу тонкостенных оболочек, для которых относительный параметр толстостенности не превышает значений  $\Psi_{тс} = t/R \leq 0,1$ . Для рассматриваемых отводов максимальное значение  $\Psi_{тс}^{max}$  составляет  $t/R_{внутр} = 40/670 = 0,06$ , что подтверждает сделанное предположение.

Для сварного шва, выполненного по малому радиусу тора с внутренней стороны отвода при  $\theta = -90^\circ$  (шов 1),  $n_{внутр} = 0,4$ .

Для сварного шва, выполненного по большому радиусу тора с внешней стороны отвода при  $\theta = 90^\circ$  (шов 2),  $n_{внеш} = 0,57$ .

Данным значениям  $n_{внутр}$  и  $n_{внеш}$  отвечают границы диапазона кривой 2, описывающей зависимость  $n = n(\theta, \alpha)$  при  $\alpha = R_{внутр} / R_T = 0,32$  (рисунок 3).

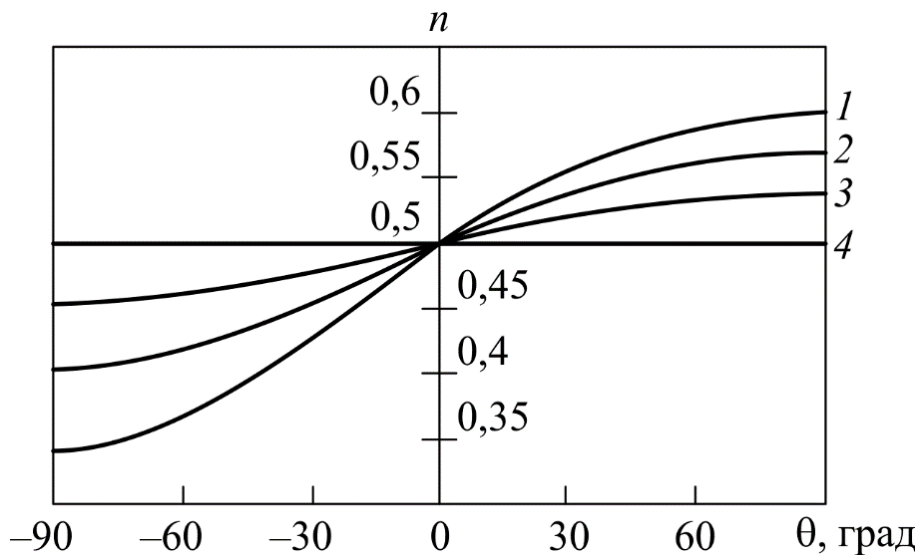


Рисунок 3. Зависимости параметра двухосности нагружения  $n$  от угла  $\theta$  для отводов различных типоразмеров:

1 –  $\alpha = R_{внутр} / R_T = 0,48$ ; 2 –  $\alpha = 0,32$ ; 3 –  $\alpha = 0,16$ ; 4 –  $\alpha = 0$  (труба)

Оценка несущей способности сварных тонкостенных оболочковых конструкций проводится по величине максимального давления  $p_{max}$ , характеризующего стадию потери пластической устойчивости оболочек в условиях двухосного нагружения [4, 6].

Общее выражение для определения величины  $p_{max}$  рассматриваемых тонкостенных оболочек имеет вид [4, 7]:

$$p_{max} = \alpha_{nR} \beta_n \sigma_B t \left( \frac{1}{R_1} + \frac{n}{R_2} \right), \quad (3)$$

где  $\alpha_{nR}$  – коэффициент, определяющийся геометрической формой оболочки и местоположением расчетного сварного стыка в конструкции;

$\beta_n$  – параметр, учитывающий формоизменение тонкостенной оболочки в процессе ее пластической устойчивости и зависящий от показателя нагруженности стенки  $n = \sigma_2 / \sigma_1$ , деформационных характеристик металла оболочки  $\delta$ ,  $\Psi$  и его склонности к упрочнению

$$\gamma_M = \sigma_T / \sigma_B.$$

Для шва 1:  $\alpha_{nR} = 1 + n_{\text{внутр}} \frac{R_1}{R_2} = 1,095,$

для шва 2:  $\alpha_{nR} = 1 + n_{\text{внеш}} \frac{R_1}{R_2} = 1,275,$

где  $R_1$  и  $R_2$  – соответственно главные радиусы кривизны оболочки в точке, характеризующейся напряжениями  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ ,  $R_1 = R = 670$  мм,  $R_2 = 2810$  мм для наружного шва 1 и  $R_2 = 1390$  мм для внутреннего шва 2.

Параметр устойчивости пластического деформирования металла оболочки  $\beta_n$  определяется по номограмме (рисунок 4) [4, 6].

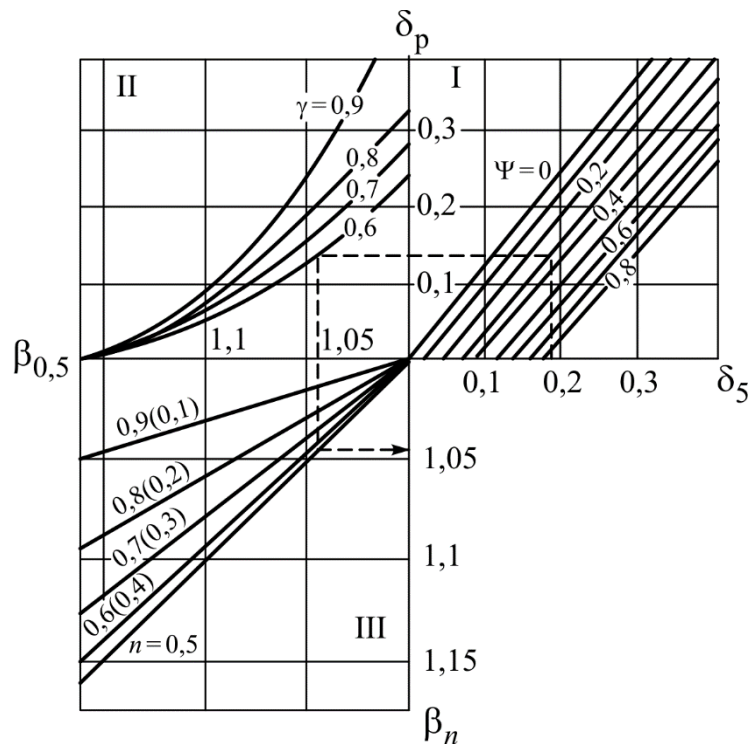


Рисунок 4. Номограмма для определения параметра неустойчивости пластического деформирования металла  $\beta_n$  составе тонкостенной оболочковой конструкции

На номограмме выделены три области построения зависимостей:

I –  $\delta_p = f(\delta_5),$

II –  $\beta_{0,5} = f(\delta_p)$  [6],

III –  $\beta_n = f(\beta_{0,5})$  [4],

а также показана последовательность определения значений  $\beta_n$ .

В частности, для данной тороидальной оболочки (сталь 12ГМФБ-пл) при  $\delta_5 = 0,19$ ,  $\Psi = 0,36$  (ТУ14-1-5345-97) получили  $\delta_p = 0,14$  (квадрант I).

Далее с учетом значения  $\gamma = 0,6$  определили  $\beta_{0,5} = 1,045$  (квадрант II), а затем по соотношению (4) – величину  $\beta_n$  [4] для  $n_{\text{внутр}} = 0,4$  и  $n_{\text{внешн}} = 0,57$ :  $\beta_n \approx 1,04$ ,

$$\beta_n = \frac{\beta_{0,5}}{\sqrt{1 - (\beta_{0,5}^2 - 1)(2n - 1)^2}}. \quad (4)$$

С учетом (3) наименьшее из значений максимального разрушающего давления, действующего на стенку отвода, отвечает участку расположения сварного шва 1 и составляет  $p_{\text{max}} = 48,4$  МПа.

На стадии изготовления тороидальных оболочковых конструкций возникают остаточные сварочные напряжения, которые приводят к резкому снижению уровня эксплуатационной надежности. Для такого типа конструкций приоритетными являются методы снятия остаточных сварочных напряжений, в основе которых лежит опрессовка [8, 9]. Реализация данного способа предопределяет использование специальных гидравлических стендов [10]. Метод опрессовки предполагает предварительную оценку диапазона допустимых давлений, обеспечивающих полное (частичное) снятие остаточных сварочных напряжений при соблюдении стабильной геометрической формы оболочковой конструкции.

В настоящей работе, исходя из анализа напряженно-деформированного состояния сварных тороидальных оболочек предлагается методика определения диапазона допустимых значений давления опрессовки, обеспечивающих снятие остаточных напряжений путем создания поля пластических деформаций в зонах действия эффекта концентрации напряжений, наблюдаемого в местах перехода от шва к основному металлу:

$$p_{\text{пл}} \leq p_{\text{опр}} \leq p_{\text{упр}}, \quad (5)$$

где  $p_{\text{пл}}$  – значение давления опрессовки, при котором наступает пластическое деформирование сварных соединений в местах перехода от шва к основному металлу;  $p_{\text{упр}}$  – величина давления опрессовки, определяющая область упругой работы основного металла тороидальной оболочки.

Значение  $p_{\text{упр}}$  может быть определено из условия упругого деформирования основного металла оболочки при отсутствии эффекта концентрации напряжений ( $\varepsilon_1 < \varepsilon_T$ , где  $\varepsilon_T$  – деформация, соответствующая пределу текучести основного металла  $\sigma_T$ ):

$$p_{\text{упр}} = \frac{\sigma_T}{1 - \mu n} t \left( \frac{1}{R_1} + \frac{n}{R_2} \right), \quad (6)$$

где  $\mu$  – коэффициент поперечной деформации.

Значение  $p_{\text{пл}}$  определяется исходя из обобщения теоретического решения о напряженном состоянии тороидальных оболочек с учетом эффекта концентрации напряжений:

$$p_{\text{пл}} = \alpha_{nR} \sigma_T \frac{t}{K_{\sigma}^A} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{n}{R_2} \right). \quad (7)$$

Для рассматриваемых отводов ( $\sigma_T = 390$  МПа;  $\sigma_B = 650$  МПа;  $n = 0,40 \dots 0,57$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $K_{\sigma}^A = 1,89$ ) диапазон давления опрессовки составляет  $15,9 \text{ МПа} \leq p_{\text{опр}} \leq 29,1 \text{ МПа}$ , что соответствует величине давления опрессовки на уровне  $p_{\text{опр}} = (0,33 \dots 0,60) p_{\text{max}}$ .

Практическая реализация процесса опрессовки штамповарного отвода может быть осуществлена на стенде, разработанном в патенте [10], который позволяет избежать деформации и разрушения штамповарных отводов за счет исключения осевых усилий, воздействующих на тороидальные оболочки при переходе на технологию опрессовки без использования крышек-заглушек.

## Литература

1. Особенности разрушения материалов нефтегазопроводов / А.Г. Гареев [и др.]. Уфа: Гилем, 2006. 156 с.
2. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1990. 446 с.
3. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с изменениями №1). М.: Стандартинформ, 2010.
4. Шахматов М.В., Ерофеев В.В., Коваленко В.В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек. Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. 272 с.
5. РД 153-39.4-061-00. Методика определения эксплуатационно-технических параметров соединительных деталей трубопроводов и их паспортизация. Уфа: ООО «Азат-2», 2000. 74 с.
6. Моношков А.Н., Пыхов С.И., Пустин И.А. Пластическая устойчивость и ее роль в оценке прочности труб // Производство труб с покрытиями, отделка и контроль качества труб. М.: Металлургия, 1972. С. 77-81.
7. К вопросу о технологическом проектировании сварных соединений штамповарных отводов труб большого диаметра / С.В. Ерофеев [и др.] // Инжиниринг, инновации, инвестиции. Челябинск: ЧНЦ РАЕН. 2003, вып.3. С. 17-23.
8. Нетребский М.А. Определение давления опрессовки сосудов высокого давления с мягкими кольцевыми швами // Многослойные сварные конструкции и трубы: мат-лы 1 всесоюзн. конф. Киев: Наукова думка, 1984. С. 85-91.
9. Повышение долговечности штамповарных тройников путем рационального выбора режима операции опрессовки // В.В. Ерофеев, И.П. Трояновская, Р.Г. Шарафиев, С.В. Ерофеев // Информационные технологии. Проблемы и решения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. Уфа: УГНТУ, 2020. Т.1 (10). С. 385-393.
10. Способ снятия остаточных сварочных напряжений в тороидальных конструкциях оболочкового типа и установка для его осуществления: пат. 2313433 Рос. Федерация; опубл. 27.12.2007, Бюл. №36.



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ, УПРАВЛЕНИИ И БИЗНЕСЕ

УДК 004.942

### ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### PREREQUISITES FOR THE FORMATION OF AN ECONOMIC ENVIRONMENT FOR THE INTRODUCTION OF DIGITAL DOUBLES IN INDUSTRY

Моисеенко В.А.,  
Институт экономики и управления,  
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
г. Симферополь, Российская Федерация

V.A. Moiseenko,  
Institute of Economics and Management,  
FSAEI HE «V.I. Vernadsky Crimean Federal University»,  
Simferopol, Russian Federation

e-mail: valdis.ltd@mail.ru

**Аннотация.** Цифровизация в промышленности необходима для повышения эффективности и устойчивости ее функционирования за счет изменения качества управления, как технологическими процессами, так и процессами принятия управленческих решений, основанных на современных методах производства и дальнейшего использования информации о состоянии и прогнозировании возможных изменений в подсистемах. Цифровизации в промышленности требует детального изучения предпосылок формирования экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности.

Таким образом, ключевыми предпосылками формирования экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности, помимо необходимости повышения конкурентоспособности и обеспечения условий для повышения экономической эффективности производственной деятельности, можно определить три группы: наличие базовых технологий, без которых невозможна цифровая трансформация промышленности (облачные технологии и др.); развитие критических технологий, обеспечивающих полную цифровую трансформацию предприятия (большие данные, облачные вычисления, беспилотные технологии и др.) и распространение прорывных технологий, реализующие переход к цифровым двойникам в промышленности (искусственный интеллект, нейронные сети, распределенный реестр данных, машинное обучение и др.)

**Abstract.** Digitalization in industry is necessary to improve the efficiency and sustainability of its functioning by changing the quality of management, both technological processes and management decision-making processes based on modern production methods and further use of information about the state and forecasting possible changes in subsystems. Digitalization in industry requires a detailed study of the prerequisites for the formation of an economic environment for the introduction of digital twins in industry.

Thus, the key prerequisites for the formation of the economic environment for the introduction of digital twins in industry, in addition to the need to increase competitiveness and provide conditions for improving the economic efficiency of production activities, can be identified as three groups: the availability of basic technologies, without which the digital transformation of industry is impossible (cloud technologies, etc.); the development of critical technologies that provide a complete digital transformation of the enterprise (big data, cloud computing, unmanned technologies, etc.) and the spread of breakthrough technologies that implement the transition to digital counterparts in industry (artificial intelligence, neural networks, distributed data registry, machine learning, etc.).

**Ключевые слова:** экономическая среда, цифровые двойники в промышленности, цифровизация в промышленности, внедрение цифровых двойников, цифровая трансформацию предприятия.

**Keywords:** economic environment, digital doubles in industry, digitalization in industry, introduction of digital doubles, digital transformation of the enterprise.

В новой парадигме развития мировой экономики современные цифровые технологии рассматриваются как основной производственный ресурс, который определяет рост общественного благосостояния и развитие производства. Использование в промышленности современных компьютерных и информационных систем является основным условием их эффективного функционирования в условиях цифровой экономики.

Цифровизация в промышленности необходима для повышения эффективности и устойчивости ее функционирования за счет изменения качества управления, как технологическими процессами, так и процессами принятия управленческих решений, основанных на современных методах производства и дальнейшего использования информации о состоянии и прогнозировании возможных изменений в подсистемах.

Однако, современные исследования, по большей части, уделяют недостаточно внимания предпосылкам формирования экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности. Следует заметить, что вопрос формирования экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности остается предметом научных исследований в целях достижения современной промышленности уровня устойчивого развития.

В ходе анализа современных исследований в области цифровых технологий, важно отметить отсутствие единства авторов в определении сущности таких ключевых понятий, как «цифровизация» и «цифровая трансформация».

Под «цифровизацией промышленности» понимается современный этап развития информатизации, характеризующийся преимущественным использованием цифровых технологий для генерации, обработки, передачи, хранения и визуализации информации, что обусловлено появлением и распространением новых аппаратных и программных решений [1].

Следует отметить ряд преимуществ, которые, промышленность получает при использовании цифровых технологий:

- повышается гибкость производства за счет его быстрой реконфигурации, динамичного изменения характеристик производственного процесса, что создает конкурентное преимущество и приводит к потенциальному росту прибыли;
- обеспечивается информационная интеграция этапов жизненного цикла продукции от ее разработки до утилизации, что позволяет эффективно и комплексно

решать задачи не только оптимизации самого производства, но и повышения качества, экологической безопасности, создания новых бизнес-возможностей и т. д. [1].

Масштабная цифровизация приводит к цифровой трансформации промышленности – это значит, что цифровая трансформация влияет на стратегию, операции и технологии, используемые предприятиями в соответствии со следующей логикой:

1) стратегия цифрового предприятия фокусируется на выявлении наилучшего опыта клиентов, управлении уникальной бизнес-моделью и экосистемой, а также управлении изменениями;

2) операционная деятельность включает непрерывное совершенствование, интеграцию физических и цифровых объектов и создание культуры, поощряющей итеративные инновации;

3) технология предполагает гибкость и использование всего современного технологического потенциала, включая аналитику, познание, мобильность и т.д. [2].

Цифровые продукты. Все содержание продукта переходит из материальной формы в цифровую. При этом материальная форма изделия не исчезает, просто использование изделия становится невозможным без его цифрового представления. Такое представление реального объекта называется «цифровым двойником».

Возможность использования «цифрового двойника» предоставляемого технически сложным оборудованием в сочетании с непрерывным мониторингом всех его элементов и процессов обуславливает формирование экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности. Например, компании, производящие сложное оборудование, переходят от бизнес-модели поставки к сервисной, когда продается не оборудование и его техническая поддержка, а гарантия его безаварийной работы или готовности к использованию.

Цифровые бизнес-модели требуют не только глубокой цифровизации промышленности, но и выстраивания тесных партнерских отношений между бизнесом и всеми его контрагентами.

Ключевыми предпосылками формирования экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности является повышение ее конкурентоспособности и обеспечение условий для повышения экономической эффективности производственной деятельности. Задачи внедрения цифровых двойников в промышленности можно определить следующим образом:

- организация производства конкурентоспособной продукции;
- достижение высокого уровня эффективности, адаптивности производственных и организационных процессов;
- повышение инвестиционной привлекательности предприятия;
- повышение гибкости и прозрачности системы управления, гарантирующих экономическую эффективность предприятия и др.

В процессе формирования экономической среды внедрения цифровых двойников промышленность проходит этапы качественных изменений, которые выражаются в совершенствовании процессов в производственной, финансовой, материальной, информационной сферах деятельности, что позволяет адаптироваться к современным условиям цифровой экономики и закрепить конкурентные преимущества [3].

Внедрение цифровых двойников в промышленности становится обязательным требованием конкурентоспособности.

В качестве теоретической концепции формирования экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности, можно выделить следующие теоретико-методологические принципы:

- циклическое развитие Н.Д. Кондратьева, Г. Менша;

- инновации Й. Шумпетера;
- технологическая динамика и экономический рост (К. Фримен, С.Ю. Глазьев, С. Кузнец, Ю.В. Яковец), в основе которых лежат идеи концепции модернизации как процесса изменения технологических укладов;
- эволюционный подход в экономической науке (В.Л. Макаров, И. Пригожин и И. Стенгерс, В.И. Маевский) и институциональная теория [2].

Цифровизация как практическая деятельность предприятия, учитывающая современные технологические требования, базируется на терминологии третьей промышленной революции (основанной на внедрении новых информационно-коммуникационных технологий), которая еще не полностью сформировалась (в силу скорости и масштаба современных изменений), и следующей (четвертой) промышленной революции:

- Индустрия 4.0. – концепция создания цифровых двойников в промышленности на основе цифровизации всех корпоративных систем (физических активов) и их интеграции в цифровую экосистему совместно с партнерами, участвующими в цепочке создания стоимости;

- новая промышленная революция «мейкеров» К. Андерсона – концепция массового кастомизированного производства с возможностью интерактивного обмена идеями и разработками на основе развития 3D-дизайна и 3D-печати и использования аддитивных технологий;

- четвертая промышленная революция – концепция перехода от простой цифровизации (третья промышленная революция) к внедрения цифровых двойников в промышленности:

- а) инновации, основанные на комбинациях технологий;

- б) информационные платформы, сочетающие спрос и предложение и нарушающие существующие производственные структуры;

- в) новые организационные формы и бизнес-модели.

Кроме того, в практике цифровой трансформации предприятий существуют также следующие понятия:

- Промышленный Интернет (Промышленные сети);

- Подключенное предприятие (Интегрированное предприятие);

- Умное производство (Smart Manufacturing);

- Умная фабрика (Smart Factory);

- Производство 4.0 (Production 4.0);

- Интернет всего (Internet of everything);

- Интернет вещей для производства (Internet of things for production) [4].

Следовательно, ключевыми предпосылками формирования экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности, помимо необходимости повышения конкурентоспособности и обеспечения условий для повышения экономической эффективности производственной деятельности, можно определить три группы:

- 1) наличие базовых технологий, без которых невозможна цифровая трансформация предприятия (облачные технологии, технологии беспроводной связи, безбумажные технологии и др.);

- 2) развитие критических технологий, обеспечивающих полную цифровую трансформацию предприятия (большие данные, облачные вычисления, беспилотные технологии и др.);

- 3) распространение прорывных технологий, реализующих переход к цифровым двойникам в промышленности (искусственный интеллект, нейронные сети, распределенный регистр данных, машинное обучение и др.).

Следует помнить, что в процессе управления предприятием возникают проблемы, связанные с растущей долей нематериальных составляющих в конечной стоимости товаров в сочетании с возрастающей легкостью доступа к цифровым технологиям, платформам, передовым технологиям и рынкам, что будет влиять на уровень конкурентоспособности, связанный с тем, какое место в цифровой экосистеме занимает предприятие.

Внедрение цифровых технологий в производственный процесс и процесс управления предприятием становится объективным требованием, обеспечивающим его выживание и являющимся не столько конкурентным преимуществом, сколько жизненной необходимостью, обязательным требованием конкуренции.

Таким образом, формирование экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности является одним из ключевых направлений формирования эффективного, устойчивого и конкурентоспособного производства.

### **Выводы**

В настоящее время цифровизация является стратегическим приоритетом развития многих стран [4,5]. Цифровизация экономики является приоритетной задачей стратегий и государственных программ развития Российской Федерации.

Широкое внедрение цифровых двойников в промышленности приводит к ее полноценной цифровой трансформации, под которой предлагается понимать качественное изменение стратегии и бизнес-процессов предприятия под влиянием масштабной цифровизации производственного процесса и процесса управления предприятием.

Благодаря цифровой трансформации производственная система достигает иного, более высокотехнологичного уровня производства и высокого уровня управляемости и функционирования, меняя при этом старую систему управления на более гибкую.

Существенная составляющая цифровой трансформации предприятий проявляется в реструктуризации производственных мощностей, изменении целей и задач их деятельности, формировании нового подхода к методам производства и управления предприятиями.

Таким образом, ключевыми предпосылками формирования экономической среды внедрения цифровых двойников в промышленности, можно указать: необходимость повышения конкурентоспособности и обеспечения условий для повышения экономической эффективности производственной деятельности и можно определить три технологические группы: наличие базовых технологий, без которых невозможна цифровая трансформация промышленности (облачные технологии и др.); развитие критических технологий, обеспечивающих полную цифровую трансформацию предприятия (большие данные, облачные вычисления, беспилотные технологии и др.) и распространение прорывных технологий, реализующие переход к цифровым двойникам в промышленности (искусственный интеллект, нейронные сети, распределенный реестр данных, машинное обучение и др.)

### **Благодарность:**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-010-00346*

### **Литература**

1. Владимирова Ц.Д. Вызовы информационной экономики: развитие человеческого капитала//Экономика труда. – 2019. – Т. 6. – №3.

2. Гадасина Л.В., Пивень Г.И. Цифровизация – угроза или возможность развития для менеджмента? // Вопросы инновационной экономики. – 2018. – Т. 8. – №4.

3. Пискунов А. И. Техническое перевооружение как основа инновационного развития промышленных предприятий России // Вопросы инновационной экономики. – 2019. – Т. 9. – №1.

4. Eurasian Economic Commission et al. Analysis of world experience in industrial development and approaches to the digital transformation of industry of the member states of the Eurasian Economic Union: information and analytical report // М.: Eurasian Economic Commission. – 2017.

5. Gubarkov S.V. et al. Optimization of the Financial and Budgetary Mechanism for the Functioning of Education Institutions of Higher Education in the Conditions of Innovative Economy Development in the Russian Federation//J. Advanced Res. L. & Econ. – 2017. – Т. 8. – С. 1113.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 004.94:532.685

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ И ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ КООРДИНАТНОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ

### MATHEMATICAL MODEL OF GAS FILTRATION IN POROUS MEDIA AND COMPUTATIONAL ALGORITHM BASED ON THE COORDINATE SPLITTING METHOD

Курбонов Н.М.,  
Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий  
и искусственного интеллекта,  
г. Ташкент, Узбекистан

N.M. Kurbonov,  
Research institute for development of digital technologies  
and artificial intelligence,  
Tashkent, Uzbekistan

e-mail: nozim\_kurbonov@mail.ru

**Аннотация.** В докладе представлена двухмерная математическая модель процесса фильтрации газа в пористых средах, описываемая с помощью нелинейного дифференциального уравнения в частных производных с соответствующими внутренними и краевыми условиями.

Для решения поставленной задачи предлагается эффективный численный алгоритм, основанный на методе координатного расщепления.

На основе разработанного математического обеспечения создано программное средство для проведения вычислительных экспериментов на ЭВМ при различных значениях параметров и условий функционирования скважин.

На основе результатов экспериментов составлены карты-изобары по годам при произвольной области фильтрации.

Приведен анализ эффективности предложенного алгоритма путем сравнения с алгоритмом, основанным на методе переменных направлений. Разница между полученными результатами сравнения двух методов очень мала. Но при применении метода координатного расщепления число массивов в оперативной памяти уменьшается и, соответственно, время расчета сокращается. Данный положительный эффект служит основанием для широкого применения метода координатного расщепления при решении трехмерных задач фильтрации.

Полученные результаты в виде математического и программного обеспечений можно использовать при проектировании и уточнении проектных решений газовых месторождений, прогнозировании процесса добычи.

**Abstract.** The paper presents a two-dimensional mathematical model of the gas filtration process in porous media, described using a nonlinear partial differential equation with the corresponding internal and boundary conditions.

In order to solve the problem there was developed an efficient numerical algorithm based on the method of coordinate splitting.

Based on proposed model and algorithm there was developed software tools for carrying out computational experiments taking into account different parameters and operating conditions of production wells.

Using the results of computational experiments the isobar maps of arbitrary filtration area were obtained for long exploitation period.

There was given the analysis of the effectiveness of the proposed algorithm by comparing with another algorithm which is based on the variable directions method. The difference between these two methods is very small. But when using the method of coordinate splitting, the number of arrays in RAM decreases and, accordingly, the calculation time decreases. This positive effect justifies widespread use of the coordinate splitting method in solving three-dimensional filtration problems.

The results obtained in the form of mathematical software can be used in the design and refinement of design solutions for gas fields, forecasting the production process.

**Ключевые слова:** математическая модель, численный метод, фильтрация, газ, пористая среда, скважина, давления.

**Keywords:** mathematical model, numerical method, filtration, gas, porous medium, well, pressure.

Возрастающие объемы потребления и расхода топливно-энергетических ресурсов могут быть покрыты не только за счет разработки и проектирования новых нефте- и газовых месторождений, но и за счет правильной эксплуатации и эффективного управления, существующих промыслов.

Одним из эффективных методов и средств для исследования, прогнозирования и оперативного управления является математический аппарат: «объект – математическая модель – численный алгоритм – программно-инструментальное средство – принятие решений».

Для решения указанных выше проблем, рассмотрим процесс фильтрации газа в пористых средах. Он может быть представлен в виде двухмерной нелинейной модели, описываемой следующим дифференциальным уравнением в частных производных:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k}{\mu} b \rho \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k}{\mu} b \rho \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \tilde{b} \frac{\partial}{\partial t} (mP) - \delta(x, y) \frac{Q P_{at}}{\Delta x \Delta y} \quad (1)$$

и начальных, граничных, а также внутренних условий [1, 4, 6]:

$$P(x, y, t)|_{t=0} = P_u, \quad (x, y) \in G; \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = 0; \quad \oint_{\Gamma} \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P}{\partial n} ds = C_1 Q_v. \quad (3)$$

здесь  $Q$  – объемный расход (при атмосферном давлении) на скважинах,

$P$  – давление;

$P_{at}$  – атмосферное давление;



$\rho$  – плотность;  
 $b$  – мощность пласта;  
 $\Delta x, \Delta y$  – шаги по координатам  $x$  и  $y$  соответственно;  
 $m$  – пористость пласта,  
 $K, \mu$  – соответственно коэффициенты проницаемости и вязкости газа,  
 $C_1$  – некоторая постоянная величина для приведения в размерность;  
 $\Gamma$  – граница области  $G$ .

$$\delta(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } (x, y) \in \gamma_v \\ 0 & \text{при } (x, y) \notin \gamma_v \end{cases},$$

где  $\gamma_v$  – множество точек области  $G$ , в которых могут присутствовать скважины.

Из постановки задачи (1-3) следует, что она описывается с помощью нелинейного дифференциального уравнения в частных производных с соответствующими внутренними и краевыми условиями, что затрудняет получение аналитического решения, поэтому нами предлагается эффективный численный алгоритм [2, 3, 5].

Одним из основных методов, который позволяет определить закономерности изменения фильтрационных переменных, является аппроксимация дифференциальных операторов уравнения методом координатного расщепления. Данный метод позволяет эффективно реализовать его на ЭВМ и дает возможность всестороннего исследования объекта и воздействия на него через совокупность внешних и внутренних возмущений.

Таким образом, для решения задачи (1-3) вводим равномерную сетку по  $x$  и  $y$ .

Для решения поставленного уравнения (1) с условиями (2) и (3), разделим ее на две задачи [2]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 P_1^2}{\partial x^2} &= \frac{1}{2P_1} \frac{\partial P_1^2}{\partial t} - \frac{1}{2} \delta(x, y) Q \frac{1}{\Delta x \Delta y}, \\ P_1(x, y, t_k) &= P_2(x, y, t_k), \\ \frac{\partial P_1}{\partial n} \Big|_{\Gamma} &= 0; \quad \iint \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P_1}{\partial n} ds = C_1 Q_v, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где начальное время расчета  $P_1(x, y, t_k)$  равно  $P_n(x, y, t)$ .

$P_2(x, y, t_k)$  по времени определяется на следующих этапах решения задачи (4). Решая данную задачу, находим

$$P_1^{k+1} = P_1(x, y, t_{k+1}).$$

Решим вторую задачу на промежутке этого времени:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 P_2^2}{\partial y^2} &= \frac{1}{2P_2} \frac{\partial P_2^2}{\partial t} - \frac{1}{2} \delta(x, y) Q \frac{1}{\Delta x \Delta y}, \\ P_2(x, y, t_k) &= P_1(x, y, t_{k+1}), \\ \frac{\partial P_2}{\partial n} \Big|_{\Gamma} &= 0; \quad \oint \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P_2}{\partial n} ds = C_1 Q_v. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Полученное решение  $P_2^{k+1} = P_2(x, y, t_{k+1})$  будет решением задачи (1-3).

Заменяем в задачах (4) и (5) дифференциальные операторы на конечно-разностные, используя схему продольно-поперечного направления по направлениям  $Ox$  и  $Oy$  [1-12]. Таким образом, для задачи (4) получаем уравнение

$$\begin{aligned} & \frac{P_{1,i+1}^{2(k+0,5)} - 2P_{1,i}^{2(k+0,5)} + P_{1,i-1}^{2(k+0,5)}}{\Delta x^2} = \\ & = \frac{1}{2\tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} \frac{P_{1,i}^{2(k+0,5)} - P_{1,i}^{2(k)}}{\Delta t} - \frac{1}{2} Q \delta_{i,j} \frac{1}{\Delta x \Delta y}. \end{aligned} \quad (6)$$

Группируем члены в уравнении (6):

$$\begin{aligned} & P_{1,i+1}^{2(k+0,5)} - \left( 2 + \frac{\Delta x^2}{2\tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} \right) P_{1,i}^{2(k+0,5)} + P_{1,i-1}^{2(k+0,5)} = \\ & = -\frac{\Delta x^2}{2\Delta t \tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} P_{1,i}^{2(k)} - \frac{1}{2} Q_v \delta_{i,j} \frac{1}{\Delta x \Delta y}. \end{aligned} \quad (7)$$

Полученное нелинейное уравнение приводим к линейному виду, используя отношение  $P_{1,i}^2 = 2P_{1,i}^{(s)} P_{1,i} - P_{1,i}^{2(s)}$ :

$$\begin{aligned} & 2P_{1,i+1}^{(s)} P_{1,i+1} - P_{1,i+1}^{2(s)} - \left( 2 + \frac{\Delta x^2}{2\tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} \right) (2P_{1,i}^{(s)} P_{1,i} - P_{1,i}^{2(s)}) + \\ & + 2P_{1,i-1}^{(s)} P_{1,i-1} - P_{1,i-1}^{2(s)} = F_i, \end{aligned} \quad (8)$$

или

$$\begin{aligned} & \xi_1 P_{1,i+1} - \left( 2 + \frac{\Delta x^2}{2\tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} \right) \xi_2 P_{1,i} + \\ & + \xi_3 P_{1,i-1} = F_i + P_{1,i+1}^{2(s)} + \left( 2 + \frac{\Delta x^2}{2\tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} \right) P_{1,i}^{2(s)} + P_{1,i-1}^{2(s)}. \end{aligned} \quad (9)$$

здесь

$$\xi_1 = 2P_{1,i+1}^{(s)};$$

$$\xi_2 = 2P_{1,i}^{(s)};$$

$$\xi_3 = 2P_{1,i-1}^{(s)}; \quad F_i = \frac{\Delta x^2}{2\Delta t \tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} P_{1,i}^{2(k)} - \frac{1}{2} Q_v \delta_{i,j} \frac{1}{\Delta x \Delta y},$$

$s$  – количество итераций повторений).

Уравнение (7) в общем виде запишем так:

$$a_i P_{1,i+1} - b_i P_{1,i} + c_i P_{1,i-1} = d_i, \quad (10)$$

где

$$a_i = \xi_1; \quad b_i = \xi_2 \left( 2 + \frac{\Delta x^2}{2\tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} \right); \quad c_i = \xi_3;$$

$$d_i = F_i + P_{1,i+1}^{2(s)} + \left( 2 + \frac{\Delta x^2}{2\tilde{P}_{1,i}^{(k+0,5)}} \right) P_{1,i}^{2(s)} + P_{1,i-1}^{2(s)}.$$

Для  $x=0$  – первого условия уравнения (3) – граничное условие заменяем аппроксимацией 2-го порядка точности:

$$\frac{3P_{1,2} - 4P_{1,1} + P_{1,0}}{2\Delta x} = 0.$$

Из этого уравнения определяются коэффициенты прогонки  $\alpha_0$  и  $\beta_0$ :

$$\alpha_0 = \frac{(G_2 a_1 - G_3 b_1)}{(G_1 a_1 - G_3 c_1)}; \quad \beta_0 = \frac{G_3 d_1}{a_1 (G_1 a_1 - G_3 c_1)} + \frac{F_1}{(G_1 a_1 - G_3 c_1)}.$$

Здесь

$$G_1 = 6P_{1,0}^{(s)};$$

$$G_2 = 8P_{1,1}^{(s)};$$

$$G_3 = 2P_{1,2}^{(s)};$$

$$F_1 = 3P_{1,0}^{2(s)} - 4P_{1,1}^{2(s)} + P_{1,2}^{2(s)}.$$

Запишем в первое условие (9)  $x = L$ :

$$\frac{P_{1,N} - P_{1,N-2} - 0,5(P_{1,N} - 2P_{1,N-1} + P_{1,N-2})}{2\Delta x} = 0.$$

Из этого уравнения находим  $P_{1,N}$ :

$$P_{1,N} = \frac{(\bar{G}_2 - \bar{G}_3\alpha_{N-2})\beta_{N-1} + \bar{G}_3\beta_{N-2} + \bar{F}_N}{(\bar{G}_1 - (\bar{G}_2 - \bar{G}_3\alpha_{N-2})\alpha_{N-1})},$$

где

$$\bar{G}_1 = 6P_{1,N}^{(s)};$$

$$\bar{G}_2 = 8P_{1,N-1}^{(s)};$$

$$\bar{G}_3 = 2P_{1,N-2}^{(s)};$$

$$\bar{F}_N = 3P_{1,N}^{2(s)} - 4P_{1,N-1}^{2(s)} + P_{1,N-2}^{2(s)}.$$

Применяя такой же метод к уравнению (5), получаем следующее алгебраическое уравнение:

$$\bar{a}_j P_{2,j+1} - \bar{b}_j P_{2,j} + \bar{c}_j P_{2,j-1} = \bar{d}_j, \quad (11)$$

где

$$\bar{a}_j = \xi_4; \quad \bar{b}_j = \xi_5 \left( 2 + \frac{\Delta y^2}{2\tilde{P}_{2,j}^{(k+1)}} \right); \quad \bar{c}_j = \xi_6;$$

$$\bar{d}_j = F_j + P_{2,j+1}^{2(s)} + \left( 2 + \frac{\Delta y^2}{2\tilde{P}_{2,i}^{(k+1)}} \right) P_{2,j}^{2(s)} + P_{2,j-1}^{2(s)}.$$

$$\xi_4 = 2P_{2,j+1}^{(s)}; \quad \xi_5 = 2P_{2,j}^{(s)}; \quad \xi_6 = 2P_{2,j-1}^{(s)};$$

$$F_j = \frac{\Delta y^2}{2\Delta t \tilde{P}_{2,j}^{(k+1)}} \bar{P}_{2,i}^{2(k+0,5)} - \frac{1}{2} Q_\nu \delta_{i,j} \frac{1}{\Delta x \Delta y}.$$

Используя граничные условия уравнения (7), определяем коэффициенты прогонки  $\alpha_0$  и  $\beta_0$  и границу  $P_{2,J}$ :

$$\bar{\alpha}_0 = \frac{(G'_2 \bar{a}_1 - G'_3 \bar{b}_1)}{(G'_1 \bar{a}_1 - G'_3 \bar{c}_1)};$$

$$\bar{\beta}_0 = \frac{G'_3 \bar{d}_1}{\bar{a}_1 (G'_1 \bar{a}_1 - G'_3 \bar{c}_1)} + \frac{\bar{F}_2}{(G'_1 \bar{a}_1 - G'_3 \bar{c}_1)};$$

$$G'_1 = 6P_{2,0}^{(s)};$$

$$G'_2 = 8P_{2,1}^{(s)};$$

$$G'_3 = 2P_{2,2}^{(s)};$$

$$\bar{F}_2 = 3P_{2,0}^{2(s)} - 4P_{2,1}^{2(s)} + P_{2,2}^{2(s)};$$

$$P_{2,J} = \frac{(\hat{G}_2 - \hat{G}_3 \bar{\alpha}_{J-2}) \bar{\beta}_{J-1} + \hat{G}_3 \bar{\beta}_{J-2} + \hat{F}_J}{(\hat{G}_1 - (\hat{G}_2 - \hat{G}_3 \bar{\alpha}_{J-2}) \bar{\alpha}_{J-1}};$$

$$\hat{G}_1 = 6P_{2,J}^{(s)};$$

$$\hat{G}_2 = 8P_{2,J-1}^{(s)};$$

$$\hat{G}_3 = 2P_{2,J-2}^{(s)};$$

$$\hat{F}_J = 3P_{2,J}^{2(s)} - 4P_{2,J-1}^{2(s)} + P_{2,J-2}^{2(s)}.$$

Решая уравнения (10) и (11) методом прогонки, можно определить искомые параметры объекта, а также приемлемые изменения диапазона по фазовым переменным.

На основе изложенного алгоритма составлен программный комплекс на языке «Delphi» и проведена серия вычислительных экспериментов на ЭВМ для различных условий.

По этим результатам составлена карта изобары по годам при произвольной области фильтрации рисунке 2 и сравнена с рисунком 1 и полученными результатами на основании метода переменных направлений.

Разница между полученными результатами двух методов очень мала. Но при применении метода координатного расщепления число массивов уменьшается и время расчета сокращается на 25%.



8. Kurbonov N., Aminov S. Computer modeling of filtration processes with piston extrusion // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1441. – P. 012147.
9. Kurbonov N., Ibragimova K. Numerical Modeling of the Filtration Process During Oil Displacement by Gas//International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2020. – Vol. 9, Issue 5. – P. 8526-8532.
10. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Компьютерное моделирование процесса фильтрации флюидов в пористых средах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – Челябинск, 2015. – Т. 4, №2. С. 89-106. DOI: <http://dx.doi.org/10.14529/cmse150207>
11. Курбонов Н.М. Математическое обеспечение задачи фильтрации флюидов при поршневом вытеснении // Информационные технологии. Проблемы и решения. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. 1(6). – С. 110-115.
12. Курбонов Н.М. Математическая модель и параллельный вычислительный алгоритм для решения фильтрации газа в пористых средах при произвольной области фильтрации // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2018: сборник трудов международной научно-технической конференции в 2-х т. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. – Т. 2. – С. 287-289.

УДК 004.8

## **ПРЕДСКАЗАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОДУКТИВНОСТИ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ**

### **PREDICTION OF THE PRODUCTION WELL PRODUCTIVITY COEFFICIENT**

Абдрафикова Ф.Ф., Муравьева Е.А., Шарипов М.И.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
филиал в городе Стерлитамак  
г. Стерлитамак, Российская Федерация

F.F. Abdrafikova, E.A. Muravyova, M.I. Sharipov,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Branch of the University in the City of Sterlitamak  
Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: [filuja-a@rambler.ru](mailto:filuja-a@rambler.ru)

**Аннотация.** Факторов, которые влияют на работу оборудования нефтяных месторождений очень много – начиная от конструкции скважины, до процессов, происходящих в пласте и стволе скважины. Со временем совокупность всех осложнений приводит к резкому снижению эффективности работы оборудования нефтяных месторождений.

В связи с этим разработки по улучшению технологических показателей работы насоса и всей установки в целом становятся актуальными. В качестве решения данной проблемы рассматривается метод машинного обучения. Использование машинного обучения для очистки, интеграции, преобразования данных и оптимизации анализа данных нефтяных скважин является новым научным подходом к решению задачи

повышения эффективности режимов работы оборудования нефтяных месторождений на основе коэффициентов продуктивности скважин.

В данной работе рассмотрен Восточный участок Чутырско-Киенгопского месторождения, на котором располагается 26 добывающих и 13 нагнетательных скважин. Сформирована выборка, включающая в себя переменные, которые влияют на технологический процесс добычи нефти и оказывают взаимное влияние друг на друга. Рассмотрен алгоритм работы насосов нагнетательных скважин и влияние коэффициента продуктивности добывающей скважины на работу насоса нагнетательной скважины. Обучена регрессионная модель с помощью приложения Regression Learner в программе Matlab. Данная модель предсказывает коэффициент продуктивности добывающих скважин с учетом влияющих параметров.

**Abstract.** There are a lot of factors that affect the operation of oil field equipment – from the design of the well to the processes occurring in the reservoir and the wellbore. Over time, the combination of all the complications leads to a sharp decrease in the efficiency of oil field equipment.

In this regard, developments to improve the technological performance of the pump and the entire installation as a whole are becoming relevant. As a solution to this problem, the method of machine learning is considered. The use of machine learning for cleaning, integration, data transformation and optimization of oil well data analysis is a new scientific approach to solving the problem of improving the efficiency of oil field equipment operating modes based on well productivity coefficients.

In this paper, we consider the Eastern section of the Chutyrsko-Kiengopskoye field, where 26 production and 13 injection wells are located. A sample is formed, which includes variables that affect the technological process of oil production and have a mutual influence on each other. The algorithm of operation of injection well pumps and the effect of the productivity coefficient of the producing well on the operation of the injection well pump are considered. The regression model was trained using the Regression Learner application in the Matlab program. This model predicts the productivity coefficient of producing wells, taking into account the influencing parameters.

**Ключевые слова:** дебит скважины, добывающая скважина, коэффициент продуктивности скважины, машинное обучение, нагнетательная скважина, насос, регрессионная модель.

**Keywords:** well flow rate, production well, well productivity coefficient, machine learning, injection well, pump, regression model.

Для реализации проекта необходимо собрать данные для ее обучения [4, С. 242-245]. Обучающий набор данных состоит из входных и выходных переменных [5, С. 487-494, 6, С. 78-92]:

1. Дебит добывающей скважины ( $Q$ , т/сут);
2. Пластовое давление добывающей скважины ( $P_p$ , МПа);
3. Забойное давление добывающей скважины ( $P_z$ , МПа);
4. Депрессия на пласт добывающей скважины ( $DP$ , МПа);
5. Коэффициент продуктивности добывающей скважины ( $K$ , т/(сут\*МПа));
6. Состояние насоса нагнетательной скважины ( $P$ ): насос включен (1 – On), либо выключен (0 – Off).

Для определения коэффициента продуктивности добывающей скважины ( $K$ ), необходимо знать:



- дебит добывающей скважины (Q),
- пластовое давление добывающей скважины (Pp),
- забойное давление добывающей скважины (Pz).

Когда значение коэффициента продуктивности добывающей скважины (K) становится равным или менее чем 0,20 т/(сут\*МПа), происходит включение насоса нагнетательной скважины (P) – 1 (On). После того, как коэффициент продуктивности добывающей скважины (K) становится выше 0,20 т/(сут\*МПа), происходит выключение насоса нагнетательной скважины (P) – 0 (Off).

На Восточном участке Чутырско-Киенгопского месторождения располагается:

1. 26 добывающих скважин: 1083R, 1087R, 1214, 1215, 1216, 1219, 1220, 1221, 1222, 1223, 1224, 1225, 1227, 1228, 1229, 1231, 1232, 1233, 1234, 1235, 1237, 1238, 1239, 1240, 1241, 1242.

2. 13 нагнетательных скважин: 1090R, 1278, 1279, 1281, 1282, 1283, 1284, 1285, 1286, 1287, 1288, 1289, 1290.

Так как каждая добывающая скважина имеет по 3 входных переменных, то общее число входных переменных будет равно 78.

Так как каждая добывающая скважина имеет по 2 выходных переменных и учитывается состояние работы насоса 13 нагнетательных скважин, то общее число выходных переменных будет равно 65.

Сформирована обучающая выборка из 46112 примеров, которые учитывают взаимное влияние переменных и алгоритм работы насоса нагнетательных скважин (таблица 1) [2, С. 136-141, 3, С. 36-41].

Таблица 1 – Обучающий набор данных

№	Q1083R	Pp1083R	Pz1083R	Q1087R	...	P1287	P1288	P1289	P1290
1	1,26	11,09	4,44	1,88	...	Off	Off	Off	Off
2	1,17	11,21	4,30	1,56	...	Off	Off	Off	Off
3	1,46	10,84	4,60	1,54	...	Off	Off	Off	Off
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
46110	1,09	11,80	4,44	1,78	...	Off	Off	Off	Off
46111	1,07	10,80	4,53	1,84	...	Off	Off	Off	Off
46112	1,17	11,07	4,55	1,95	...	Off	Off	Off	Off

С помощью приложения Regression Learner обучена регрессионная модель, которая будет предсказывать коэффициент продуктивности скважины (с учетом влияющих параметров) [1, С. 147-149].

С помощью All Quick-To-Train были обучены 4 модели: линейная регрессия (Linear Regression) и 3 вида деревьев принятия решений (Tree). Получены следующие значения среднеквадратичных отклонений (среднеквадратичных ошибок):

- Linear (1.1) – 0,0007041;
- Fine Tree (1.2) – 0,0004936;
- Medium Tree (1.3) – 0,00050093;
- Coarse Tree (1.4) – 0,0006961.

Анализируя полученные значения, сделан вывод, что Fine Tree (1.2) самая точная модель.

Построен график невязок модели Fine Tree (1.2) с помощью PLOTS → Residuals Plot (рисунок 1).

Это и является среднеквадратичным отклонением, по которому вычисляем точность.

По оси x отложен реальный коэффициент продуктивности 1220 добывающей скважины, который берется из исходных данных, а по оси y откладывается погрешность.

Модель после обучения предсказала коэффициент продуктивности скважины и сравнила его с коэффициентом, который был изначально известен. То есть настолько модель ошиблась на тех же данных, на которых она обучалась.

В среднем, среднеквадратичная погрешность  $\approx 0,0004936$ .

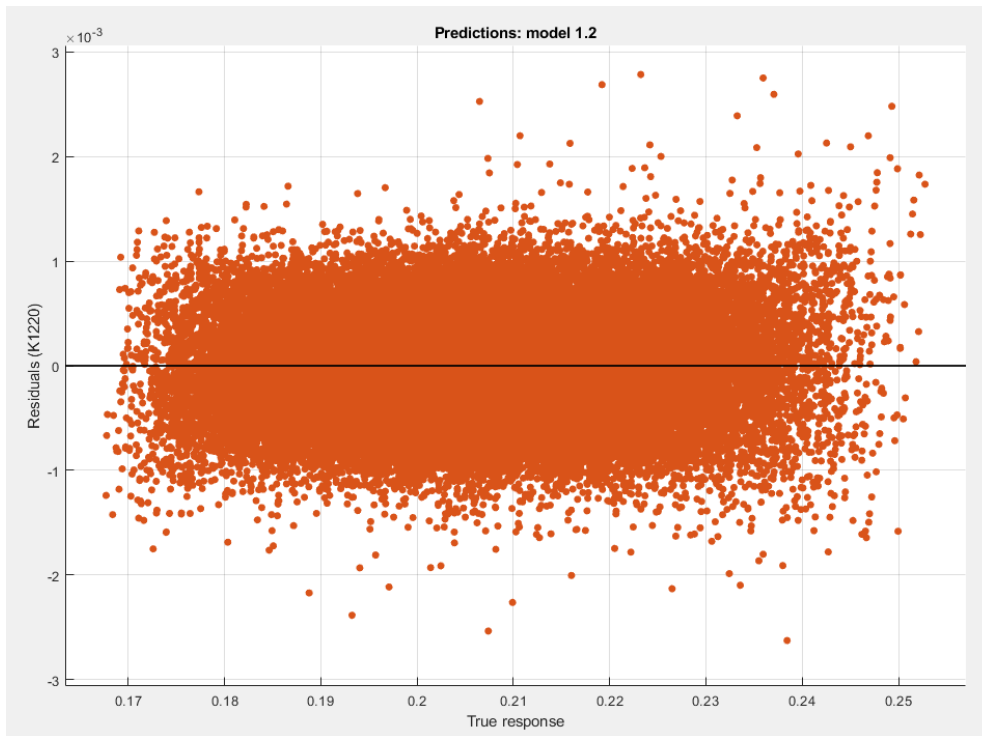


Рисунок 1. График Residuals Plot модели Fine Tree (1.2)

Затем на графике Residuals Plot по оси x был отложен предиктор состояния насоса 1279 нагнетательной скважины (рисунок 2).

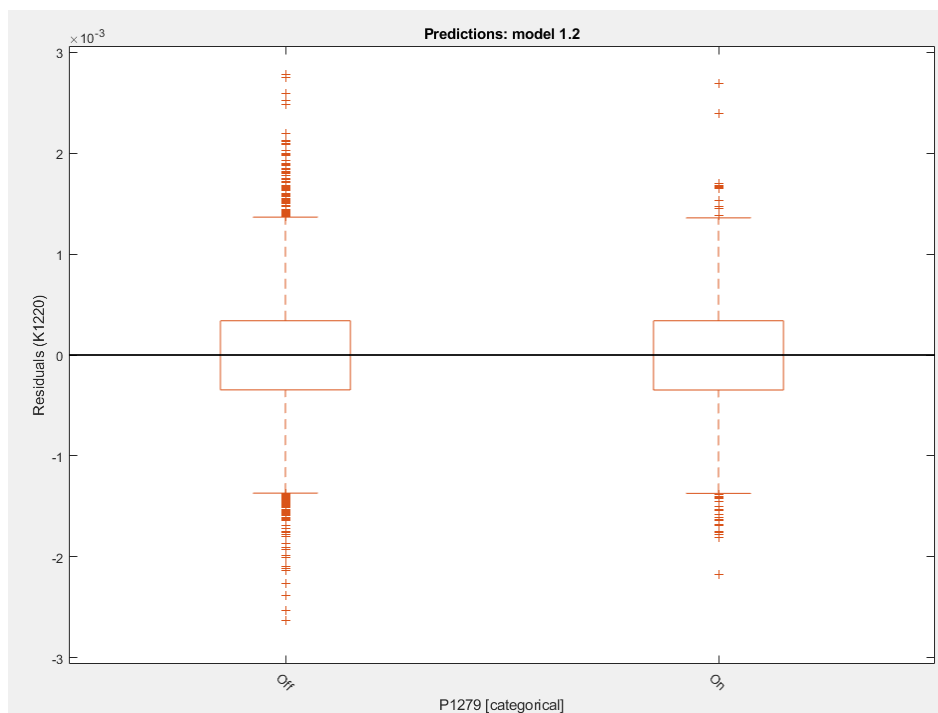


Рисунок 2. График Residuals Plot модели Fine Tree (1.2) от P1279

В зависимости от состояния насоса нагнетательной скважины ошибка предсказания почти одинакова и довольно маленькая. Таким образом, сделан вывод, что данная модель предсказывает достаточно хорошо.

Построен график предсказанного значения против реального с помощью PLOTS → Predicted vs. Actual Plot. Данный график изображен на рисунке 3.

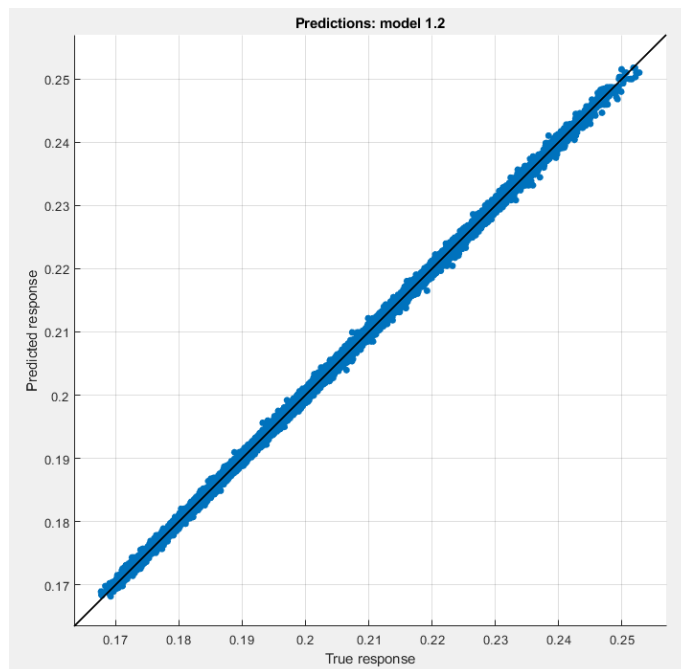


Рисунок 3. График Predicted vs. Actual Plot модели Fine Tree (1.2)

Все точки располагаются очень близко к линии. Чем облако уже, тем модель точнее. Это означает, что данная точность достигает почти 100%.

Сравнили величину среднеквадратичной ошибки с медианным коэффициентом продуктивности 1220 добывающей скважины. Получили, что погрешность от медианного значения коэффициента продуктивности добывающей скважины составляет 0%.

Затем данная модель была использована, чтобы предсказать коэффициент продуктивности 1220 добывающей скважины для исходных данных, на которых она обучалась (рисунок 4). Получено 46112 значений, которые обозначают коэффициент продуктивности 1220 добывающей скважины.

```
load Analiz.mat
relRMSE = 0,0004936 / median(T1.K1220) * 100

relRMSE = 0

p = trainedModel.predictFcn(T1)]

p = 46112×1
    0.1880
    0.2157
    0.2252
    0.1904
    0.1996
    0.2199
    0.2184
    0.2195
    0.1993
    0.1812
    ...
    ...
```

Рисунок 4. Предсказание K1220

Сравнили предсказанный и реальный коэффициент продуктивности 1220 добывающей скважины. Для этого был построен график scatter (рисунок 5). Таким образом, сделан вывод, что данная модель работает и может предсказать значение.

```
scatter(T1.K1220, p, ".")  
xlabel('Реальный K1220')  
ylabel('Предсказанный K1220')  
grid on
```

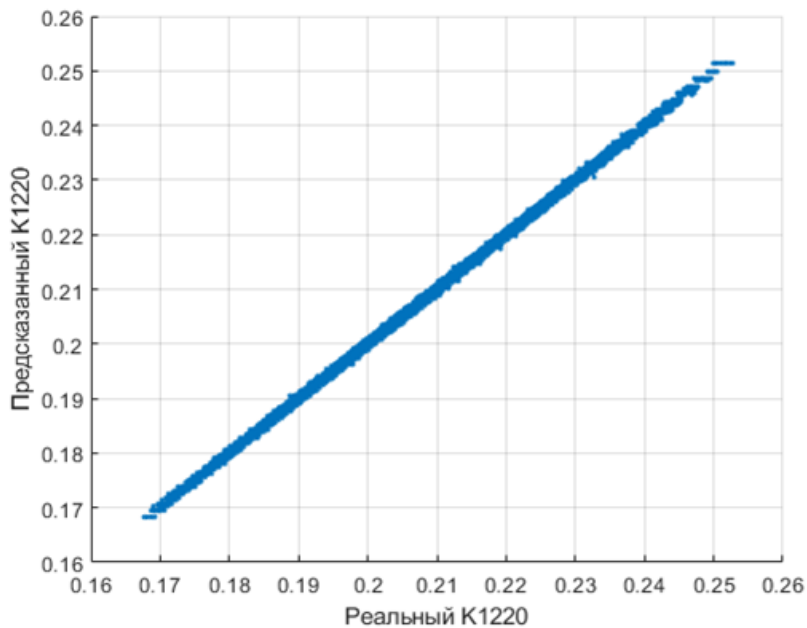


Рисунок 5. График scatter

## Выводы

В программе Matlab была разработана модель машинного обучения для предсказания коэффициентов продуктивности добывающих скважин, которые влияют на работу насосов нагнетательных скважин.

При обучении модели сделаны следующие выводы:

1. Модель предсказывает достаточно хорошо.
2. Точность модели достигает почти 100%.
3. Погрешность от медианного значения коэффициента продуктивности добывающей скважины составляет 0%.
4. Модель работает и может предсказать значение.

## Литература

1. Алпайдин Э. Машинное обучение: новый искусственный интеллект / Э. Алпайдин. – Москва: «Точка», 2017. – 208 с.
2. Муравьева Е.А., Абдрафикова Ф.Ф., Газизова Г.И. Система управления технологическим процессом бродильного отделения на основе нечеткого регулятора. – Информационные технологии. Проблемы и решения. 2020. №3(12). С. 136-141.
3. Муравьева Е.А., Радакина Д.С. Разработка алгоритма настройки адаптивного нечеткого регулятора с двойной базой правил. В сборнике: Информационные

технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2018) Труды VI Всероссийской конференции (с приглашением зарубежных ученых). 2018. С. 36-41.

4. Ф.Ф. Абдрафикова, Е.А. Муравьева, Е.С. Кулакова Анализ видов и последствий отказов процесса добычи нефти // Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием) «Химия. Экология. Урбанистика», 23-24 апреля, г. Пермь, 2020. – Том 4. – С. 242-245.

5. Muraveva, E.A. Optimization of the structure of the control system using the fuzzy controller / E.A. Muraveva, E.A. Shulaeva, P.N. Charikov, R.R. Kadyrov, M.I. Sharipov, A.V. Bondarev, A.F. Shishkina // В сборнике: Procedia Computer Science 2017. С. 487-494.

6. Bondarev, A.V. The analysis of opportunities of construction and use of avionic systems based on cots-modules / A.V. Bondarev, E.A. Muravyova, R.R. Kadyrov, P.A. Rahman // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Т. 11. №1. С. 78-92.

## СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 004.05

### ТРИ ТИПА КАЧЕСТВА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ

### THREE TYPES OF QUALITY IN TELECOMMUNICATIONS AND THEIR RELATIONSHIP

Батенков К.А.,  
Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,  
г. Орёл, Российская Федерация

K.A. Batenkov,  
Academy of Federal Guard Service of Russian Federation,  
Oryol, Russian Federation

e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru)

**Аннотация.** В работе отмечается, что качество обслуживания отличается от качеств функционирования сети и терминала. Качество обслуживания – это результат опыта или восприятия пользователя, в то время как качества функционирования сети и терминала определяются производительностью сетевых элементов по отдельности или производительностью сети в целом, включая производительность подключенных терминалов, то есть комбинацией производительности всех отдельных элементов. Это означает, что качество функционирования сети может трактоваться как сквозное, но может описывать производительности фрагмента сети. Качество восприятия определяется как приемлемость приложения или услуги, воспринимаемая субъективно конечным пользователем. Оно включает в себя все сквозные системные эффекты (клиент, терминал, сеть, инфраструктура услуг и так далее) и может зависеть от ожиданий пользователя и обстоятельств. Следовательно, качество восприятия измеряется субъективно конечным пользователем и может различаться для конкретных пользователей. Однако оно часто оценивается с помощью объективных измерений. В целом, существует корреляция между субъективным качеством восприятия, измеряемым в форме средней экспертной оценки, и различными объективными параметрами качества обслуживания. Как правило, существует несколько показателей производительности уровня обслуживания, которые влияют на общее качество восприятие. Взаимосвязь параметров качеств восприятия и обслуживания, как правило, имеет эмпирический характер.

**Abstract.** The paper notes that the quality of service differs from the quality of the functioning of the network and the terminal. Quality of service is the result of experience or perception of the user, while the quality of the functioning of the network and the terminal are determined by the performance of network elements individually or the performance of the network as a whole, including the performance of the connected terminal, i.e. a combination of the performance of all individual elements. This means that the quality of network operation can be interpreted as end-to-end, but can describe the performance of a network fragment. Perception quality is defined as the acceptability of an application or service perceived

subjectively by the end user. It includes all end-to-end system effects (client, terminal, network, service infrastructure, and so on) and may depend on user expectations and circumstances. Consequently, the quality of perception is measured subjectively by the end user and may vary for specific users. However, it is often estimated using objective measurements. In general, there is a correlation between the subjective quality of perception, measured in the form of an average expert assessment, and various objective parameters of the quality of service. Generally, there are several service level performance metrics that affect the overall quality perception. The relationship between the parameters of the quality of perception and service, as a rule, is empirical.

**Ключевые слова:** качество обслуживания, качество восприятия, качество функционирования сети, сетевой элемент, транспортная сеть.

**Keywords:** quality of service quality perceptions, the quality of the functioning of the network, the network element, the transport network.

Важно понимать, что качество обслуживания отличается от качеств функционирования сети и терминала [1]. Качество обслуживания – это результат опыта или восприятия пользователя, в то время как качества функционирования сети и терминала определяются производительностью сетевых элементов по отдельности или производительностью сети в целом, включая производительность подключенных терминалов, то есть комбинацией производительности всех отдельных элементов. Это означает, что качество функционирования сети может трактоваться как сквозное, но может описывать производительности фрагмента сети.

Например, качество функционирования сети доступа обычно отделяется от качества функционирования транспортной сети при анализе отдельно взятой пакетной сети, в то время как производительность интернета отражает объединенные качества функционирования нескольких автономных сетей. Однако качества функционирования сети и терминала оказывают влияние на качество обслуживания – они представляют собой его составляющие. Совокупное влияние производительности всех элементов определяет общую производительность сервиса. Существуют внутренние связи между параметрами качества обслуживания и функционирования, причем первые оказывают прямое или косвенное, а иногда даже обратное влияние на вторые. Кроме того, некоторые показатели качества имеют непосредственную связь с показателями качества обслуживания, в то время как другие – формируют показатели качества обслуживания только во взаимосвязи.

Показатели качества функционирования используются для объективного измерения производительности конкретных сетевых и терминальных элементов, которые оказывают влияние на результирующее сквозное качество обслуживания. Качество функционирования измеряется и выражается в виде соответствующих параметров. Основное различие между качеством обслуживания и функционирования сети – качество обслуживания предоставляет информацию о сквозном качестве и связанной с ним услуге, а качество функционирования сети определяет техническую работоспособность сетевых и терминальных элементов или фрагментов сети.

В дополнение к термину качество обслуживания (QoS), термин качество восприятия (QoE) часто используется для того, чтобы подчеркнуть чисто субъективный характер оценок качества в телекоммуникациях и его ориентацию на точку зрения пользователя об общей ценности предоставляемой услуги.

Рост значимости термина качество восприятия связано с тем, что ранее термин качество обслуживания использовался слабо и в основном только для технических

концепций, ориентированных на сети и сетевые элементы. Однако определение качество обслуживания включает в себя степень удовлетворенности пользователя услугой. Таким образом, сюда включаются нетехнические аспекты, такие как, например, окружение пользователя, ожидания, характер контента и его важность. Но большинство поставщиков услуг действительно использовали качество обслуживания только в отношении фактического взаимодействия пользователя и сервиса, чтобы перепроверить, были ли требования пользователя удовлетворены реализацией услуги поставщика (как это воспринимается пользователем). Таким образом, был сделан сильный акцент на фактическом качестве функционирования сети и его непосредственном влиянии на воспринимаемые пользователем аспекты, в то время как дополнительные субъективные и не связанные непосредственно с обслуживанием детали были опущены.

Качество восприятия определяется как приемлемость приложения или услуги, воспринимаемая субъективно конечным пользователем. Оно включает в себя все сквозные системные эффекты (клиент, терминал, сеть, инфраструктура услуг и так далее) и может зависеть от ожиданий пользователя и обстоятельств. Следовательно, качество восприятия измеряется субъективно конечным пользователем и может различаться для конкретных пользователей. Однако оно часто оценивается с помощью объективных измерений.

Вклад в качество восприятия вносят объективные показатели эффективности обслуживания, такие как потеря информации и задержка. Эти объективные показатели вместе с человеческими факторами, которые могут включать эмоции, языковой фон, отношение, мотивацию и так далее, определяют общую удовлетворенность услугой конечным пользователем. Рисунок 1 иллюстрирует особенности, влияющие на качество восприятия.

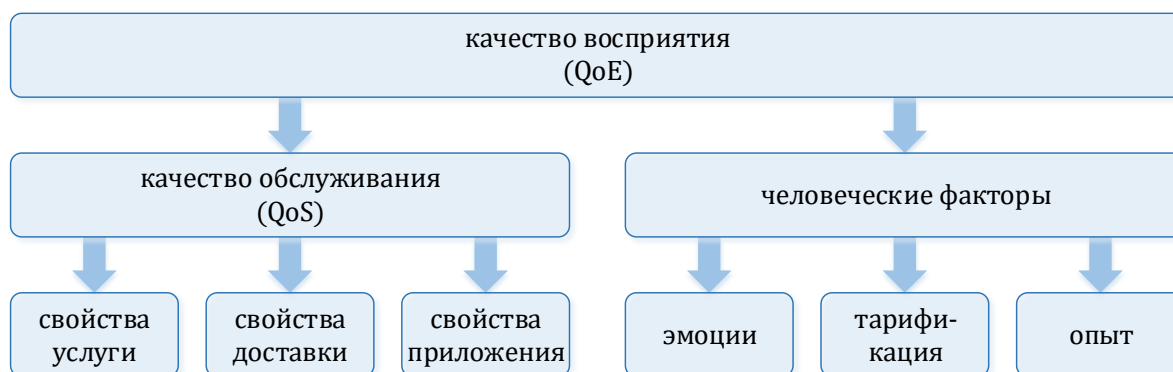


Рисунок 1. Иерархия качества восприятия (QoE)

Качество восприятия для видео часто измеряется с помощью тщательно субъективных тестов, в рамках которых образцы видео воспроизводятся зрителям, которых просят оценить их по бальной шкале. Полученные оценки усредняются для расчета средней экспертной оценки (MOS – mean opinion score).

В общем случае качество обслуживания измеряется объективно. В телекоммуникациях качество обслуживания обычно является мерой эффективности услуг, предоставляемых сетями. Механизмы обеспечения качества обслуживания включают в себя способы, увеличивающие производительность системы и, следовательно, повышающие степень удовлетворенности конечного пользователя. Механизмы обеспечения качества обслуживания реализуются на различных уровнях.

Например, на сетевом уровне механизмы обеспечения качества обслуживания включают в себя способы управления трафиком, такие как диспетчеризация и



организация очередей, используемые для дифференциации трафика, генерируемого различными приложениями. Другие механизмы обеспечения качества обслуживания на уровнях, отличных от транспортного, включают маскирование потерь, прямую коррекцию ошибок на уровне приложений и тому подобное.

Параметры качества обслуживания, используются для описания наблюдаемого качества. Подобно механизмам обеспечения качества обслуживания, параметры определяются для различных уровней.

В целом, существует корреляция между субъективным качеством восприятия (QoE), измеряемым в форме средней экспертной оценки (MOS), и различными объективными параметрами качества обслуживания (QoS). Как правило, существует несколько показателей производительности уровня обслуживания (QoS), которые влияют на общее качество восприятие. Взаимосвязь параметров качества восприятия и обслуживания, как правило, имеет эмпирический характер. Корреляция качества восприятия и обслуживания используется в двух наиболее часто встречающихся ситуациях: на основе измерений показателей качества обслуживания прогнозируют параметры качества восприятия, и, наоборот, по целевым показателям качества восприятия задают требования к показателям производительности уровня обслуживания.

Подобные прогнозы и выводы построены на определенных предположениях и приближениях. Из-за сложности телекоммуникационных услуг и разнообразия факторов, влияющих на качество, не существует взаимно-однозначного соответствия между параметрами, которое бы позволяло постулировать утверждения, подобные следующему: «если пропускная способность будет увеличена на  $x$  кбит/с, то оценка пользователя вырастет на  $y$  пунктов».

Для обеспечения надлежащего качества предоставляемых услуг целевые показатели качества восприятия необходимо устанавливать для каждой услуги в отдельности и учитывать на начальных этапах проектирования путем их пересчета в объективные показатели качества обслуживания.

Качество восприятия постепенно становится ключевым отличительным признаком конкурирующих между собой предложений услуг.

Пользователям услуг индифферентно относительно способов достижения требуемого качества обслуживания. Существенным для них остается степень соответствия услуги их ожиданиям в отношении эффективности, работоспособности, доступности и простоты ее использования.

Традиционно качество обслуживания рассматривался главным образом с точки зрения конечного пользователя-человека, например в телефонии [2]. Человек способен слышать и видеть, быть терпимым к некоторому ухудшению качества услуг – высокий коэффициент потери пакетов приемлем для голоса, а сквозная задержка для голоса должна составлять не более 400 мс [3, 4]. Новые виды коммуникаций, в рамках которых услуги не предполагают доставки информации в реальном масштабе времени и где отправителем или конечным пользователем является не человек, а машина, предопределяют существенные различия даже близких по своей природе услуг, например, для интернета вещей (IoT – internet of things).

На восприятие конечным пользователем телекоммуникационных услуг также влияют различные факторы, такие как социальные предпочтения, например, с точки зрения популярности устройств, услуг, приложений, социальных сетей, реклама, тарифы и расходы, которые взаимосвязаны с ожиданиями клиентов качества обслуживания. Восприятие качества пользователем не ограничивается объективными характеристиками на человеко-машинном интерфейсе [5, 6]. Для конечных

пользователей имеет особенное значение качество, которое они лично ощущают во время использования телекоммуникационной услуги [7, 8].

Для каждого из вышеперечисленных качеств есть свои параметры, а, следовательно, показатели и единицы измерения, в том числе и для чисто субъективного качества восприятия. Основываясь на различных определениях качества, главные особенности их параметров представлены в таблице 1 [3, 4, 5].

Таблица 1 – Особенности параметров качества в телекоммуникациях

Особенности	Параметры качества		
	восприятия	обслуживания	функционирования сети
Ориентация	На пользователя		На оператора
Характеризуемые признаки	Поведения пользователя	Услуги	Соединения, потока, сетевых элементов, технологии
Концентрация	На результатах восприятия пользователя	На степени удовлетворенности пользователя	На планировании, развитии (разработке), управлении и обслуживании
Наблюдение и измерение	Непосредственно пользователем	На точках доступа пользователей к услуге, зависят от сетевых процессов и событий	На границах сетевых соединений, например, относящиеся к интерфейсным сигналам определенных протоколов

Как продемонстрировано на рисунке 2 [1], качество обслуживания определяется сквозными техническими факторами, которые включают в себя качества функционирования сети и терминалов, а также нетехническими аспектами, несвязанными непосредственно с оборудованием, таких как торговая точка, забота о клиенте и тому подобное [9, 10].

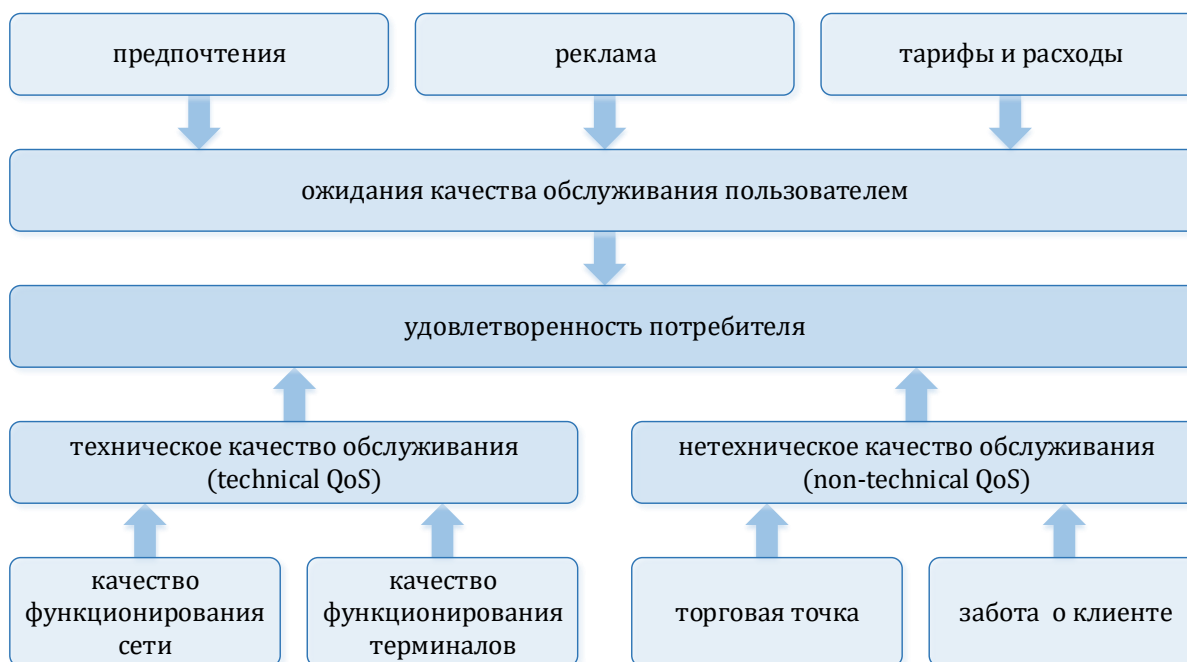


Рисунок 2. Иерархия удовлетворенности потребителя

## Литература

1. Rec. E.804. QoS aspects for popular services in mobile networks. – 2014–02. – Geneva: ITU-T, 2014. – 446 p.
2. Quality of service regulation manual. – ITU-T, 2017. – 176 p.
3. TS 102 250-1. Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 1: Assessment of Quality of Service. – v. 2.2.1. – 2011–04. – ETSI, 2014. – 28 p.
4. Technical Paper. How to increase QoS/QoE of IP-based platform(s) to regionally agreed standards. – 2013–03–01. – ITU-T, 2013. – 58 p.
5. Rec. I.350. General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDNs. – 1993–03. – ITU-T, 1993. – 17 p.
6. Батенков К.А. Анализ статистики голосового трафика сети Ethernet с помощью программы Wireshark / Батенков К.А., Королев А.В., Миронов А.Е., Орешин А.Н. // Телекоммуникации. – 2018. – №10. – С. 39-48.
7. Батенков К.А. Оценка параметров алгоритмов диспетчеризации на основе имитационного моделирования в программной среде Riverbed / Батенков К.А., Королев А.В., Миронов А.Е., Орешин А.Н. // Телекоммуникации. – 2018. – №8. – С. 17-23.
8. Батенков К.А. Анализ и синтез структур сетей связи по детерминированным показателям устойчивости // Труды СПИИРАН. – 2018. – №3(58). – С. 128-159.
9. Батенков А.А. Методы формирования множеств состояний телекоммуникационных сетей для различных мер связности / А.А. Батенков, К.А. Батенков, А.Б. Фокин // Труды СПИИРАН. 2020. Т. 19. №3. С. 644-673.
10. Батенков К.А. Точные и граничные оценки вероятностей связности сетей связи на основе метода полного перебора типовых состояний // Труды СПИИРАН. 2019. Т. 18. №5. С. 1093-1118.

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004

### ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ, РИСКИ

### DIGITAL TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING: PROSPECTS, RISKS

Идрисова Ж.В., Алихаджиев С.Х.,  
ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»,  
г. Грозный, Российская Федерация

J.V. Idrisova, S.Kh. Alikhadzhiev,  
Chechen State University,  
Grozny, Russian Federation

e-mail: J120712@yandex.ru

**Аннотация.** Конструкторская подготовка производства – чрезвычайно трудоемкий, а потому дорогой этап создания машины. Поэтому с появлением вычислительной техники сразу начали создавать системы, которые значительно облегчили работу конструктора. Созданные САД-системы за последние годы претерпели значительное развитие – от изображения геометрических примитивов к виртуальным лабораториям динамических исследований сложных сборочных 3D объектов. Цель статьи – изучить и проанализировать цифровые технологии в машиностроении, оценить перспективы, риски. Указано, что дополнительными стимулирующими факторами для цифровой трансформации и автоматизации процессов в промышленности стали географическая удаленность объектов в России и дефицит необходимых компетенций в отдельных регионах. Цифровизация позволяет организовать централизованный удаленный доступ, помогая решить эти вопросы. Заметная отдача и пересмотр бизнес-моделей — следующий этап цифровой трансформации. Для этого необходимо развивать инфраструктуру и наращивать критический уровень цифровизации в отраслевом и межотраслевом взаимодействии, что требует в том числе развития нормативного регулирования, а также готовность руководства компаний к изменениям корпоративной культуры и процессов на предприятиях. Ограничения экономической и социальной жизни показали, что определять дальнейшую работу предприятий будет в том числе возможность выполнять задачи удаленно и в цифровом формате. Вырос спрос на цифровые услуги и продукты в целом, при этом в приоритете – экономический эффект. С учетом нестабильности рынков и финансовых систем существенно сокращаются сроки реализации проектов. Это усиливает потребность в готовых комплексных решениях. Заказчики хотят использовать готовые инструменты с подтвержденной эффективностью, внимательно смотрят на имеющиеся кейсы и отраслевой опыт, прорабатывают все более комплексные задачи и сценарии использования.

**Abstract.** Design preparation for production is an extremely time-consuming and therefore expensive stage in creating a machine. Therefore, with the advent of computer technology, they immediately began to create systems that greatly facilitated the work of the designer. The created CAD systems have undergone significant development in recent years - from the image of geometric primitives to virtual laboratories for dynamic research of complex assembly 3D objects. The purpose of the article is to study and analyze digital technologies in mechanical engineering, assess prospects, risks. It is indicated that the geographical remoteness of objects in Russia and the lack of necessary competencies in certain regions have become additional stimulating factors for digital transformation and automation of processes in industry. Digitalization allows you to organize centralized remote access, helping to solve these issues. Notable returns and business model redefinitions are the next phase of digital transformation. To do this, it is necessary to develop infrastructure and increase the critical level of digitalization in sectoral and cross-sectoral interaction, which requires, among other things, the development of regulatory regulation, as well as the readiness of company management to change the corporate culture and processes at enterprises. The constraints of economic and social life have shown that the future work of enterprises will also be determined by the ability to perform tasks remotely and in digital format. The demand for digital services and products in general has grown, with the priority being the economic effect. Taking into account the instability of markets and financial systems, project implementation times are significantly reduced. This increases the need for complete turnkey solutions. Customers want to use ready-made tools with proven effectiveness, carefully look at the existing cases and industry experience, and work out more and more complex tasks and use cases.

**Ключевые слова:** социальные услуги, информационная система, AR-технологии, цифровые технологии, передовые технологии.

**Keywords:** Social Services, information system, AR-technologies, Digital technologies, advanced technologies

## **Введение**

Степень цифровизации производств в разных отраслях и сегментах рынка серьезно отличается.

Цифровые технологии активно используются, например, в машиностроении, металлургии, добыче и транспортировке нефти и газа, химической и нефтехимической отраслях.

Причем в России есть компании, не только определившие для себя цифровизацию как стратегию бизнеса, но и уже добившиеся практических результатов, такие как «Газпром нефть», «Сибур», КамАЗ, «Транснефть», «Северсталь», «Русал», ММК.

Среди отраслей, где цифровые инновации пока менее распространены, высокий потенциал у OEM-производителей, предприятий пищевой промышленности и коммунальной инфраструктуры, а также занятых в сфере переработки мусора.

В целом в промышленности идет активное строительство платформ и экосистем, растут число и зрелость цифровых инструментов. Увеличилась потребность в цифровом консалтинге, сквозных цифровых компетенциях и апробированных инструментах высокой степени готовности.

Цель статьи обозначила научную новизну статьи – изучить и проанализировать цифровые технологии в машиностроении, оценить перспективы, риски.

## Результаты исследования

Объединение «Атоммаш» внедрило вибропаспорта и технологии предсказательной диагностики станков для предупреждения сбоев.

«Транснефть» полностью перестроила систему диспетчерского контроля и управления.

«Сибур» реализовал систему обнаружения утечек на трубопроводах на основе технологий анализа данных и с использованием дронов. Это обеспечит бизнесу возможность перехода к новым моделям обслуживания инфраструктуры. Компания также активно внедряет цифровых двойников.

Завод «Станкомашкомплекс» расширил на основе цифровых двойников и технологий промышленного интернета вещей цифровые сервисы для своей станочной продукции.

Это лишь некоторые из ярких примеров.

Конструкторская подготовка производства – чрезвычайно трудоемкий, а потому дорогой этап создания машины. Поэтому с появлением вычислительной техники сразу начали создавать системы, которые значительно облегчили работу конструктора.

Созданные САД-системы за последние годы претерпели значительное развитие – от изображения геометрических примитивов к виртуальным лабораториям динамических исследований сложных сборочных 3D объектов.

В настоящее время все большее значение придается понятию «Виртуальная реальность» («Virtual Reality»).

VR-технологии – это специально разработанная цифровая среда, которая заменяет наш реальный мир, где пользователи, как и в реальности также слышат звуки и видят искусственные образы вокруг себя будто бы находясь внутри него [1].

AR-технологии – это проектирование виртуальных (цифровых) объектов в реальном мире.

VR блокирует реальный мир и погружает пользователя в цифровую вселенную, а AR внедряет элементы цифрового мира в реальный [2].

Таким образом, отпадает необходимость создания концепт-машин для исследования их эргономики, эстетической привлекательности и подобных признаков, что значительно сокращает процесс проектирования.

В конкурентном мире скорый выпуск новых образцов качественной продукции может стать ключевым фактором завоевания рынков.

Используя специально разработанный гаджет VR-очков, нам доступна возможность «окунуться» в вымышленный мир, в котором человек видит трехмерное изображение – виртуальный мир.

При движении по комнате, при повороте головы, программа с помощью датчиков и гироскопов автоматически перестраивает изображение под точку обзора человека, благодаря чему создается ощущение реального присутствия в вымышленном пространстве.

Используя VR-перчатки, пользователь получает возможность тактильно ощущать цифровые предметы.

Такую технологию можно использовать:

- при проектировании машин, бытовой техники, планировании цеха;
- изменения типа и габаритов проектируемого технологического оборудования.

Основные области применения:

VR – видеоигры, образование, машиностроение, туризм и искусство;

AR – видеоигры, маркетинг, машиностроение.

Применение:

VR – от длительного использования VR-устройств сильно устают глаза и шея, возможно головокружение, нужна определенная физическая подготовка;

AR – использование смартфонов и планшетов как AR-устройства создает минимальные неудобства для пользователя.

AR-очки, конечно, гораздо комфортнее в использовании чем VR-очки. В первую очередь, это связано с тем, что они значительно меньше весят.

Стоимость устройств и оборудования:

VR – стоимость достаточно вариативная – от нескольких сотен до сотен тысяч рублей;

AR – ситуация с ценами примерно такая же, как с VR.

На данный момент перечень смартфонов и планшетов, поддерживающих AR-технологии достаточно велик. Минимальная стоимость таких устройств находится в районе 9 тысяч рублей.

В машиностроении один из первых известных VR / AR-проектов был запущен в 1992 году компанией Boeing.

За счет визуализированного представления жгута проводов для прокладки по периметру корпуса самолета и представления схем составления этих жгутов проводов удалось ускорить монтаж и снизить вероятность ошибок при работе.

Термин «дополненная реальность» как раз и появился во время реализации данного проекта [3].

В сфере образования VR-технологии предоставляют материалы в более приемлемом, интересном, доступном и легком для восприятия виде.

В туристической отрасли и искусстве с помощью VR-технологий появилась возможность посещать музеи, отправляться в путешествия.

Игровая индустрия является одной из первых отраслей, в которых стали применять VR / AR-технологии. В настоящее время существует множество игр с использованием виртуальной и дополненной реальности.

В машиностроении системы виртуальной реальности воспроизводят компьютерные модели отдельных машиностроительных узлов, деталей, зданий, сооружений, оборудования и техники в трехмерном изображении, с возможностью их визуализации, просмотра, сборники разборки и т.д. [5].

При анализе проекта на стадии эскизирования VR-технологии позволяют проверить компоновку, оценить эргономику, выявить коллизии, изменить внешний вид объекта, а также внести необходимые изменения в проект.

Такие технологии помогают формировать и готовить визуализированное представление информационных материалов.

Данный подход использования VR-устройств возможен для моделирования сборочных операций, проведения анализа и возможности оптимизации процессов изготовления изделий.

В качестве примера использования VR / AR-технологий в области машиностроения можно привести компанию Ford.

Она использует VR на стадии проектирования автомобилей. Это позволяет быстрее и эффективнее работать над внешним видом автомобиля, более подробно обрабатывать тонкие линии и элементы отделки.

Работая в этой студии, дизайнеры Ford смогли наилучшим образом спроектировать расположение приборной панели, кресел и механизмов управления в новой модели Ford Fiesta.

## Выводы

В результате проведенного исследования, сформулированы сходства и различия между VR / AR-технологиями. Обнаружено, что во многих сферах данные технологии применяются совместно. Рассмотрены этап эскизного проекта с целью выявления общих принципов использования технологий виртуальной реальности в области машиностроения.

Современное производство генерирует огромный объем данных; чтобы на их основе принимать решения, необходимы мощные системы.

Открытая облачная платформа MindSphere «Сименс», например, обеспечивает связь физической инфраструктуры с цифровой средой, дает возможность эффективно использовать оборудование на основе анализа данных.

Приведенные примеры использования VR / AR-технологий в машиностроении показывают целесообразность их применения в данной области.

Важно отметить, что пандемия COVID-19 повлияла на организацию бизнес-процессов, но машиностроению удалось их перестроить относительно легко, так как их цифровизация запущена в компании достаточно давно.

Предприятия перешли на удаленный формат работы с клиентами и после завершения пандемии продолжают развивать некоторые решения, которые выработали сейчас, например, приложения и интернет-сервисы для удаленного мониторинга оборудования, удаленной приемки оборудования (вместо присутствия инженеров на местах), цифровые сервисы продаж и инжиниринговые платформы.

## Литература

1. Ford is using 3D Virtual Reality Software to Speed up Car Design Process [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/WABMF>
2. Аптекман А., Калабин В., Клинов В., Кузнецова Е., Кулагин В., Ясеновец И. Цифровая Россия: новая реальность / ООО «Мак-Кинзи и Компания СиАйЭс», 2017. – 133 с. – URL: <https://clck.ru/WABMu>
3. Россия онлайн: четыре приоритета для прорыва в цифровой экономике / The Boston Consulting Group, 2017. – 28 с. – URL: <https://clck.ru/WABNv>
4. Послание Президента Федеральному собранию, 1 декабря 2016 года, 13:10, Москва, Кремль / Президент России, официальный сайт. – М., 2016. – URL: <https://clck.ru/WABQY>
5. Малинецкий Г. Г. Блеск и нищета цифровой реальности. Выступление на Абалкинских чтениях Вольного экономического общества 6 марта 2018 года в Москве / ИА REGNUM, 1999-2018. – 2018. – 12 марта. – URL: <https://clck.ru/WABRZ>