

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

Кафедра математики
Кафедра машины и оборудование нефтегазовых промыслов

**РОЛЬ МАТЕМАТИКИ
В СТАНОВЛЕНИИ СПЕЦИАЛИСТА – 2021**

**Материалы
Международной научно-практической конференции**

Уфа
УНПЦ «Издательство УГНТУ»
2021

УДК 378
ББК 74.58
Р 68

Редакционная коллегия:
Фаткуллин Ю.Н.
Шамшович В.Ф.
Буренина И.В.
Ямалиев В.У.
Еникеева Л.В.
Зинатуллина Э.Я. (отв. секретарь)

Р 68 Роль математики в становлении специалиста-2021: материалы Международной научно-практической конференции. – Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2021. – 198 с.

ISBN 978-5-7831-2089-3

Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Роль математики в становлении специалиста» проводилась с целью создания площадки для обмена опытом, результатами исследований; акцентирование внимания, как студентов, так и преподавателей, что математика является базовой в инженерном образовании.

В сборник включены материалы докладов студентов, аспирантов и молодых ученых в области экономических и инженерно-технических исследований с применением математического моделирования и методов математического анализа в сфере их будущей профессиональной деятельности.

УДК 378
ББК 74.58

ISBN 978-5-7831-2089-3

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

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ

Коледина К.Ф.

Детализированные кинетические модели гомогенных и гетерогенных каталитических реакций – основа оптимизации. Математическое описание каталитических реакций.....	6
<i>Муфтахов А.В., Фаткуллин Н.Ю., Шамишович В.Ф.</i>	
Реализация учебного процесса с использованием дистанционных образовательных технологий в вузе.....	9

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»

Александрова А.А., Коледина К.Ф.

Решение оптимизационных задач нелинейного программирования в среде RStudio.....	14
--	-----------

Ахмадуллина С.Х.

Система шифрования текстовых данных.....	19
---	-----------

Валиахметова О.Ю., Сементеева Л.Ш.

Система исследования связи «структура-активность», конструирования и прогноза «SARD-21».....	23
---	-----------

Габдрахманова К.Ф.

Математическая подготовка студентов нефтегазовых специальностей.....	28
---	-----------

Гумерова В.И., Коледин С.Н.

Разработка мобильного приложения с применением автоматизированного алгоритма по подбору недвижимости.....	31
--	-----------

Девликамова Г.В.

Модель Харрода-Домара как инструмент анализа инвестиционной деятельности в нефтяной отрасли.....	36
---	-----------

Девликамова Г.В.

Распознавание образов в налоговом анализе.....	41
---	-----------

Зиннатуллин В.Ф., Коледин С.Н.

Визуальный язык программирования как инструмент для работы с большими данными.....	46
---	-----------

Качкаев Д.Д., Махмутова М.Р., Коледин С.Н.

Визуальное представление теории вероятности.....	51
---	-----------

Мигранова Н.А., Глебов С.Г.

Исследование устойчивости течения жидкости с зародышами газа.....	57
--	-----------

Нурутдинов М.Р., Коледин С.Н.

Разработка компьютерного приложения для таргетированного поиска абитуриентов в социальных сетях.....	60
---	-----------

Павлов Н.И., Шамшиович В.Ф.

Способ организации дистанционного обучения в высшем учебном заведении и анализ его эффективности с помощью математической модели прогнозирования..... 63

Фаткуллин Н.Ю., Шамшиович В.Ф., Коземирова А.А., Шамшиович, Е.О.

Нахождение функциональной зависимости успешности обучения с поэтапным накоплением рейтинговых баллов по дисциплине..... 68

Хурамышин Д.Р., Фазлыхаков Л.Р., Коледин С.Н.

Технологии дополненной реальности в преподавании естественнонаучных дисциплин..... 73

Чернов Б.Ф., Зиннатулин В.Ф., Коледин С.Н.

Игровой подход в изучении естественно-научных дисциплин..... 78

Шаймарданова Г.Ф., Коледина К.Ф.

Численное решение математических моделей химических процессов заданных системами дифференциальных уравнений в Python..... 81

Эргашева С.С., Глебов С.Г.

Приложение на PYTHON для определения оптимальной сложности модели течения жидкости в трубопроводе..... 87

**СЕКЦИЯ «МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
В НЕФТЕГАЗОВОМ ДЕЛЕ»**

Абдуллаев Н.А., Баязитов М.И.

Напряженно-деформированное состояние ротора с рабочими колесами..... 91

Ахсанов А.В., Булюкова Ф.З.

Конструкция безвального совмещенного насоса..... 96

Безруков Д.В., Думлер Е.Б., Вахитова Р.И.

Изучение причин отказов механизированного фонда Южно-Ромашкинской площади..... 100

Газизов А.З., Думлер Е.Б., Сарачева Д.А.

Метод повышения прочностных свойств элементов запорной арматуры..... 105

Думлер Е.Б., Зинатуллина Э.Я., Сарачева Д.А., Газизов А.З.

Упрочнение деталей запорной арматуры методом ионного азотирования..... 110

Ибрагимов Д.Ф., Мухаметов М.Г.

Работа пассивной и активной части в комбинированной системе компенсации вертикальных движений МПС..... 114

Касимов Д.Л., Лягов И.А.

Планирование экспериментов на стенде ООО «ПЕРФОБУР»..... 118

Лощакова Э.У., Балахонцева Э.М., Зинатуллина Э.Я.

Повышение прочностных характеристик деталей ЭЦН..... 131

Магдеев Т.Р., Макарова Т.Г., Зинатуллина Э.Я.

Эксплуатация глубинонасосного оборудования в малодебитных и обводненных скважинах..... 136

Мухаметов М.Г., Ибрагимов Д.Ф.

**Упрощенный метод решения задач, связанной
с НДС бурильной колонны при бурении на шельфе.....** 140
Нуриддинов Б.Б.

**Математическое моделирование процесса очистки полости
трубопровода с высокими скоростями потока перекачиваемой
среды.....** 146
Ремизов А.Л., Коледин С.Н., Чиглинец Д.С.

**Оптимизация расхода компонент процесса
компаундирования бензинов.....** 151
Салмияров И.Э., Ишемгузин И.Е.

**Снижение вибрационных напряжений в шлицевых соединениях
установки электроцентробежного насоса путем выбора
оптимальной конструкции.....** 156
Саттаров А.Л., Низаметдинова Е.А.

**Расчет технологических параметров струйного аппарата
в компоновке с электроцентробежным насосом.....** 161
Саттаров А.Л., Молчанова В.А.

**Анализ методов повышения эффективности установок
электроцентробежных насосов в условиях высокого газосодержания..** 168
Севастьянова Р. М., Николаев А.В., Шашков М.В., Думлер Е.Б.

**Повышение эффективности разработки залежей нефтяных
месторождений зарезкой боковых горизонтальных стволов.....** 176
Тищенко А.И., Ишмурзин А.А.

**Критический обзор основных механизмов осаждения
асфальтосмолопарафиновых веществ** 181
Хайруллин Р.Р., Думлер Е.Б., Вахитова Р.И.

**Способы коррозионной защиты фланцевых соединений
промысловых трубопроводов.....** 187
Шигабиев Д.Г., Думлер Е.Б., Вахитова Р.И.

**Причины снижения работоспособности
центробежных насосных установок на нефтяных промыслах.....** 193

ПЛЕНАРНЫЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ

УДК 517.977.5

ДЕТАЛИЗИРОВАННЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГОМОГЕННЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ – ОСНОВА ОПТИМИЗАЦИИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

*Коледина К.Ф. (к.ф.-м.н., научный сотрудник, доцент)
Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН, г. Уфа,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Поскольку в основе оптимизационных задач лежит математическая модель, которая для задач химической кинетики представляет собой кинетическую модель, то адекватность решения задач оптимизации определяется адекватностью кинетической модели каталитической реакции. Математическое описание каталитических реакций зависит от типа реакции. В работе рассмотрено математическое описание гомогенной изотермической нестационарной реакции, протекающей в закрытой системе и гетерогенной нестационарной реакции на основе механизма Ленгмюра-Хиншельвуда по закону действующих поверхностей.

Ключевые слова: детализированные кинетические модели, математическое описание кинетики, гомогенные реакции, гетерогенные реакции

DETAILED KINETIC MODELS OF HOMOGENEOUS AND HETEROGENEOUS CATALYTIC REACTIONS - THE BASIS OF OPTIMIZATION. MATHEMATICAL DESCRIPTION OF CATALYTIC REACTIONS

Koledina K.F.

Annotation. Since the optimization problems are based on a mathematical model, which is a kinetic model for problems of chemical kinetics, the adequacy of the solution to optimization problems is determined by the adequacy of the kinetic model of the catalytic reaction. The mathematical description of catalytic reactions depends on the type of reaction. The paper considers the mathematical description of a homogeneous isothermal non-stationary reaction occurring in a closed system and a heterogeneous non-stationary reaction based on the Langmuir-Hinshelwood mechanism according to the law of acting surfaces.

Keywords: detailed kinetic models, mathematical description of kinetics, homogeneous reactions, heterogeneous reactions

Введение

Поскольку в основе оптимизационных задач лежит математическая модель, которая для задач химической кинетики представляет собой кинетическую модель, то адекватность решения задач оптимизации определяется адекватностью кинетической модели каталитической реакции.

Для постановки и решения задач оптимизации необходима разработка детализированной кинетической модели, с определением стадий, влияющих на критерии оптимальности [1].

Разработка математического описания для детализированных кинетических моделей каталитических реакций зависит от рассматриваемого процесса и наличия достаточной экспериментальной информации.

Математическая модель гомогенной изотермической нестационарной реакции, протекающей в закрытой системе

Для любой кинетической модели справедливы закон сохранения вещества (общая масса системы неизменна), концентрация каждого компонента в любой момент времени неотрицательна.

Уравнения химической кинетики, составленные для описания реакций – система обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений (СОНДУ) для модели изотермической нестационарной реакции, протекающей без изменения объема реакционной смеси в закрытой системе по закону действующих масс [2]:

$$\frac{dy_i}{dt} = \Phi_K \sum_{j=1}^J v_{ij} w_j, i = 1, \dots, I; \quad (1)$$

$$w_j = k_j \cdot \prod_{i=1}^I (y_i)^{\alpha_{ij}} - k_{-j} \cdot \prod_{i=1}^I (y_i)^{\beta_{ij}}; \quad k_j = k_j^0 \cdot \exp\left(-\frac{E_j^+}{RT}\right); \quad k_{-j} = k_{-j}^0 \cdot \exp\left(-\frac{E_j^-}{RT}\right); \quad (2)$$

с начальными условиями: при $t=0$, $y_i(0)=y_i^0$; при $\tau=0$, $y_i(0)=y_i^0$; $t, \tau \in [0, t^*]$.

Здесь y_i – концентрации реагентов реакции, моль/л или доли; t – время, мин; Φ_K – определяет количество катализатора в реакции, моль/л или моль/кг; J – количество стадий; I – количество веществ; v_{ij} – стехиометрическая матрица; w_j – скорость j -ой стадии, 1/мин или моль/(кг*мин); k_j, k_{-j} – константы скоростей стадий (приведенные), 1/мин; α_{ij} – отрицательные элементы матрицы v_{ij} , β_{ij} – положительные элементы v_{ij} , k_j^0, k_{-j}^0 – предэкспоненциальные множители, 1/мин; E_j^+, E_j^- – энергии активации прямой и обратной реакций, ккал/моль; R – газовая постоянная, 2 кал/(моль*К); T – температура, К, t^* – продолжительность реакции, мин.

При создании моделей сложных гетерогенных каталитических реакций использование кинетических уравнений в рамках закона действующих масс уже не позволяет адекватно описывать качественные и количественные закономерности протекания процесса. Необходимо использовать более сложные кинетические уравнения в виде зависимостей Ленгмюра-Хиншельвуда, учитывающие адсорбцию компонентов на поверхности катализатора.

Математическая модель гетерогенной нестационарной реакции, на основе механизма Ленгмюра-Хиншельвуда по закону действующих поверхностей

Принимается, что в гетерогенном катализе компоненты адсорбируются на поверхности катализатора и приходят с этой поверхностью в состояние теплового равновесия. Такое состояние называется хемосорбированным [3]. По окончании реакции происходит десорбция образованных продуктов реакции. В уравнение изменения скоростей стадий (2) из СОНДУ (1) вводится учет доли поверхности катализатора, занятой реагентами:

$$w_j = k_j \cdot \prod_{i=1}^I (y_i)^{|\alpha_{ij}|} \prod_{i=1}^I (\theta_i)^{|\alpha_{ij}|} - k_{-j} \cdot \prod_{i=1}^I (y_i)^{\beta_{ij}} \prod_{i=1}^I (\theta_i)^{\beta_{ij}};$$
$$\theta^* = 1 - \sum_{i=1}^I \theta_i; \quad \theta_i = \theta_i(y) = \frac{b_i \cdot y_i}{1 + \sum_{i=1}^I b_i \cdot y_i}; \quad \theta^*(0) = 1, \theta_i(0) = 0. \quad (3)$$

Здесь θ_i - доля поверхности катализатора, занятая i -м компонентом; θ^* - свободная доля поверхности катализатора в любой момент времени; b_i - коэффициент адсорбции i -го вещества, л/моль.

Математическое описание задач химической кинетики (1)-(3) представляет собой систему обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений с начальными данными, то есть задачу Коши. Уравнения (1)-(3) содержат кинетические параметры (константы скоростей, энергии активации стадий, предэкспоненциальные множители, коэффициенты адсорбции), которые необходимо определить или уточнить при разработке кинетических моделей. Прямые задачи химической кинетики (1)-(3) преимущественно являются жесткими. Поэтому численные методы решения прямой кинетической задачи должны обладать свойством численного интегрирования жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений [4-6].

Для решения прямой кинетической задачи широко применяются методы Розенброка [7]. Основная суть методов состоит во введении якобиана системы уравнений в разностную схему Рунге-Кутты. На точность численного метода Розенброка влияет точность обращения матрицы. Численный многошаговый метод Гира переменного порядка основан на использовании линейных многошаговых методов, удовлетворяющих дополнительному требованию жесткой устойчивости [8]. Общим видом линейных многошаговых методов являются формулы дифференцирования назад. При вычислении предиктора применяется алгоритм Норсика. Используется интерполяционный полином для вычисления в предыдущих точках значений вектора решения. Происходит переход к новому шагу интегрирования. Вычисления корректора осуществляется методом Ньютона. При решении задачи Коши методом Гира в каждой точке выбирается оптимальный порядок метода, который обеспечивает наибольший возможный шаг интегрирования.

Заключение

Таким образом, при исследовании сложных каталитических реакций математическими методами требуется разработка детализированных кинетических моделей. Такие модели являются основой оптимизации условий

проведения химических процессов. Разработка математического описания каталитических реакций зависит от типа рассматриваемого процесса.

Список использованных источников

1. Коледина, К. Ф. Кинетика и механизм каталитической реакции спиртов с диметилкарбонатом / К.Ф.Коледина, С. Н. Коледин, Н. А. Щаднева, И. М. Губайдуллин // Журнал физической химии. -2017. – Т.91, № 3. - С. 422–428
2. Балаев А.В. Моделирование каталитических процессов с переменными свойствами реакционной среды //Докт.дисс. – Уфа. – 2008. 253
3. Димитров, В.И Простая кинетика / В.И Димитров – Новосибирск: Наука и жизнь, 1982. – 380с.
4. Полак, Л.С. Вычислительные методы в химической кинетике /Л.С. Полак, М.Я. Гольденберг, А.А. Левицкий. М.: Наука, 1984. - 280 с.
5. Холл, Дж. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений / Дж. Холл, Дж. Уатт. - М.: Мир, 1979. - 312 с.
6. Nordsieck, A. On numerical integration of ordinary differential equations / A. Nordsieck // Math. Comp. – 1962 - 16 –P. 22–49.
7. Rosenbrock, H.H. Some general implicit processes for the numerical solution of differential equations. / H.H. Rosenbrock // Comput. J. 5. – 1963. - P.329–330.
8. Gear, C.V. Numerical initial value problems in ordinary differential equations. / C.V. Gear - Englewood Cliffs: Pentice-Hall, 1971. - 252 p.

УДК 517.22

РЕАЛИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВУЗЕ

Муфтахов А.В. (Ph.D., доцент кафедры математики)¹,

*Фаткуллин Н.Ю. (к.э.н., заведующий кафедрой информационных технологий и
прикладной математики)²,*

*Шамшиович В.Ф. (к.э.н., заместитель заведующего кафедрой информационных
технологий и прикладной математики)²*

¹*Академический инженерный колледж Сами Шамун, г. Ашдод, Израиль*

²*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В работе рассматривается системный подход при решении задач организации учебного процесса с использованием дистанционных образовательных технологий. Цифровая трансформация образования стала реальностью сегодняшнего времени в сложных санитарно-эпидемиологических условиях на всех уровнях образования. Все образовательные организации перешли на дистанционный формат проведения занятий и проведения аттестационных мероприятий. Работа в новых условиях потребовала, как от

преподавателей, так и от студентов в кратчайшие сроки освоить на высоком уровне образовательные технологии и интегрировать их в учебный процесс.

Ключевые слова: дистанционный формат обучения, дистанционные образовательные технологии, обучающиеся

IMPLEMENTATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS USING DISTANCE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES AT THE UNIVERSITY

Dr. Mouftakhov A.V. (Ph.D., Associate Professor of the Department of Mathematics)

Sami Shamoon College of Engineering, Ashdod, Israel

Fatkullin N.Yu., Shamshovich V.F.

Annotation. The paper considers a systematic approach to solving problems for the organization of the educational process using distance learning technologies. Digital transformation of education has become a reality of today's time in difficult sanitary and epidemiological conditions at all levels of education. All educational organizations have switched to the remote format of conducting classes and conducting certification events. Working in the new environment required both teachers and students to master high-level educational technologies in the shortest possible time and integrate them into the educational process.

Keywords: distance learning format, distance learning technologies, students

Введение

В условиях пандемии образовательные организации столкнулись с трудностями перехода на дистанционный формат обучения (ДО): выбор платформы обучения, организация лекционно-практических занятий, прием отчетных работ, проведение контролирующих мероприятий и др. Учреждения, где особое внимание уделялось организации дистанционной поддержки обучения студентов, созданию курсов в образовательной среде и др. смогли безболезненно перейти на дистанционный формат ведения учебного процесса. Произошла дифференциация образовательных организаций по степени готовности к ведению учебного процесса в удаленном режиме в условиях пандемии. Необходимость перевода всех учебных заведений на дистанционный формат проведения занятий «... вызвал необходимость скорейшего реагирования на новые изменяющиеся условия со стороны органов государственной власти и профильных министерств.» [1, с.74].

Целью данной статьи является выявление системного подхода реализации учебного процесса с использованием дистанционных образовательных технологий в вузах не только России, но и зарубежных стран на примере образовательных организаций ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и Инженерного академического колледжа Сами Шамун, Израиль.

Изложение основного материала статьи

Весной 2020 года ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ) все занятия перевел в дистанционный

формат. В УГНТУ с 2019 года запущена платформа «Нефтегазовое образование (OilEdu)» [2], на которой размещены курсы (рисунок 1) по основным дисциплинам, которые преподаются в УГНТУ: основы нефтегазового дела, химия нефти и газа и др.

Портал открытого образования УГНТУ

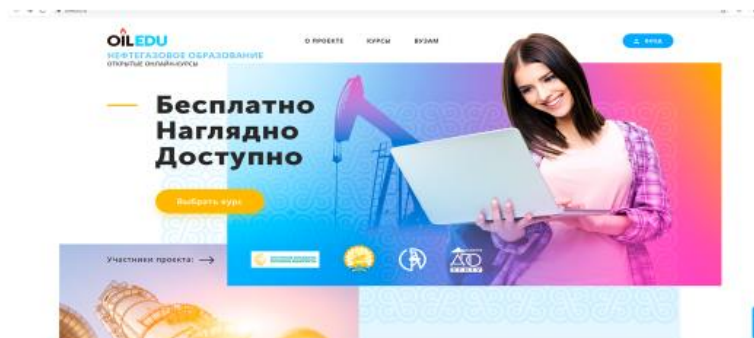


Рисунок 1 – Портал открытого образования «Нефтегазовое образование (OilEdu)»

С 2015 года на кафедре информационных технологий и прикладной математики (ИТМ) ведется разработка курсов дистанционной поддержки в образовательной среде Moodle для студентов всех форм обучения. Курсы по математике кафедры ИТМ в системе ДО представляют собой наглядный, последовательно-изложенный, практико-ориентированный контент [3]. В курсы системы ДО интегрирован банк тестовых заданий по всем разделам математики, в котором более 30 000 тестовых заданий, что позволило составлять многовариативные билеты на все отчетные работы.

На кафедре ИТМ УГНТУ внедрена балльно-рейтинговая система (БРС) оценки успеваемости студентов с 2007 года, что способствует активизации самостоятельной работы обучаемых и освоению дисциплины на более высоком уровне.

«Положения о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов по дисциплине «Математика» (БРС) регламентирует выставление промежуточной аттестации и порядок выполнения отчетных работ в семестре [4]. При выполнении всех отчетных работ в установленные сроки, студенты, имеют возможность получить оценку автоматически.

При работе в дистанционном формате появилась необходимость разработки курсов дистанционной поддержки с накоплением рейтинговых баллов студентами при прохождении контролирующих мероприятий в системе ДО (рисунок 2).

образовательных технологий дает возможность вести образовательную деятельность на более высоком уровне, позволяя студентам быть ведущим звеном и активными участниками реализации образовательного процесса.

Список использованных источников:

1. Штырно Д.А. Переход вузов в дистанционный режим в период пандемии: проблемы и возможные риски [Электронный ресурс] / Д.А. Штырно, Л.В. Константинова, Н.Н. Гагиев // Открытое образование. - Т. 24. - №5 - 2020 – С. 72-81.
2. Электронный ресурс <https://oiled.ru/#course-catalog>
3. Шамшович, В.Ф. Формирование системы поддержки дистанционного обучения (на примере технического вуза) / С.Г. Набиуллина, В.Ф. Шамшович, Е.Ф. Федорова. – Уфа: Издательство «Нефтегазовое дело», 2015. – 138 с.
4. Шамшович, В.Ф. Проверка педагогической гипотезы о повышении рейтинговых характеристик студентов при введении в учебный процесс консультационных занятий в дистанционном формате/ М.Е. Вайндорф-Сысоева, Н.Ю. Фаткуллин, В.Ф. Шамшович// Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование. Педагогические науки». – 2014. – Т. 6, № 3. – С. 82–88.

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»

УДК 622.24.051

РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СРЕДЕ RSTUDIO

Александрова А.А. (БНИ-18-01)¹, Коледина К.Ф. (к.ф.-м.н., доцент)^{1,2}

¹*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

²*Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН*

г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. Решение оптимизационных задач является актуальным вопросом во многих областях науки и повседневной жизни. В данной работе приведена постановка и решение задачи оптимизации химического производства на примере процесса алкилирования в среде RStudio. Согласно нелинейной модели процесса алкилирования в нефтепереработке, позволяющей рассчитать выход вещества, поставлена двухкритериальная задача оптимизации. Результаты решения показали, что наблюдается некоторое снижение значения октанового числа, что следует из постановки задачи.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, нелинейное программирование, химическое производство, процесс алкилирования, метод BFGS

SOLUTION OF OPTIMIZATION PROBLEMS OF NONLINEAR PROGRAMMING IN RSTUDIO ENVIRONMENT

Alexandrova A.A., Koledina K.F.

Annotation. Solving optimization problems is a topical issue in many areas of science and everyday life. This paper presents the formulation and solution of the problem of optimizing chemical production using the example of the alkylation process in the RStudio environment. According to a nonlinear model of the alkylation process in oil refining, which allows calculating the yield of a substance, a two-criterion optimization problem is posed. The results of the solution showed that there is a slight decrease in the value of the octane number, which follows from the formulation of the problem.

Keywords: multicriteria optimization, nonlinear programming, chemical production, alkylation process, BFGS method

1. Введение

Реальные оптимизационные задачи включают в себя несколько целевых критериев, которые конфликтуют между собой. Таким образом, почти все реальные оптимизационные задачи можно отнести к многокритериальным. При исследовании химического производства возникают проблемы с максимизацией выхода целевого продукта, минимизацией выхода побочного

продукта и увеличением производительности или прибыли. Математическая постановка такой задачи определяет задачу многокритериальной оптимизации. В различных программных системах реализованы эволюционные алгоритмы многокритериальной оптимизации. Язык программирования R является языком обработки и анализа данных и имеет множество библиотек с соответствующими функциями. Результаты решения задачи многокритериальной оптимизации возможно проанализировать с применением этих библиотек. Поэтому многокритериальная оптимизация химического производства в среде RStudio является актуальной задачей.

2. Многокритериальная оптимизация в виде Парето-доминирования

Если вектор варьируемых параметров $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ определен в области Dx , а целевая вектор-функция $F(x) = (f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X))$. Тогда задача многокритериальной оптимизации в виде Парето-доминирования имеет вид:

$$\max_{X \in D_x} F(X) = F(X^*) = F^* \quad (1)$$

где X^* - множество неулучшаемых решений в области варьируемых параметров – множество Парето (искомое решение в области варьируемых параметров), F^* - множество неулучшаемых решений в области целевых функций – фронт Парето (искомое решение в области целевых функций).

3. Постановка общей задачи нелинейного программирования

В различных областях науки часто возникают задачи оптимизации сложных систем операций и процессов. Результатом решения задач оптимизации является поиск экстремума (минимума или максимума) целевой функции. Целевая функция – это вещественная и целочисленная функция нескольких переменных, характеризующих некоторые параметры (цена, вес, эффективность, прибыль и т. п.) при определенных ограничениях. Такие задачи называют задачами нелинейного программирования.

Формулировка задачи нелинейного программирования выглядит следующим образом [5]:

$$\text{Минимизировать } f(x), x \in E^n, \quad (2)$$

при m линейных или нелинейных ограничениях в виде равенств

$$h_j(x) = 0, j = 1, \dots, m \quad (3)$$

и $(p - m)$ линейных или нелинейных ограничениях в виде неравенств

$$g_j(x) \geq 0, j = m + 1, \dots, p \quad (4)$$

В некоторых частных случаях ограничения в виде равенств могут быть явно разрешены относительно выбранных переменных с последовательным исключением из задачи (как независимые переменные). Тогда в задаче остаются только ограничения в виде неравенств.

4. Многокритериальная оптимизация химического производства в среде RStudio

Объектом исследования является процесс химического производства, а именно нефтепереработки – процесс алкилирования. В работе [2] разработана нелинейная модель процесса, позволяющая рассчитать прибыль.

$$Profit, P \left(\frac{\$}{hour} \right) = 0,063x_4x_7 - 5,04x_1 - 0,035x_2 - 10,0x_3 - 3,36x_5 \rightarrow \max \quad (5)$$

$$0 \leq x_1 \leq 2000 \quad (6)$$

$$90 \leq x_7 \leq 95 \quad (7)$$

$$3 \leq x_8 \leq 12 \quad (8)$$

$$0 \leq x_4 = [x_1(1,12 + 0,13167x_8 - 0,006667x_8^2)] \leq 5000 \quad (9)$$

$$0 \leq [x_5 = 1,22x_4 - x_1] \leq 2000 \quad (10)$$

$$0 \leq [x_2 = x_1x_8 - x_5] \leq 16000 \quad (11)$$

$$85 \leq \left[x_6 = 89 + \frac{x_7 - (86,35 + 1,098x_8 - 0,038x_8^2)}{0,325} \right] \leq 93 \quad (12)$$

$$145 \leq [x_{10} = -133 + 3x_7] \leq 162 \quad (13)$$

$$1,2 \leq [x_9 = 35,82 - 0,222x_{10}] \leq 4 \quad (14)$$

$$0 \leq \left[x_3 = 0,001 \frac{x_4x_6x_9}{98 - x_6} \right] \leq 120 \quad (15)$$

где x_1 – концентрация олефина, моль/л, x_2 – концентрация изобутана, моль/л, x_3 – скорость присоединения кислоты, моль/л*ч, x_4 – скорость производства алкилата, моль/л*ч, x_5 – изобутановое сырье, моль/л, x_6 – конверсия кислоты, x_7 – октановое число, x_8 – отношение изобутана к олефину, x_9 – коэффициент разбавления кислоты, x_{10} – производительность.

При оптимизации процесса алкилирования параметры связаны ограничениями, полученными опытным путем. Поэтому группа ограничений состоит из функциональных связей.

Данная задача не включает ограничения в виде равенств и имеет шесть остаточных степеней свободы. Это означает, что все шесть переменных можно изменять, соблюдая при этом ограничения к задаче.

Задачу оптимизации (5)-(15) можно сформулировать как многокритериальную, добавив еще один критерий оптимальности. Будем рассматривать задачу с критериями: максимизация прибыли (Profit, P) и максимизация октанового числа:

$$x_7 \rightarrow \max \quad (16)$$

Решение задачи многокритериальной оптимизации химического производства в среде RStudio [3] велось с использованием методов решения задач нелинейного программирования и пакета graphics. Для решения задачи многокритериальной оптимизации был использован метод BFGS с расширениями L-BFGS и L-BFGS-B. Для осуществления данного алгоритма дополнительно произвели вычисления градиента целевой функции относительно каждого параметра.

5. Метод Бroyдена — Флетчера — Гольдфарба — Шанно (BFGS)

Для решения задачи многокритериальной оптимизации используется квазиньютоновский метод оптимизации– BFGS (с расширением L-BFGS).

Для определения экстремума функции итеративно строятся приближения обратной матрицы Гессiana (квадратная матрица частных производных второго порядка) с учетом заданных параметров. Далее, повторяется процесс вычисления с использованием приближенного гессiana, вычисляется оптимальный размер шага с использованием поиска строки, а положение и приближение гессiana обновляется. Метод обновления гессiana каждой итерации называется правилом BFGS, которое гарантирует, что обновленная матрица положительно определена.

6. Результаты расчетов

Решение задачи многокритериальной оптимизации процесса алкилирования (5)-(15) в среде RStudio [3] велось с использованием метода оптимизации многомерных нелинейных неограниченных функций BFGS и L-BFGS-B.

```

1 require(graphics)
2 fr <- function(x) {
3   x1 <- x[1]
4   x2 <- x[2]
5   x3 <- x[3]
6   x4 <- x[4]
7   x5 <- x[5]
8   x7 <- x[6]
9   -0.063*x4*x7+5.04*x1+0.035*x2+10.0*x3+3.36*x5
10 }
11 grr <- function(x) {
12   x1 <- x[1]
13   x2 <- x[2]
14   x3 <- x[3]
15   x4 <- x[4]
16   x5 <- x[5]
17   x7 <- x[6]
18   c(-5.04,
19     -0.035,
20     -10.0,
21     (0.063*x7),
22     -3.36,
23     (-0.063*x4))
24 }
25 optim(c(1,1,1,1,1,92.67), fr)
26 (res <- optim(c(1,1,1,1,1,92.67), fr, grr, method = "BFGS"))
27 optimHess(res$par, fr, grr)
28 optim(c(1,1,1,1,1,92.67), fr, NULL, method = "BFGS", hessian = TRUE)
29 optim(c(1,1,1,1,1,92.67), fr, grr, method = "CG")
30 optim(c(1,1,1,1,1,92.67), fr, grr, method = "CG", control = list(type = 2))
31 optim(c(1,1,1,1,1,92.67), fr, grr, method = "L-BFGS-B", lower=c(0,0,-Inf,0,0,92.67), upper=c(2000,16000,Inf,5000,2000,95))
32

```

Рисунок 1 – Реализация метода L-BFGS в среде RStudio

```
> optim(c(1,1,1,1,1,92.67), fr, grr, method = "L-BFGS-B", lower=c(0,0,-Inf,0,0,92.67), upper=c(2000,16000,Inf,5000,2000,95))
$par
[1] 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 92.67

$value
[1] 12.59679

$counts
function gradient
      21         21
```

Рисунок 2 – Результат работы алгоритма

В результате, с ростом прибыли наблюдается некоторое снижение значения октанового числа, что следует из постановки задачи (5)-(15).

Расчетное значение критерия прибыли $f(x) = 12,6$ \$/hour. Значение октанового числа $x_7 = 92,7$

7. Заключение

В работе приведена постановка и решение задачи многокритериальной оптимизации процесса алкилирования в среде RStudio. Были использованы такие методы, как BFGS и L-BFGS-B, основанные на нахождении градиента и приближений обратной матрицы Гессеана.

Список использованных источников:

1. Applied nonlinear programming / David M. Himmelblau. – 1972 – P.19-20.
2. Sauer, R. N. Computer Points the Way to More Profits / R. N. Sauer, Jr. Colville, C. W. Burwick // Hydrocarbon Processing & Refiner. – 1964. - Volume 49, No. 2. - P. 84-92.
3. Язык и среда программирования R: учеб. пособие / А.В, Золотарюк. - М. Инфра-М, 2018. - 162 с.
4. Phillp, E. Gill. Practical optimization/Phillp E. Gill, Walter Murray, Margaret H. Wright//Systems Optimization Laboratory. – 1981. – P. 208-212.
5. Koledina, K.F. Multi-objective optimization of chemical reaction conditions based on a kinetic model / K. F. Koledina, S. N. Koledin, A. P. Karpenko, I. M. Gubaydullin, M. K. Vovdenko // Journal of Mathematical Chemistry February. – 2019. - Volume 57, Issue 2. – P. 484–493.

СИСТЕМА ШИФРОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Ахмадуллина С.Х. (БПО-17-01)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматривается проблема конфиденциальности и целостности личных пользовательских данных. Описаны асимметричные алгоритмы шифрования RSA и ElGamal, используемые в разработанной системе шифрования, которая должна решить проблему защиты данных.

Ключевые слова: утечка данных, криптография, алгоритмы шифрования, система шифрования, защита данных

TEXT DATA ENCRYPTION SYSTEM

Akhmadullina S.Kh.

Annotation. This article examines the problem of confidentiality and integrity of personal user data. The asymmetric encryption algorithms RSA and ElGamal are described, which are used in the developed system of encryption. This system should solve the problem of data protection.

Keywords: data leakage, cryptography, encryption algorithms, encryption system, data protection

Описание современного человека давно вышло за рамки только его психологических качеств. В мире информационных технологий человек – это потребитель и производитель большого количества различных данных ежедневно. За 2016 год суточное количество сообщений в социальной сети VK достигло отметки в 5 миллиардов, а в мессенджере Telegram в 15 миллиардов за аналогичный период [7]. В 2020 году пользователи отправляли в день более 300 миллиардов электронных писем.

С развитием процесса внедрения информационных технологий в различные сферы жизнедеятельности человека возникают проблемы обеспечения безопасности. При недостаточном уровне защиты существенное количество данных, начиная от личной переписки и заканчивая засекреченными государственными документами, может попасть в руки киберпреступников. В 2020 году в России произошло 73 крупных утечек данных, в среднем – 6 случаев в месяц.

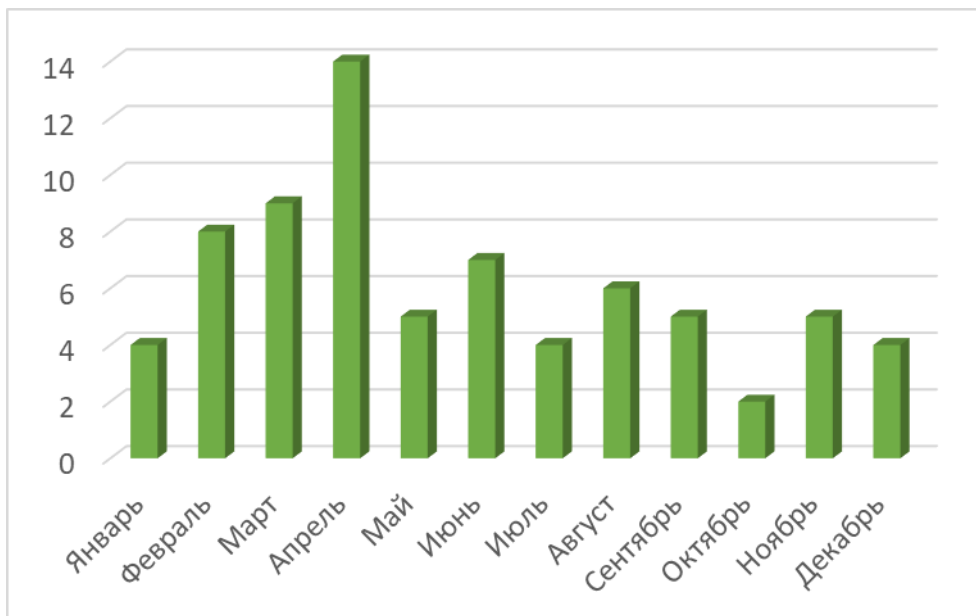


Рисунок 1 – График утечек данных в России за 2020 год

Целью работы является обеспечение конфиденциальности и целостности личных пользовательских данных с применением криптографических алгоритмов. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие алгоритмы шифрования;
- выбрать технологию шифрования;
- подобрать алгоритмы шифрования, которые будут использоваться в разрабатываемой технологии обеспечения конфиденциальности;
- создать математическую модель технологии;
- реализовать систему шифрования;
- реализовать чат с внедрением разрабатываемой технологии.

Основная идея технологии шифрования заключается в использовании существующего асимметричного алгоритма, затем через определенный промежуток времени замена его другим алгоритмом. Разрабатываемая технология шифрования сводит к минимуму вероятность взлома алгоритма, так как используемый алгоритм будет постоянно меняться. До запуска процедуры подбора ключа к алгоритму, необходимо определить, какой из алгоритмов кодировал сообщение. Это увеличит сложность подбора ключа, что ощутимо улучшит защиту личных данных. В качестве рабочих алгоритмов системы выбраны RSA и ElGamal.

Алгоритм шифрования RSA

Название алгоритма получилось путем сложения первых букв фамилий трех его изобретателей – Рона Ривеста, Ади Шамира и Леонарда Эдлмана [6].

Открытый и закрытый ключи являются функциями 2 больших простых чисел. Предполагается, что восстановление открытого текста по шифротексту и открытому ключу эквивалентно разложению на множители двух больших чисел [2]. Для установки ключа необходимо выполнить следующие операции [1]:

- 1) выбрать два случайных простых числа p и q ;

- 2) вычислить N ;
- 3) вычислить $\varphi(N)$;
- 4) выбрать случайное число e ;
- 5) Использовать пару (N, e) в качестве параметров открытого ключа.

Безопасность RSA основана на трудности решения задачи разложения на множители больших чисел [4]. Если задачу такого разложения удалось бы решить, то тогда можно было бы легко вычислить функцию Эйлера от модуля и затем, используя расширенный алгоритм Евклида [6], определить секретный ключ. До настоящего времени не найдены практически реализуемые общие способы решения этой задачи при длине модуля более 2048 бит.

Алгоритм шифрования ElGamal

Эль-Гамаль разработал криптосистему с открытым ключом, использующую однонаправленную функцию Диффи-Хеллмана с секретом [2]. Именно применение задачи Диффи-Хеллмана, неразрешимость которой общепризнанна [3], делает алгоритм ElGamal очень популярным. Считается, что сложность данной задачи эквивалентна сложности задачи о вычислении дискретного логарифма [5].

Чтобы послать секретное сообщение, необходимо действовать в соответствии со следующим алгоритмом [1]:

- 1) выбрать случайное число x' (секретный ключ);
- 2) вычислить значение y' (открытый ключ);
- 3) вычислить значение Z (общий секретный ключ);
- 4) осуществить шифрование сообщения с помощью умножения по модулю p сообщения на общий секретный ключ;
- 5) отправить криптограмму.

Система шифрования

Система шифрования разработана на объектно-ориентированном языке Kotlin, и представляет собой совокупность двух алгоритмов – RSA и ElGamal, а также механизма смены алгоритма. Программный код RSA содержит такие функции, как:

- нахождение наибольшего общего делителя,
- расширенный алгоритм Евклида,
- перевод сообщения в кодировку ASCII,
- генерация простых чисел,
- вычисление закрытого и открытого ключей,
- шифрование и дешифрование.

Программный код ElGamal содержит следующие функции:

- алгоритм Евклида,
- генерация простых чисел,
- быстрое возведение в степень,
- проверка корня на первообразность,
- вычисление ключей,

- перевод сообщения в кодировку ASCII,
- шифрование и дешифрование.

Механизм смены алгоритма представляет собой процедуру, которая один раз в день запускает выбор случайного алгоритма и генерацию ключей.

Чат с внедрением разрабатываемой технологии

Чат разработан с помощью Android Studio на языке Kotlin с использованием нереляционной базы данных Firebase для процесса обмена сообщениями между пользователями. Система шифрования внедрена в чат, для обеспечения ее корректной работы используется локальная база данных.



Рисунок 2 – Диаграмма использования

Оценка криптостойкости

В настоящее время криптостойкость алгоритма RSA с ключом 1024 бит оценивается в $2,7 \cdot 10^{28}$ MIPS, криптостойкость алгоритма ElGamal равна криптостойкости RSA для равной длины ключей. Надежность системы шифрования определяется как произведение криптостойкостей алгоритмов RSA и ElGamal и составляет приблизительно $7,3 \cdot 10^{56}$ MIPS.

Заключение

Данная тема может рассматриваться как перспективное направление, так как в настоящее время большое количество личных пользовательских данных передаются в сети Интернет, что существенно увеличивает риск утечки информации. Дальнейшие исследования разработанной системы шифрования должны быть направлены на практическую оценку ее устойчивости к различного рода атакам и устранение уязвимостей.

Список использованных источников:

1. Брюс Шнайдер Прикладная криптография: протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке С / Шнайдер Брюс. – М.: Триумф, 2002. – 815 с.
2. Венбо Мао Современная криптография: теория и практика / Мао Венбо. – М.: Вильямс, 2005. – 786 с.

3. Ле Ньят Зуи. Оценка стойкости криптосистемы Эль-Гамала / Ньят Зуи Ле. — Текст: непосредственный // Технические науки в России и за рубежом: материалы IV Междунар. науч. конф. – 2015. – С. 14-16.
4. Молдовян Н.А. Введение в криптосистемы с открытым ключом / Н.А. Молдовян, А.А. Молдовян. – М.: БХВ-Петербург, СПб, 2005. – 288 с.
5. Нигель Смарт Криптография / Смарт Нигель. – М.: Техносфера, 2005. – 528 с.
6. Панасенко С.П. Алгоритмы шифрования. Специальный справочник / С.П. Панасенко. – М.: БХВ-Петербург, СПб, 2005. – 576 с.
7. В Telegram заявили, что число пользователей мессенджера за год выросло на треть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/8325985> (дата обращения: 04.11.2020).

УДК 519.688

СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ СВЯЗИ «СТРУКТУРА-АКТИВНОСТЬ», КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗА «SARD-21»

*Валиахметова О.Ю. (ст. преподаватель), Сементеева Л.Ш. (доцент)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Статья рассматривает использование компьютерной системы «SARD-21» для моделирования новых биоактивных соединений с заданными свойствами. Перечисляются процедуры, осуществляемые при исследовании связи между строением химического соединения и его свойствами. Дается пояснение терминам, употребляемым при реализации алгоритма.

Ключевые слова: связь «структура-активность», решающий набор признаков, молекулярное конструирование

STRUCTURE-ACTIVITY COMMUNICATION RESEARCH, DESIGN AND FORECAST SYSTEM «SARD-21»

Valiakhmetova O.Yu., Sementeeva L.Sh.

Annotation. The article considers the use of the computer system "SARD-21" for modeling new bioactive compounds with specified properties. The procedures carried out in the study of the relationship between the structure of a chemical compound and its properties are listed. An explanation of the terms used in the implementation of the algorithm is given.

Keywords: structure-activity relationship, crucial set of features, molecular construction

Компьютерная система SARD-21 предназначена для исследования связи между строением химического соединения и его свойствами, а также для дизайна новых соединений по комплексу свойств. В системе SARD-21

используются следующие математические методы: методы теории распознавания образов, методы теории игр, теории графов [1–4]. Исходной информацией для системы SARD-21 служат данные о строении и свойствах исследуемых химических соединений: молекулярные структурные формулы и результаты биологических испытаний.

Компьютерная системы SARD включает следующие процедуры:

1. Создание специализированной компьютерной базы данных.
2. Представление структур исследуемых соединений на принятом языке описания, т.е. в виде субструктурных дескрипторов - отдельные фрагменты структурных формул химических соединений и/или их сочетания, с помощью которых описываются исследуемые соединения.
3. Оценка информативности (характера влияния на исследуемое свойство) признаков всех уровней.
4. Формирование математической модели распознавания и прогноза (формирование решающего набора признаков). Заключается в поиске и выделении такой совокупности признаков, при использовании которой в алгоритме распознавания достигается оптимальность всей распознающей системы.
5. Оценка сформированной модели производится по числу правильно распознанных структур обучения с использованием двух методов теории распознавания образов – «геометрического подхода» и «голосования признаков», а также структур из экзаменационной серии. За минимальный уровень распознавания обучающей выборки принимается 70% правильно классифицированных по активности соединений. Модели прогноза с распознаванием ниже этого уровня признаются неэффективными и недостоверными.

По результатам распознавания определены четыре типа структурных эталонов. Первый – характеризует свойства соединений из класса активных, второй является эталоном неактивных соединений. Третий тип совмещает свойства противопоставляемых групп. Четвертый тип эталона несет максимум неопределенности и характеризует свойства, максимально отличающиеся от свойств обеих альтернативных групп.

Конструирование (молекулярный дизайн) структур соединений, проявляющих искомую активность, проведено по концепции «осторожного конструирования» [1], что означает конструирование структур, не содержащих или содержащих минимальное количество новых связей.

Модели распознавания и прогноза представляют собой уравнение логического вида

$$A = F(S),$$

где A – активность,

S – решающий набор признаков,

F – алгоритм распознавания образов, по которому производится классификация исследуемых соединений по их активности: геометрический подход и метод «голосования».

При их создании варьируются разнообразные параметры: структурный и количественный состав выборки, критерии отбора решающего набора признаков, разнообразные эвристические пороги, используемые для понижения размерности признакового пространства. Качество полученных результатов оценивается на основании данных, характеризующих процент правильного распознавания активных и неактивных соединений на стадии обучения. Для такого типа задач он должен быть не менее 70 % [1, 3].

При реализации связи структура-активность, при помощи системы *SARD*, используются следующие процедуры и программные модули:

Процедура 1. *Формирование массива обучения (обучающей выборки)*. Он формируется в виде в виде структурного банка данных (программные модули *RIGA, INPUT*).

При формировании массива обучения по каждому исследуемому свойству по алгоритму системы *SARD* для анализа связи структура-активность, формирования модели распознавания биологической активности и дизайна соединений, не проявляющих биологическую активность, предусмотрена дихотомическая процедура разбиения распознаваемых объектов (исследуемых химических соединений) на две группы с альтернативными свойствами (группа «активных» соединений и группа «неактивных» соединений). Основные требования, предъявляемые к массиву обучения: достаточная информативность массива и глубина альтернативы по уровню противопоставляемых свойств; наличие достаточного числа объектов в каждой из альтернативных групп (не менее 20).

Процедура 2. Представление структуры соединения на языке описания, принятом в системе. Эта стадия включает:

- дезагрегирование структур в соответствии с определённым словарём;
- образование сложных фрагментарных субструктур и их логических сочетаний (конъюнкций и дизъюнкций).

На данном этапе происходит представление соединений на языке, пригодном для компьютерной обработки. В качестве формального языка описания соединений используются субструктурные дескрипторы двух типов: фрагментарных и логических признаков. Первые подразделяются на исходные фрагменты (монады) и сложные агрегированные, образующиеся при участии нескольких исходных фрагментов, соединённых между собой химической связью (диады и триады). Исходные дескрипторы представлены отдельными атомами, группами атомов, функциональными группами, типами связи, местом положения заместителей, а также циклическими системами, которые генерируются из более простых фрагментов. Совокупность оригинальных дескрипторов составляет пространство исходных признаков.

Фрагментарные признаки образуются при автоматическом разбиении структурных формул на составляющие их фрагменты в соответствии с заданным словарём, который содержит 100 ациклических фрагментов (словарь *okasdesc.voc*). Число циклических фрагментов связано с наличием определённых циклических систем и не ограничено по их числу [5,6].

Процедура 3. *Оценка информативности всех признаков.* Информативность оценивается по коэффициенту корреляции качественных признаков Юла [7]. Чем выше абсолютное значение информативности, тем больше вероятность влияния данного признака на проявление анализируемого свойства: «+» – положительное, «-» – отрицательное.

Процедура 4. *Формирование модели распознавания – решающего набора признаков (РНП).* Для формирования РНП используется алгоритм сокращения признакового пространства, реализующий три основных принципа:

- максимальной информативности;
- минимальной взаимозависимости признаков [7];
- «оптимального покрытия» объектов.

Принцип «оптимального покрытия» заключается в том, что каждый признак-претендент в РНП должен соответствовать двум условиям:

- распознаваемое число структур «своей» группы соединений («активных» или «неактивных») должно превышать заданный эвристический порог;
- суммарное число признаков (включая рассматриваемый признак-претендент), «узнающих» анализируемую структуру, не должно превышать заданный эвристический порог.

Процедура 5. *Распознавание структур.* Из множества информативных признаков отбирается подмножество (реагирующий набор признаков). С его помощью по двум алгоритмам теории распознавания образов – геометрическому подходу и методу голосования проводится классификация (распознавание) активных и неактивных структур и выбор базовых структур, на основе которых далее конструируются гипотетически активные структуры.

Процедура 6. *Количественная оценка относительных вкладов элементов каждой структуры в проявляемое ею целевое свойство; установление очерёдности (приоритета) замены фрагментов для конструирования новых структур.* Очерёдность замены определяется в соответствии с рабочей гипотезой, согласно которой в первую очередь замене подлежит тот исходный дескриптор (фрагмент), который даже в наиболее благоприятном для него окружении в структуре вносит минимальный вклад в целевое свойство, проявляемое данной структурой. Это соответствует минимаксной стратегии игр, конкретно в данном случае – минимаксному критерию. Выявленные элементы строения базовых структур определяют оптимальные варианты модификации.

Процедура 7. *Конструирование структур с заданным свойством и распознавание их по сформированной модели.* Для молекулярного дизайна можно использовать концепцию «осторожного конструирования». Её реализация включает следующие процедуры [8]:

- определение гипотетических структурных эталонов;
- определение близости (ранга) исследуемых структур к этим эталонам и выявление перспективных базовых структур;
- количественную оценку вкладов элементов структур в исследуемую;
- выявление взаимозаменяемых синтонов, используемых при модификации.

Список использованных источников:

1. Тюрина Л.А., Кадыров Ч.Ш., Симонов В.Д., Семенов В.А. Машинный поиск закономерностей строение - биологическое действие химических соединений. Итоги науки и техники. Сер. органическая химия. //М. ВИНТИ, 1989. -183 с.
2. Poroikov V.V. PASS, a Program for the Prediction of Activity Spectra from Molecular Structure// Newsletter of The QSAR and Modelling Society. – 1997. – №8. – P.12–15.
3. Кадыров Ч.Ш., Тюрина Л.А., Симонов В.Д., Семенов В.А. Машинный поиск химических препаратов с заданными свойствами. – Ташкент:ФАН, 1989.–164 с.
4. Стьюппер Э., Брюггер У., Джурс П. Машинный анализ связи химической структуры и биологической активности / Пер с англ. под ред. Евсеева А.М. – М.: Мир. – 1982. – 253 с.
5. Свидетельство об официальной регистрации базы данных. Структурные характеристики для молекулярной модификации ароматических и гетероциклических соединений с рострегулирующей активностью с учетом токсичности/ Кирлан С. А., Кирлан В.В., Сементеева Л.Ш., Ключарева Е.В., Шорникова Е.Д. (RU).
6. Свидетельство о регистрации в Реестр баз данных № 2011620846 от 29.01.2011. Свидетельство об официальной регистрации базы данных № 2008620015. Структурные характеристики для молекулярного конструирования соединений с противовирусной, утеротонической и противоязвенной активностью / Кирлан С.А., Сементеева Л.Ш., Токунова Э.Ф., Бетелина И.Б., Кантор Е. А., Тюрина Л. А. (RU). Зарегистрировано в Реестре баз данных 09.12.2008. Информационное сообщение.
7. Блазер. - Австрия: Rohn and Haas Gesellschaft M.B.H.- 7 С.
8. Глориезова Т.А, Филимонов Д.А., Лагунин А.А., Поройков В.В. Тестирование компьютерной системы предсказания спектра биологической активности PASS на выборке новых химических соединений// Хим.–фарм. ж. – 1998. – Т.32. – №12. – С.33–39.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Габдрахманова К.Ф. (к.п.н., доцент)

*Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Октябрьском,
г. Октябрьский, Российская Федерация*

Аннотация. В данной статье предлагается методика подготовки студентов технического вуза. В основу методики лежит практико-ориентированное обучение, главным является решение задач прикладного характера, связанный с нефтегазовым делом. Рассматриваются различные методы формирования у студентов моделирования реально процесса в нефтегазовом деле.

Ключевые слова: методика, прикладные задачи, математическое моделирование, профессиональные задачи, деятельностный подход

MATHEMATICAL TRAINING OF STUDENTS OF OIL AND GAS SPECIALTIES

Gabdrakhmanova K.F.

Annotation. This article offers a method of training students of a technical university. The methodology is based on practice-oriented training, the main thing is the solution of applied problems related to the oil and gas business. Various methods of forming students ' modeling of the real process in the oil and gas business are considered.

Keywords: methodology, applied tasks, mathematical modeling, professional tasks, activity approach

При обучении студентов нефтегазового направления, главным является преломления знаний по дисциплине «Математика» и ее прикладная направленность. При изучении лекционного материала, они должны быть достаточно понятны студентам и отражали определенную математическую модель. Рассматриваются на конкретном примере составление математической модели, и задача должна иметь реальную ситуацию [7, 8, 9, 10]. На лекции следует ознакомить студентов с этапами математического моделирования в решении профессиональных задач. Анализ содержания математического образования студентов нефтегазовых специальностей технических вузов свидетельствует, что наиболее эффективной формой реализации профессиональной направленности обучения математике является деятельностный подход. Использование деятельностного подхода позволяет более осмысленное включение в решении профессиональных задач, позволяет определить важность изучаемого материала и реалии будущей их профессии. С нашей точки зрения, является эффективным опережающее обучение, при котором студент должен самостоятельно найти задачи, решаемые в

нефтегазовом деле, смоделировать задачи и представить банк своих задач на защите лабораторных работ. Все лабораторные работы носят практико-ориентированный подход [7, 8, 9, 10]. На практических занятиях наиболее эффективным, на наш взгляд, является сочетание традиционной групповой формы обучения с элементами дифференцированно-индивидуального обучения, когда студенты могут выбрать задачи разного уровня, исходя из своих способностей. В основе моделирования процесса обучения студентов направления «Нефтегазовое дело», важным считаем отбор содержания обучения [1], благодатным является подбор содержания образования разделы: Первым шагом в этом направлении в техническом вузе должен стать отбор «Дифференцирование», «Интегрирование», «Дифференциальные уравнения», «Ряды», «Дифференциальные уравнения в частных производных», «Теория вероятностей и математическая статистика». При изучении материала на лекции, преподаватель показывает подходы к решению задач, затем на практических занятиях, где студенты знакомятся с решением прикладных задач путем составления математических моделей [7, 8]. Для осознанной подготовки будущего специалиста в дисциплине «Математика» является рассмотрение как можно больше примеров, используемых в будущей их профессии, разъяснение прикладного смысла математических понятий, ознакомление с использованием математических знаний и методов в конкретной профессиональной области. В разделе «Дифференциальные уравнения» студенты знакомятся с тем, как используются дифференциальные уравнения, например, в нефтегазовой промышленности, в частности, решаются задачи на составление дифференциальных уравнений следующей тематики: концентрация конденсата; охлаждения тела; химический состав нефти и химические реакции; ионизация газа и его очищение; теплообмен через трубу, колебания струны, теплопроводность и др. Решение этих задач позволяет не только повысить мотивацию обучения, но и выработать у студентов взгляд на математику не как на абстрактную науку, а как на средство изучения технических процессов и явлений и даже окружающего мира, что априори должно быть свойственно будущему инженеру [2, 3, 5, 7, 8, 9, 10]. С нашей точки зрения является важным внедрение использования творческих заданий, где студенты могут предложить свои видения в решении различных задач с профессиональной направленности.

Метод математического моделирования не нов для студентов, они рассматривали этот метод при решении текстовых задач и сейчас они переносят свои знания на конкретную ситуацию.

При обучении математике на лекционных занятиях необходимо целенаправленно по этапам обучать моделированию процесса, чтобы обучение не сводилось только на умения решать определенного класса задач, а именно использовать фундаментальные знания математики на конкретные ситуации. С большим интересом студенты выполняют творческие задания: решения задач нефтегазовой направленности и интересно проходит защита этих работ. Каждый пытается найти такую задачу. Которая бы имела определенную изюминку. Итогом творческих работ студентов является участие в студенческой конференции.

Вывод: использование математического моделирования, в сочетании деятельностного подхода позволяет повысить мотивацию обучающихся при изучении дисциплины «Математика».

Оправдывает себя использование следующих форм обучения: индивидуально-дифференцированного, выполнение творческих, практико-ориентированных заданий; индивидуально-групповых форм проведения практических занятий.

Список использованных источников:

1. Василевская, Е.А. Профессиональная направленность обучения высшей математике студентов технических вузов Текст.: дис. канд. пед. наук / Е. А. Василевская. М, 2000.
2. Львова, В.Д. Историко-педагогический анализ преподавания математики в техническом вузе / В.Д. Львова // Итоговая научная конференция АГПУ: тез. докл. Астрахань: Изд-во АГПУ, 2002. — С. 50.
3. Ованесов, Н.Г. Педагогика математики высшей школы (подготовка учителя) Текст. / Н.Г. Ованесов. Астрахань: Изд-во АГУ, 2003. — 10 с.
4. Письменный, Д.Т. Конспект лекций по высшей математике Текст.: 2 ч./ Д. Т. Письменный. М.: Айрис-пресс, 2005. — 256 с.
5. Рубинштейн, С.Л. Основы общей психологии Текст. / С. Л. Рубинштейн. М., 1989. Shadiev R,D., Turdiyev Sh.R. On questions of particularities of teaching mathematics in technical higher education institutions (HEI). Austrian Journal of Humanities and Social Sciences № 9–10.Vienna, 2014.pp 141–144.
6. Шадиев, Р.Д. Математическая подготовка студентов нефтегазовых специальностей к профессии / Р. Д. Шадиев, Ш. Р. Турдиев. // Педагогика высшей школы. — 2015. — № 3 (3). — С. 48-50.
7. Габдрахманова К.Ф. Дифференциальные уравнения с приложениями к задачам нефтедобычи. Часть 1: учебное пособие, Уфа: УГНТУ, 2016. – 157 с.
8. Габдрахманова К.Ф. Дифференциальные уравнения с приложениями к задачам нефтедобычи. Часть 2: учебное пособие, Уфа: УГНТУ, 2016. – 105 с.
9. Габдрахманова К.Ф. Обработка и анализ экспериментальных данных в нефтегазовом деле. Часть 1: учебное пособие, Уфа: УГНТУ, 2016. – 111 с.
10. Габдрахманова К.Ф. Обработка и анализ экспериментальных данных в нефтегазовом деле. Часть 2: учебное пособие, Уфа: УГНТУ, 2016. – 106 с.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ПО ПОДБОРУ НЕДВИЖИМОСТИ

*Гумерова В.И. (БНИ-18-01), Коледин С.Н. (к.ф.-м.н., доцент)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. На сегодняшний день мобильные технологии развиваются очень стремительно, охватывая почти все сферы нашей жизни, и поиск недвижимости не стал исключением. При этом в современных приложениях отсутствует автоматизированный алгоритм. Разработка алгоритма машинного обучения значительно облегчит процесс выбора недвижимости и сократит трудозатратность поиска.

Ключевые слова: недвижимость, парсинг, веб-скрапинг, база данных, машинное обучение, мобильное приложение

DEVELOPMENT MOBILE APPLICATION USING AN AUTOMATED ALGORITHM FOR THE SELECTION OF REAL ESTATE

Gumerova V.I., Koledin S.N.

Annotation. Today, mobile technologies are developing very rapidly, covering almost all areas of our life, and the search for real estate has become an exception. At the same time, there is no automated algorithm in modern applications. The development of a machine learning algorithm will greatly facilitate the process of choosing a property and reduce the labor cost of searching.

Keywords: real estate, parsing, web-scraping, database, machine learning, mobile application

Введение

В настоящее время все больше людей ищут недвижимость со своих смартфонов или планшетов. Это удобно и быстро, чем и объясняется популярность мобильных сервисов. Среди предложений в «PlayMarket» и «AppStore» представлено множество платных и бесплатных приложений с недвижимостью для Android и IOS. Функционально они разные. Были протестированы такие приложения как «Юла», «Авито», «Циан» и определены следующие их функции:

Таблица 1 – Сравнительная таблица возможностей сервисов

Доступный функционал	Юла	Avito	ЦИАН
Управление группой меток: определение расстояния до ближайших объектов	+	+	-
Вывод вспомогательной информации с переходом на приложение «Карты» для более точного определения местоположения	-	+	-
Получение уведомлений о событиях	-	+	-

Рынок недвижимости в России насчитывает более 60 мобильных приложений по подбору. Если покупателю предстоит поиск недвижимости с нуля, то придется держать в голове большое количество информации, чтобы сравнить понравившиеся варианты. Велик шанс упустить что-то из вида или принять не до конца взвешенное решение.

Целью работы является разработка мобильного приложения, которое объединяет в себе данные, содержащиеся в таких известных приложениях, как «Авито», «Циан» и «Юла».

Веб-парсинг электронных ресурсов недвижимости

На начальном этапе разработки алгоритма машинного обучения необходимо собрать данные с источников, используя регулярные выражения. Практически бесконечное количество информации в сети объясняет факт существования разнообразных инструментов для сбора данных.

Этапы сбора данных:

1. **Кроулер** – это то же самое, что и программы, которые называются поисковыми пауками. Разрабатываются такие программные продукты специально для работы в системах поиска. Их действие основано на том, чтобы обходить различные ресурсы в интернете и добавлять новые странички и сайты в свой список [1].

2. **Веб-скрапинг** – это технология получения веб-данных путем извлечения их со страниц веб-ресурсов. В процессе скрапинга компьютер отправляет запрос, в ответ на который получает HTML-документ. После этого начинается этап парсинга. Здесь уже можно сосредоточиться только на тех данных, которые нужны. В этом материале используем такие библиотеки, как BeautifulSoup, lxml и Requests. Разберем их [2].

3. **Парсинг** – это процесс сопоставления и проверки строковых данных с определённым шаблоном, или правилами [3].

4. **Размещение данных** в СУБД PostgreSQL.

Реализация происходит на языке программирования Python 3 с использованием библиотек для работы с данными и их извлечением Re, Selenium, BeautifulSoup, psycopg2, csv и т.д.

После извлечения данные были занесены в базу.

ID	link	price	square_house	sqm	data	type_house	dege	count_photo	count_favorites	count_views	count_bedrooms	count_floor	material_house
[PK] uid	text	text	text	text	text	text	text	text	text	text	text	text	text
1	8f4eafac-dc5...	https://...	3300000	85.0	[null]	12.05...	Дом	[null]	34	2	20	0	0
2	6e0632a9-2c...	https://...	1500000	74.0	[null]	12.05...	Дом	[null]	8	1	14	0	0
3	f73a239f-54...	https://...	2293000	104.0	[null]	05.05...	Дом	[null]	15	25	1552	2	0
4	1013012e-56...	https://...	11900000	274.0	[null]	12.05...	Дом	[null]	15	0	8	0	0
5	02217b54-7e...	https://...	5100000	170.0	[null]	12.05...	Дом	[null]	20	46	3160	4	0
6	61b7192f-17...	https://...	3950000	99.0	[null]	11.05...	Дом	[null]	21	0	13	0	0
7	89ea7810-0a...	https://...	7450000	200.0	[null]	11.05...	Дом	[null]	7	0	30	0	0
8	ed0975ab-b3...	https://...	650000	46.0	[null]	03.05...	Дом	[null]	7	35	2399	1	0
9	24ebb064-28...	https://...	2700000	100.0	[null]	28.04...	Дом	[null]	13	14	1336	2	0
10	77957334-02...	https://...	300000	79.0	[null]	18.04...	Дом	[null]	6	65	2215	2	0
11	f7b3c418-88...	https://...	500000	80.0	[null]	12.05...	Дом	[null]	20	52	1607	3	0
12	d18395fe-3e...	https://...	970000	45.0	[null]	22.04...	Дом	[null]	6	29	1025	2	0
13	96ad32a5-3c...	https://...	2700000	98.0	[null]	01.05...	Дом	[null]	10	22	2705	2	0
14	d3ba1e72-88...	https://...	300000	50.0	[null]	07.05...	Дом	[null]	4	34	3566	2	0

Рисунок 1 – База данных недвижимости

Перед началом работы с данными, необходимо перенести их из базы в формат «csv».

CSV — текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных. Строка таблицы соответствует строке текста, которая содержит одно или несколько полей, разделенных запятыми [4].

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	ID	link	price	square_house	data_type_house	dege	count_photo	count_favorites	count_views	count_bedrooms	count_floor	material_house	sale									
2	2865fa6c-d5fe-4ef0-8941-4258a0922905	https://youla.ru/ufa/	3300000	85.0	12.05.2021	Дом	34	2	20	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	729a0280-920a-40d2-9715-b7d2ef26db5	https://youla.ru/ufa/	1500000	74.0	12.05.2021	Дом	8	1	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	1227d886-2aee-41a5-ae0f-b1c8bc19c366	https://youla.ru/ufa/	2293000	104.0	05.05.2021	Дом	15	25	1552	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	29a6473d-1700-46d2-a47d-e1d4b9f98d07	https://youla.ru/ufa/	11900000	274.0	12.05.2021	Дом	15	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	01d83151-e2a6-4af1-961c-019bda061a01	https://youla.ru/ufa/	5100000	170.0	12.05.2021	Дом	20	46	3160	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	e3159520-4f3a-4558-8125-8031a6c98f28	https://youla.ru/ufa/	3950000	99.0	11.05.2021	Дом	21	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	799ad1da-3e52-4372-bea7-91e7edc6317	https://youla.ru/ufa/	7450000	200.0	11.05.2021	Дом	7	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	1fa430ab-779a-45fa-8b43-6fab97265479	https://youla.ru/ufa/	650000	46.0	03.05.2021	Дом	7	35	2399	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	07236bc2-9cd7-4a0d-ae4f-60b8b3852c19	https://youla.ru/ufa/	2700000	100.0	28.04.2021	Дом	13	14	1336	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	8e01d754-37a7-4ef9-938a-877c9c4299d6	https://youla.ru/ufa/	300000	79.0	18.04.2021	Дом	6	65	2215	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	cce09a4f-b407-40c9-80e7-ec493782adcf	https://youla.ru/ufa/	500000	80.0	12.05.2021	Дом	20	52	1607	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	92ba23f8-339c-4a12-8887-bce4da56ba0f	https://youla.ru/ufa/	970000	45.0	22.04.2021	Дом	6	29	1025	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	98f461c-5ecf-42e0-be79-405d4a8795d8	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	e640921c-543d-44e7-b8f9-d01171aeb1b7	https://youla.ru/ufa/	300000	50.0	07.05.2021	Дом	4	34	3566	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	3f9a3674-f0db-404d-83aa-4846c766bea3	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	bbb9974a-1ad5-4add-d1c1-b565397fbb46	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	3d598f30-b4e1-477c-9752-27d74ee8ff6b	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	c39e1e34-4883-4cd2-b97f-c72c0b11b002	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	dc1ba07f-86c3-4685-9377-c9ed45a0a35	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	b2ca3711-fa09-4579-973a-c494ad19c36f	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	90f6084a-12bd-4b01-afca-a69a187ef9c9	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	5e325eed-e286-4197-bdef-68f3af6f622	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	b3353f11-2bdd-41dc-9498-eeaaead6c194	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	3ed894c8-513a-4620-a3e-003f5de672b8	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	3b3242c0-5483-49e9-8a9b-2eadd84c394d	https://youla.ru/ufa/	2700000	98.0	01.05.2021	Дом	10	22	2705	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 2 – Формат данных в «.csv»

Анализ данных

Анализ данных – это процесс оценки данных с использованием аналитических и статистических инструментов для обнаружения полезной информации [1].

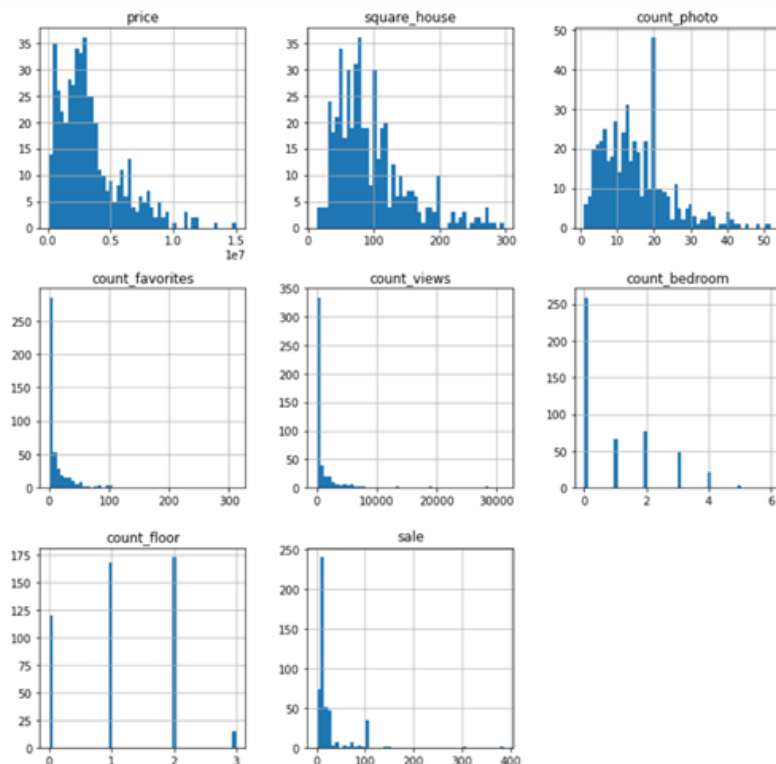


Рисунок 3 – Распределение данных по выбранным признакам

- 1 — количество недвижимости в зависимости от цены;
- 2 — количество недвижимости в зависимости от площади;
- 3 — количество недвижимости в зависимости от размещенных фото;
- 4 — избранное;
- 5 — количество просмотров;
- 6 — количество спален;
- 7 —этажность;
- 8 — время размещения объявления.

Далее данные были сгруппированы по исследуемым признакам. На рисунке 4 приведен пример зависимости цены от площади дома. Из ниже размещенного графика можно сделать вывод: с увеличением площади дома увеличивается его стоимость. Зависимость не строго линейная. Существуют аномалии, в которых при большой площади дома стоимость жилья низкая, и наоборот, при малой площади, непропорционально высокая стоимость представленного жилья. Вероятно, в первом случае возможны срочные продажи, а во втором значительный торг при осуществлении сделки.

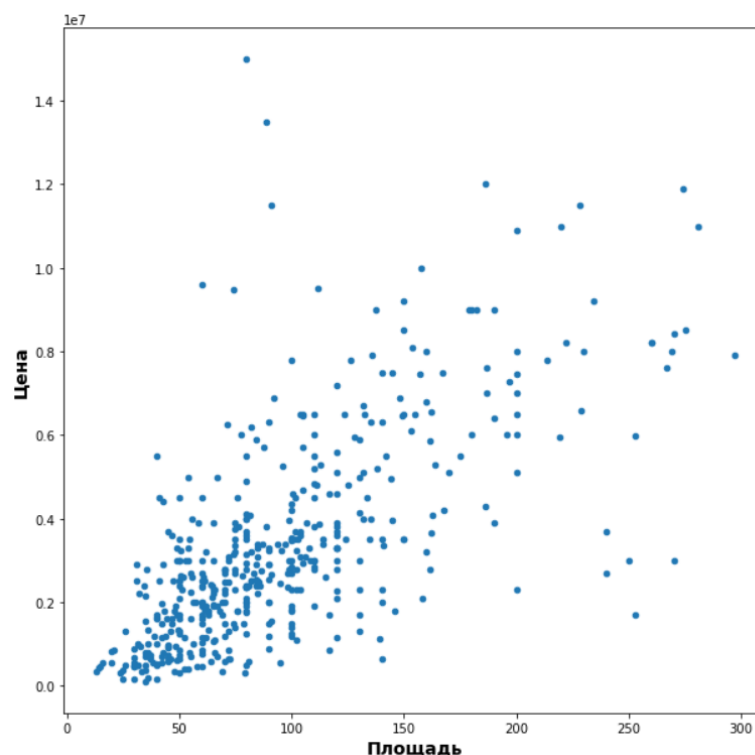


Рисунок 4 – Зависимость цены от площади дома

Корреляционная матрица– это квадратная таблица, заголовками строк и столбцов которой являются обрабатываемые переменные. На пересечении строк и столбцов выводится коэффициент корреляции для соответствующей пары признаков. Если две величины связаны между собой, то между ними есть корреляция.

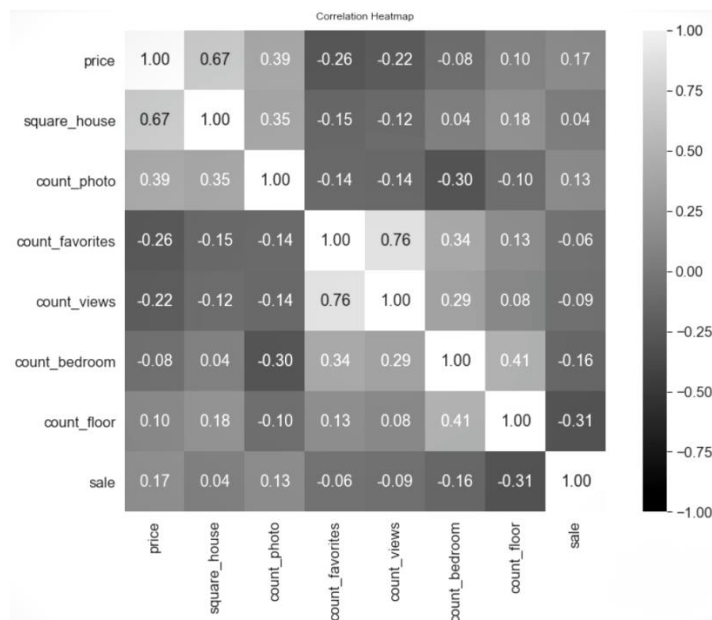


Рисунок 5 – Корреляционная матрица связи признаков

Заключение

В процессе извлечения данных и их анализа можно сделать следующие выводы.

Зависимость цены от других характеристик:

- Зависимость от площади дома составила 67%;
- Зависимость от количества фото составила 39%;
- Зависимость от этажности составила 10%;
- Зависимость от количества спален составила 8%;
- Зависимость от количества просмотров составила 22%;
- Зависимость от количества «избранных» составила 26%;
- Зависимость от срока размещения объявления составила 17%.

Далее планируется на основе алгоритмов машинного обучения по представленным признакам создать клиентское приложение определения стоимости жилья.

Список использованных источников:

1. Парсинг html-сайтов с помощью PHP, Ruby, Python // Электронный ресурс UR: <http://parsing.valemak.com/ru/what-why-how/> (дата обращения: 10.04.2021).
2. Регулярные выражения // Электронный ресурс UR: https://ru.wikibooks.org/wiki/Регулярные_выражения (дата обращения: 05.04.2021).
3. CSV // Электронный ресурс UR: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV> (дата обращения: 05.04.2021).
4. Краковецкий А. Подходы к извлечению данных из веб-ресурсов // Электронный ресурс UR: <https://habrahabr.ru/post/99918/> (дата обращения: 09.04.2021).

УДК 339.97

МОДЕЛЬ ХАРРОДА-ДОМАРА КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ

Девликамова Г.В. (к.э.н., доцент)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Российские нефтяные компании участвуют во многих проектах с привлечением иностранных инвестиций. Существует макроэкономическая модель Харрода–Домара. Предлагается использовать ее в условиях нефтяной отрасли. Это позволит количественно оценить чувствительность российской нефтяной отрасли к иностранным инвестициям.

Ключевые слова: иностранные инвестиции, нефтяная отрасль, модель Харрода-Домара, экономический рост

THE HARROD - DOMAR'S MODEL AS THE TOOL OF THE INVESTMENT ANALYSIS IN PETROLEUM INDUSTRY

Devlikamova G.V.

Annotation. Russian oil companies participate in many projects involving foreign investment. There is a macroeconomic Harrod-Domar's model of economic growth. It is proposed to use this model in the conditions of oil industry. This will allow us to quantify the sensitivity of the oil industry to foreign investment.

Keywords: the foreign investment, oil industry, Harrod-Domar's model, economic growth

Российские нефтяные компании осуществляют свою деятельность в РФ с привлечением не только российского, но и иностранного капитала для проектов разработки нефтяных и газовых месторождений, строительства новых, реконструкции и модернизации, имеющих нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Примерами могут служить совместные проекты разведки залежей углеводородов в Охотском и Черном морях, разработки нефтегазовых месторождений арктического шельфа в Баренцевом море, на Сахалине. Подобные проекты требуют привлечения из-за рубежа очень больших объемов инвестиций, самых современных технологий разведки залежей нефти и газа (сейсмика, геофизика), опытного высококвалифицированного персонала.

Но насколько чувствительна эффективность проектов к привлечению для их осуществления помимо инвестиций российского происхождения еще и иностранных инвестиций? Каково их влияние на экономический рост российской нефтяной отрасли при исполнении инвестиционных проектов на российской территории? Эту задачу можно попытаться решить следующим образом.

Известные методы оценки экономической эффективности инвестиционных проектов не предполагают деления инвестиций на отечественные и иностранные. Но в теории макроэкономического анализа существует модель экономического роста Харрода - Домара, предназначенная для оценки чувствительности экономики страны в целом и темпов экономического роста к вложениям иностранных инвестиций.

Экономической науке на уровне макроэкономики известны достаточно специальные показатели оценки чувствительности экономики страны к вложениям зарубежных инвестиций, такие как акселератор Р.Ф. Харрода и мультипликатор Е. Домара [1, 2, 3, 5, 8, 9].

Совершим краткий экскурс в историю создания данных акселератора и мультипликатора. Тридцатые и сороковые годы XX века можно охарактеризовать как период Великого Кризиса в США, предвоенный и послевоенный период в Европе. Европа переживает разруху, небывалый экономический спад, потребность в инвестициях. США готовы предложить необходимый капитал, но на определенных условиях. Каковы должны быть условия экономического возрождения, реиндустриализации и дальнейшего

экономического роста? Кейнсианский подход, примененный в США, не соответствовал жесточайшим условиям существования Западной Европы послевоенного времени. Необходим «большой толчок» (т. н. big push) росту национальных экономик европейских стран. Но он невозможен без иностранных инвестиций, поскольку достаточных внутренних финансовых средств у стран Западной Европы пока не имеется. Зато в некотором избытке имеются трудовые ресурсы при относительно постоянном уровне цен на продукцию.

Следовательно, величина национального дохода страны будет чувствительна и эластична по отношению именно к изменениям величины капиталовложений в экономику и, прежде всего иностранных.

Европейскими экономистами Роем Форбсом Харродом и Евси Домаром были проведены исследования, на основе которых они самостоятельно друг от друга пришли к следующим выводам. Экономический рост в стране невозможен без очень больших вложений инвестиций, объем которых, по мнению Р.Ф.Харрода и Е.Домара, должен составлять 12 – 15% величины национального дохода. Именно инвестиции позволяют модернизировать экономику и обеспечить ее самоподдерживающийся рост.

Р.Ф.Харрод и Е.Домар выделили следующие показатели роста экономики:

- Гарантированный рост экономики, возможный при равенстве спроса и предложения и полном использовании производственных мощностей.
- Фактический рост экономики.
- Естественный рост экономики, который соответствует полной занятости населения и полному использованию производственных мощностей.

Необходимые для самоподдерживающегося роста экономики инвестиции должны соответствовать гарантированному росту. Тогда спрос равен предложению. Экономический подъем в стране начинается при соотношении величин: гарантированный рост < естественный рост < фактический рост. При равенстве естественного, фактического и гарантированного ростов достигается идеальное развитие экономики.

Принято объединять результаты исследований Р.Ф.Харрода и Е.Домара в единую модель Харрода-Домара (Harrod-Domar growth model), в которой целевыми показателями являются акселератор экономического роста страны и мультипликатор инвестиций.

Данная модель Харрода-Домара может стать интересным экономическим инструментом экономического анализа инвестиционной деятельности в ТЭК, что показано в работе. В экономической литературе не имеется сведений, что она применялась по отношению к деятельности отдельных отраслей экономики.

Модель Харрода-Домара может быть трансформирована в последовательность действий экономико-статистического анализа возможностей и последствий привлечения зарубежного инвестирования в нефтегазовую отрасль. В основу данного методического подхода заложено определение темпов роста прибыли отрасли, российских и зарубежных

инвестиций, эластичности (или чувствительности) прибыли к изменению величины иностранных инвестиций.

Целевые показатели акселератора и мультипликатора рассчитывают исходя из величин ежегодной прибыли нефтяной компании, объемов российских и иностранных инвестиций. Величины акселератора Р.Ф.Харрода и мультипликатора Е.Домара позволят сделать выводы о возможности и необходимости привлечения российской нефтяной отрасли зарубежных инвестиций для исполнения дорогостоящих проектов.

Порядок расчета меры чувствительности доходности отрасли к вложениям иностранного капитала представляет собой следующую последовательность действий.

Исходными данными для расчета являются показатели разных сегментов отрасли – внутрироссийские и иностранные: динамика прибыли разных сегментов и динамика объемов инвестиций по типам источников.

Далее рассчитываются величины составляющих модели Харрода - Домара за изучаемый период:

- прирост прибыли, приходящийся на единицу осуществленных нефтяной в отрасли инвестиций, ден. ед.,
- доля иностранных инвестиций в общем годовом объеме инвестиций нефтяной отрасли, %,
- относительный прирост прибыли нефтяной отрасли, приходящийся на единицу осуществленных инвестиций, %,
- темп роста и прироста прибыли нефтяной отрасли, %.

Акселератор модели Р.Ф.Харрода имеет следующую форму:

$$V_t = \frac{\frac{\Delta I_t}{\Delta D_t}}{D_{t-1}}, \text{ д. ед.} \quad (1)$$

Мультипликатор инвестиций модели Е.Домара:

$$W_t = \frac{(KO_t^{\text{иностран}} - KO_t^{\text{внутр}}) * \Delta n_t}{T_p * m_t}, \text{ д. ед.} \quad (2)$$

где

$$KO_t = \frac{\Delta D_t}{I_t}, \text{ руб./руб.} - \text{прирост прибыли в } t\text{-ом году, приходящийся на}$$

единицу осуществленных в нефтяной отрасли инвестиций,

$$n_t = \frac{KO_t^{\text{иностран}} - KO_t^{\text{внутр}}}{KO_t^{\text{иностран}}} = 100\% - \frac{KO_t^{\text{внутр}}}{KO_t^{\text{иностран}}}, \% - \text{относительный}$$

прирост прибыли нефтяной компании, приходящийся на единицу осуществленных инвестиций в t-ом году,

$$m_t = \frac{I_t}{\Delta D_t}, \text{ руб./руб. - величина, обратная отношению прироста}$$

прибыли, приходящемуся на единицу осуществленных инвестиций,

D_t - доход отрасли в t -ом году,

T_p^t и $T_{прир}^t$ - темпы роста и прироста прибыли в t -ом году соответственно.

Экономическая интерпретация полученных результатов расчетов будет следующей. Если темпы прироста прибыли нефтяной отрасли T_p^t стабильно положительны и наблюдается ее рост, а также стабильно сохраняется соотношение $KO_t^{инвест} > KO_t^{внутр} > 0$, то иностранные инвестиции эффективны и доходность деятельности отрасли положительно реагирует на их привлечение.

Попытка применить данные акселератор и мультипликатор к инвестиционной деятельности в нефтяной отрасли показала вполне адекватные результаты [3].

Экономическая интерпретация результатов расчетов по модели такова. Высокие положительные значения акселератора Р.Ф. Харрода и положительное значение мультипликатора Е. Домара отражают наличие экономического роста компании и достаточную эффективность иностранных инвестиций.

В ином случае государство должно пересмотреть свою инвестиционную политику в нефтяной отрасли, взаимоотношения с иностранными соинвесторами, способы привлечения капитала, и в том числе объемы и направления его использования.

Список использованных источников:

1. [www//wikipedia.org/Модель Домара – Харрода](http://www.wikipedia.org/Модель Домара – Харрода).
2. Блауг М. Надежный урок экономической методологии// www.igiti.hse.ru
3. Девликамова Г.В., Карнаухов Р.А., Муртазина Д. Оценка влияния иностранных инвестиций на экономику РФ, включая ТЭК/Сборник науч. трудов по материалам II Международной науч.- практ. конф. «Проблемы и тенденции развития инновационной экономики: международный опыт и российская практика». – Уфа: УГНТУ, «Нефтегазовое дело», 2015. – С. 90 – 92.
4. Ивасенко А.Г., Никонова Я.И. Иностранные инвестиции. – М.: «Кнорус», 2013.
5. Кожухар В.М. Практикум по иностранным инвестициям. – М.: «Дашков и К», 2007.
6. Маневич В.Е., Николаев Л.К., Овсиенко В.В. Теория экономической динамики Харрода и анализ роста экономики. - М.: ЦЭМИ, РАН, 2008.
7. Пивоваров С.Э., Тарасевич Л.С. Международный менеджмент. – СПб: «Питер», 2008
8. Харрод Р.Ф. К теории экономической динамики: новые выводы экономической теории и их применение в экономической политике. – М.: «Гелиос», «АРВ», 2011.
9. Харрод Р.Ф. Теория экономической динамики. М.: ЦЭМИ, РАН, 2008.
10. Хилл Ч. Международный бизнес. – СПб.: «Питер», 2013.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ В НАЛОГОВОМ АНАЛИЗЕ

Девликамова Г.В. (к.э.н., доцент)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Статья содержит результаты поиска механизма разделения промышленных предприятий на два подмножества. Это благополучные и кризисные предприятия с точки зрения фискальной нагрузки. Основная задача – определение параметров «решающей» функции, разделяющей пространство объектов. Для решения использованы подходы теории распознавания образов. Образами выступают предприятия, которые распределяются по классам в соответствии с эталонными значениями показателей, заложенных в основу разделения.

Ключевые слова: промышленное предприятие, теория распознавания образов, налоговая нагрузка, решающая функция, линия, гиперплоскость

PATTERN RECOGNITION THEORY IN THE TAX ANALYSIS

Devlikamova G.V.

Annotation. The article contains the results of search of mechanism of dividing businesses into two subsets. There are successful and crisis enterprises from the point of view of tax burden. The task is to determine the parameters of the decision function. Images recognition methods are used for the purpose.

Keywords: industrial enterprises, pattern recognition theory, tax burden, fiscal debt, decision function

Задачей настоящего исследования является разработка механизма классификации предприятий на два класса – благополучные и кризисные с точки зрения фискальной нагрузки на разные показатели [1, 2, 3]. Разделение множества осуществляется с помощью математического уравнения для многомерного пространства, в котором параметрами выступают ансамбли определенных признаков: коэффициентов налоговой нагрузки, фискальной задолженности, экономических показателей. Графическое изображение функции позволяет визуализировать решение. Таким образом, следует определить математическое уравнение функции, которая разделит множество изучаемых предприятий на два класса по степени экономического и фискального благополучия на благополучные и кризисные.

Подобная функция называется «решающей». Решение этой задачи возможно с помощью теории распознавания образов и кластерного анализа, в частности подходов, изложенных в работах Дж.Т.Ту и Р.К.Гонсалеса [5], Я.А.Фомина [6]. Использовалось распознавание образов «с обучением», поскольку заранее не было известно, какие предприятия

Исходная ситуация такова: существует множество промышленных предприятий нефтегазодобывающей отрасли. Это объекты исследования. Изучаемые предприятия отображаются точками в n-мерном пространстве. Координатами точек выступают показатели налоговой нагрузки и иные экономические показатели. Размеры показателей количественно отражают благополучие или экономический кризис на предприятии. В этом n-мерном пространстве требуется выделить две области – благополучную и кризисную. Предприятия, попадающие в ту или иную области, формируют два подмножества. В каждом из них выбираются однозначно благополучные или однозначно кризисные предприятия, принимаемые за эталон своего подмножества.

Пространство объектов разделяется на две части математическим уравнением $d(x)$, в котором переменными выступают отобранные экономические показатели. Эта граница является порогом между подмножествами предприятий. По своему содержанию это совокупность точек, равноудаленных от координат своих эталонов.

Далее вычисляются параметры математического уравнения:

$$d(x) = w_1 * x_1 + w_2 * x_2 + \dots + w_n * x_n = w_{onm} * x + w_n + 1 = 0,$$

где: $w_n = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ - весовой вектор.

Графически результаты вышеописанных действий изобразим на рис. 1 и

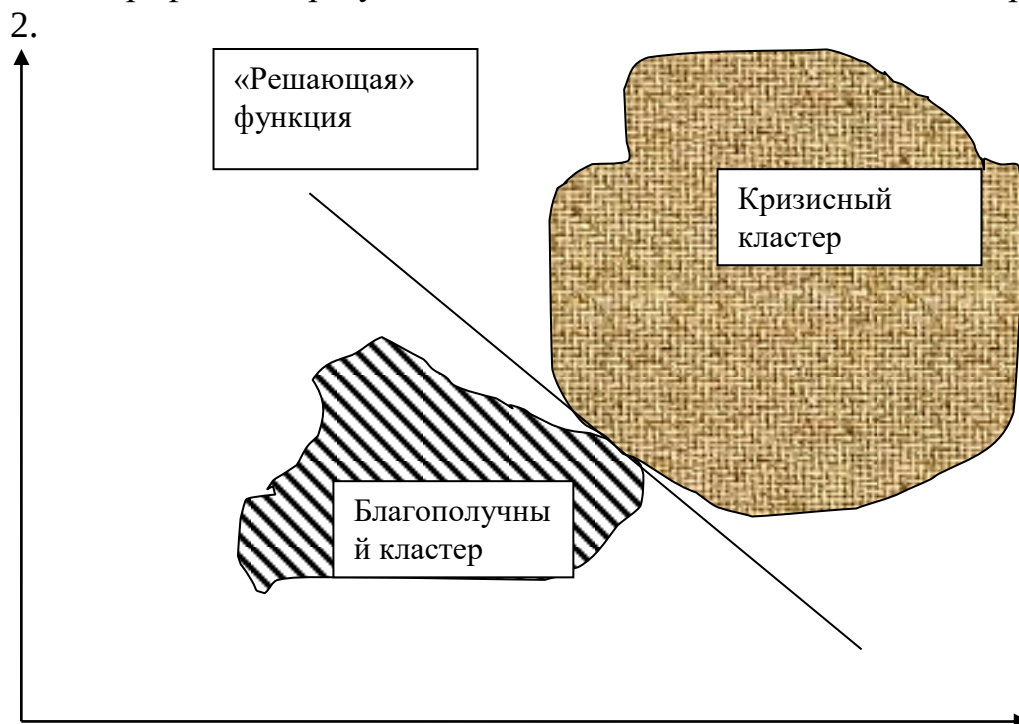


Рисунок 1 – График «решающей» функции и двух кластеров объектов в двухмерном пространстве

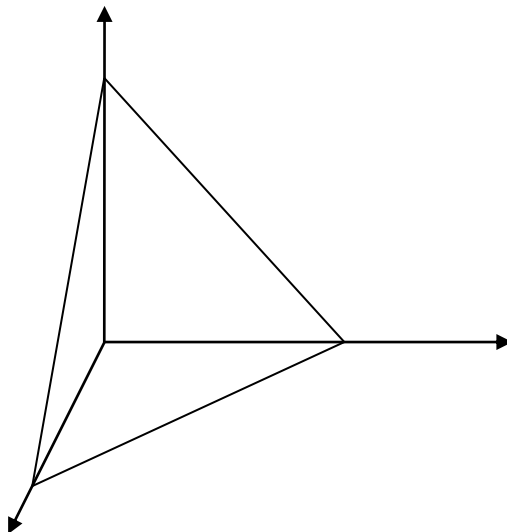


Рисунок 2 – График гиперплоскости «решающей» функции и двух кластеров объектов в трехмерном пространстве

Таким образом, искомая «решающая» функция определяется в нескольких этапах:

- 1 этап – отбираются промышленные предприятия для изучения,
- 2 этап – образуется n -мерное пространство, состоящее из значений отобранных показателей налоговой нагрузки,
- 3 этап – из всего множества предприятий выделяются «эталоны» благополучного и кризисного подмножества,
- 4 этап – «обучение» распознающей системы разделению объектов на подмножества исходя из эталонных значений признаков,
- 5 этап – оценка достоверности распознавания образов на основе гарантированной вероятности отнесения образов к соответствующему подмножеству, классу предприятий, обозначаемой D и коэффициента правдоподобия L ,
- 6 этап – определение параметров математического уравнения и графическое представление «решающей» функции.

В двумерном пространстве «решающая» функция имеет вид уравнения линии. В трехмерном пространстве требуется определить уравнения трех линий, которые определяют гиперплоскость, разделяющую пространство на два подмножества.

В качестве центральных показателей в анализе были выбраны коэффициенты воздействия фискальной задолженности на выручку-нетто и налоговую нагрузку. Они были рассчитаны для группы предприятий, находящихся в разном экономическом положении и, прежде всего, с точки зрения расчетов с бюджетом. Далее было определено, какие значения характерны для благополучного положения с уплатой налогов, а какие – для кризисного (неблагополучного). Решение осуществлялось для двух временных периодов. Ситуация на предприятиях складывалась «Благополучное», «Кризис» и «Флуктуация». «Флуктуация» означает, что объект изучения находился в промежуточном положении и переходил из одного подмножества в другое.

В итоге были рассчитаны «решающие» функции для двухмерного и трехмерного пространств, математические функции линии и гиперплоскости. Они представлены в таблице 1. В таблице 2 представлены результаты расчетов возможности кризисного состояния в нефтегазодобыче и отражающие его расчетные показатели для трехмерного пространства признаков.

Таблица 1 – Результаты расчетов «решающих» функций для множества изучаемых предприятий

Ансамбли признаков	«Решающие» функции
Двухмерное признаковое пространство	
$\PhiЗв(x1), ННв(x2)$	$D(x) = -22,24x1 - 8,38x2 + 592,53$
Трехмерное признаковое пространство	
$\PhiЗ(x1), \PhiЗнн(x2), ННв(x3)$	$D(x) = -22,24x1 - 65,83x2 - 8,38x3 + 3349,81$

Таблица 2 - Результаты расчетов возможности кризисного состояния в нефтегазодобыче

Отрасли	Нефтегазодобыча		
Годы	3 показателя		Состояние предприятия
	Коэффициент правдоподобия L	Гарантированная вероятность D	
	$\PhiЗв, \PhiЗнн, ННв$		
1.	...		Флуктуация
2.	-574,73	1,0	Кризис
3.	-1921,05	1,0	Кризис
4.	-2303,59	1,0	Кризис
5.	-3174,26	1,0	Флуктуация
6.	-1002,7	1,0	Благополучное
7.	2106,35	1,0	Флуктуация
Среднее за период	-1089,79	1,0	Благополучное
8.	2581,09	1,0	Благополучное
9.	2666,45	1,0	Благополучное
10.	2348,03	1,0	Благополучное
11.	2621,83	1,0	...
12.	2574,09	1,0	Благополучное
13.	2513,22	1,0	Благополучное
14.	...	1,0	Благополучное
Среднее за период	2618,61	1,0	Флуктуация

где: $\PhiЗв$ – нагрузка фискальной задолженности на выручку предприятия, $\PhiЗнн$ – коэффициент воздействия фискальной задолженности на налоговую нагрузку, $ННв$ – налоговая нагрузка на выручку.

На рисунке 3 показана линия «решающей» функции, разделяющая пространство на два подмножества.



Рисунок 3 - Решающая функция $d(x) = -22,24x_1 - 8,38x_2 + 592,53$

Таким образом, поставленная для исследования задача решена. Показано, что методы распознавания образов позволяют решать проблемы анализа налогообложения и показывают весьма практичные результаты.

Список использованных источников:

1. Девликамова Г.В., Малышев Ю.М. Экспресс-анализ налоговой нагрузки предприятий топливно-энергетического комплекса//Нефтяное хозяйство. - 2000. - № 12. - С.43-45.
2. Девликамова Г.В. Анализ фискальной задолженности предприятия топливно-энергетического комплекса как элемент налогового анализа//Нефтяное хозяйство. - 2001. - N 12. - С.24-27.
3. Девликамова Г.В. Воздействие фискальной задолженности предприятия как проявление налоговой нагрузки//Нефтяное хозяйство. – 2005. – №12. – С.16-19.
4. Метод k-средних//wikipedia.ru.
5. Ту Дж., Гонсалес Р.К. Принципы распознавания образов/Пер. с англ. – М.: Мир, 1978.
6. Фомин Я.А. Диагностика кризисного состояния предприятия. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003.
7. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов. – М.: Наука, 1979.
8. Янке Е., Эмде Ф. Таблицы функций с формулами и кривыми. – М., Л.: ГИТТЛ, 1949.

ВИЗУАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РАБОТЫ С БОЛЬШИМИ ДАННЫМИ

*Зиннатуллин В.Ф. (БНИ-19-01), Коледин С.Н. (к.ф.-м.н., доцент)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. При работе с интернетом зачастую требуется получение большого количества данных и их анализа. Это требует использования специального программного обеспечения и соответствующих навыков. Предлагается разработать простое в освоении и удобное в эксплуатации программное обеспечение для получения, анализа и обработки больших данных с веб-сайтов в виде визуального языка программирования. В работе предложен новый инструмент для получения и обработки больших данных в виде визуального языка программирования с целевым функционалом для web-парсинга, анализа данных, построения графиков.

Ключевые слова: визуальное программирование, язык программирования, большие данные, web-парсинг, анализ данных

VISUAL PROGRAMMING LANGUAGE AS A TOOL FOR WORKING WITH BIG DATA

Zinnatullin V.F., Koledin S.N.

Annotation. When working in Internet, it is often required to obtain a large amount of data and analyze it. This requires using special software and appropriate skills. It is proposed to develop an easy-to-learn and easy-to-use software for receiving, analyzing and processing big data from websites in the form of a visual programming language. The paper proposes a new tool for obtaining and processing big data in the form of a visual programming language with target functionality for web parsing, data analysis, and graphing.

Keywords: visual programming, programming language, big data, web parsing, data analysis

Введение

В современном мире происходит значительный переход от оффлайн к онлайн взаимодействию: вместо традиционного образования большую долю начинает занимать дистанционный формат (Coursera, Khan Academy), телевидение (каналы по Интернет подписке), банковское обслуживание (вклады, кредиты), торговля (интернет-торговля, доставка). Эффективно взаимодействовать в такой реальности могут только технически подготовленные люди, научные работники, банковские служащие. То есть те, для кого это является основным видом деятельности. Значительная часть общества исключена из процесса и испытывает трудности (традиционные

походы в магазины и покупка товаров по заведомо невыгодным ценам, банковское мошенничество и др.).

Необходимо отметить, что наиболее эффективным будет данное взаимодействие, если будут применяться подходы для работы с большими данными. Действительно, информация которую пользователь получает в интернет очень массивна. Необходимо проводить анализ этой информации и выбирать наилучшее решение. Например, стоимость конкретного товара и услуги, наличие/отсутствие акций на товары, информация о конкретном человеке (контрагенте), его кредитная история, история автомобиля на вторичном рынке.

На сегодняшний момент практически всю эту информацию можно получить из открытых источников, но необходимо проводить web-парсинг. Задача является трудоемкой и требующей навыка программирования выше среднего [1]. Наличие простого, эффективного, недорогого программного продукта с широким функционалом, реализующего web-парсинг, анализ больших данных, прогнозирование, визуализацию информации, со сложностью освоения не превышающего офисные программы (Word, Excel) позволит значительно увеличить круг пользователей при работе с большими данными. Это, в перспективе, позволит снизить бытовые затраты на удовлетворение базовых потребностей.

В данной работе разработано простое в освоении и удобное в эксплуатации программное обеспечение для получения, анализа и обработки больших данных с веб-сайтов.

Визуальный язык программирования

Визуальное программирование — способ создания программы для ЭВМ путём манипулирования графическими объектами вместо написания её текста. Некоторые авторы представляют визуальное программирование как следующий этап развития языков программирования (следующее поколение) [2-4].

Визуальные языки программирования менее распространенные, чем классические текстовые. Их чаще используют в образовательных целях (Scratch [5, 6]) или в узконаправленных задачах (ShaderGraph Unity [7], Blueprint [8]) в которых они показывают себя лучше, чем полноценные языки (C++, Python и т.д.).

Сбор и обработка больших данных является узконаправленной задачей, поэтому конечной формой программного продукта был выбран визуальный язык программирования.

Реализация

Разработка самой программы проходит в несколько этапов:

- 1) Разработка классического языка программирования
- 2) Создание интерпретатора для ранее созданного языка
- 3) Разработка визуального языка программирования

4) Создания транслятора, который будет переводить визуальный код в классический.

Благодаря такому подходу создания программного обеспечения у конечного пользователя будет выбор: использовать визуальное программирование или классическое.

Пользователь на выходе получает программное обеспечение (интерпретатор языка программирования, написанный на языке C# [9]) с пользовательским интерфейсом на базе Windows Forms. А также дополнительное ПО для визуального программирования в среде разработки Unity [10]. Визуальное программирование будет представлять собой функциональные блоки, соединяя которые можно получать разные алгоритмы. После составления требуемого алгоритма его можно будет превратить в код, который уже будет выполнять интерпретатор. Язык программирования будет включать функции: web-парсинга, работы с файлами, работы с таблицами (Excel), pdf документами, инструменты статистики (построение графиков).

На данный момент разработан синтаксис языка программирования, а также интерпретатор к нему. Реализована основная часть функционала.

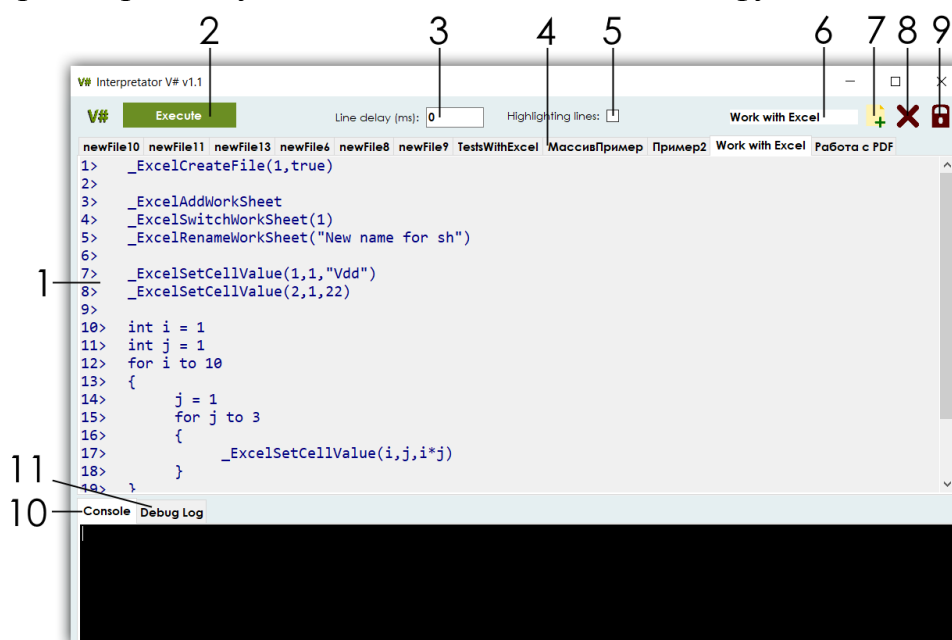


Рисунок 1 – Интерфейс интерпретатора

Пользовательский интерфейс интерпретатора представлен на рисунке 1. На рисунке обозначены следующие части интерфейса:

1. Редактор кода. Используется для написания текстового кода.
2. Кнопка запуска выполнения кода. При нажатии написанный код начинается исполняться, также используется для остановки исполнения. Запускает программу и позволяет увидеть результат
3. Межстрочная задержка. Данная опция позволяет сделать задержку между выполнением команд, что может быть полезно для отлова ошибок.
4. Вкладки. Формируются из файлов с кодом, с которыми пользователь работает.

5. Включение/выключение выделения строк. В включенном состоянии интерпретатор показывает, какая строка в данный момент выполняется.
6. Поле для редактирования названия текущего файла
7. Создать новый файл
8. Удалить активный файл
9. Заблокировать возможность редактирования кода
10. Консоль для вывода. Здесь осуществляется вывод информации, предусмотренной кодом.
11. Журнал отладки интерпретатора. Нужен для отлова ошибок самого интерпретатора.

Синтаксис самого языка частично был заимствован с С-подобных языков [11], так как такие языки на данный момент времени наиболее распространены и многим привычны.

Разработан первый концепт визуального программирования. Концепт показан на рисунке 2. Представлен блок «Создание переменной», с помощью которого можно создать переменную выбранного типа, а также назначить ей значение, что является необязательным. Блок «Присваивание значений» используется для назначения значения указанной переменной. С помощью блока «Объект» можно передавать в другие блоки различные значения. Блок «Условия» служит условным оператором. Блок «Вызов функции» нужен для вызова системной или пользовательской функции.

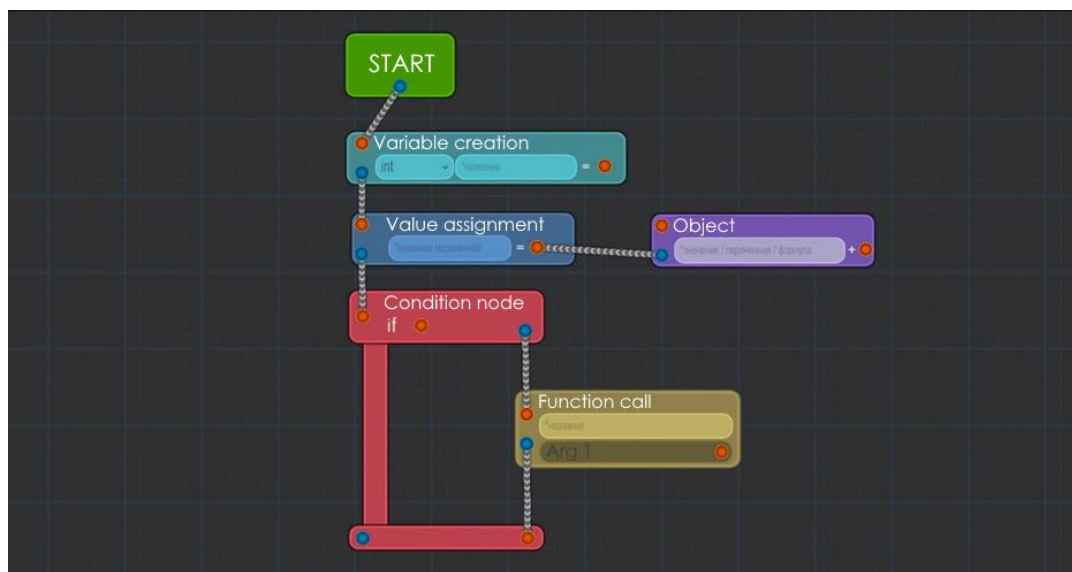


Рисунок 2 – Концепт визуального программирования

Таким образом, в работе предложен новый инструмент для получения и обработки больших данных в виде визуального языка программирования с целевым функционалом для web-парсинга, анализа данных, построения графиков. Такой вариант программирования хорошо продемонстрировал себя в узконаправленных задачах, которым также является работа с данными. На текущий момент программа находится на стадии концептуального проектирования визуального языка, а также наращивания функционала интерпретатора. Конечной целью является предоставить широкому кругу

потребителей простой в освоении и удобное в эксплуатации программное обеспечение для работы с большими данными. Этот продукт способен существенно расширить возможности учёных и студентов, специальность которых не связана с программированием, при создании научных работ, а также может стать удобным инструментом бизнес аналитики.

Исследование выполнено за счет гранта Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» (проект № 67696).

Список использованных источников:

1. Zinnatullin V.F., Koledin S.N. Analysis of scientists work directions based on natural language processing and clustering // CEUR Workshop Proceedings 2020. - Scopus
2. Тюгашев А.А. Графические языки программирования и их применение в системах управления реального времени. — Изд-во Самарского научного центра РАН. — Самара, 2009. — 98 с. — ISBN 978-5-93424-454-6.
3. Ackerman, W. B. and Dennis, J. B. 1979. VAL-A value-oriented algorithmic language: Preliminary reference manual. Tech Rep. 218. MIT, Cambridge, MA.
4. Amamiya, M., Hasegawa, R., and Ono, S. 1984. Valid, a high-level functional programming language for data flow machines. Rev. Electric. Comm. Lab. 32, 5, 793--802.
5. Super Scratch Programming Adventure! Learn to Program. — No Starch Press, 2012. — 160 p. — ISBN 978-1-59327-409-2, 978-1-59327-531-0.
6. r. Jerry Lee Ford. Scratch Programming for Teens. — Cengage Learning PTR, 2008. — 336 p. — ISBN 978-1598635362.
7. Shader Graph Unity // Unity URL: <https://unity.com/ru/shader-graph> (дата обращения: 22.04.2021).
8. Blueprint Visual Scripting // Unreal Engine Docs URL: <https://docs.unrealengine.com/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/index.html> (дата обращения: 22.04.2021).
9. Либерти Д. Язык программирования C# // Программирование на C#. — Санкт-Петербург. — 2003: Символ-Плюс, 2003. — С. 26. — 688 с. — ISBN 5-93286-038-3.
10. Unity // Unity URL: <https://unity.com/ru> (дата обращения: 22.04.2021).
11. List of C-family programming languages // Wikipedia URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_C-family_programming_languages (дата обращения: 22.04.2021).

ВИЗУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТИ

Качкаев Д.Д. (БНИ-20-01), Махмутова М.Р. (БНИ-20-01),

Коледин С.Н. (к.ф.-м.н., доцент)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Теорема Бернулли указывает на стремление среднего значения вариационного ряда к математическому ожиданию соответствующей случайной величины. Разработана программа, моделирующая сходимость законов теории вероятностей.

Ключевые слова: Теорема Бернулли, закон больших чисел, разработка, теория вероятностей, программирование

VISUAL REPRESENTATION OF THE THEORY OF PROBABILITY

Kachkayev D.D., Makhmutova M.R., Koledin S.N.

Annotation. Bernoulli's theorem indicates tendency for mean value in variational series to the mathematical expectation of the corresponding random variable. A program has been developed that simulates the convergence of the laws of probability theory.

Keywords: Bernoulli's theorem, law of large numbers, engineering, probability theory, programming

Введение

Появление теории вероятностей как науки относят к средневековью и к первым попыткам математического анализа азартных игр. Сначала её основные понятия не имели строго математической формы, их можно было трактовать как эмпирические факты, как свойства реальных событий, и они были сформулированы в визуальных представлениях. Первые работы ученых в области теории вероятностей относятся к 17 веку.

Якоб Бернулли внес важный вклад в теорию вероятностей: он дал доказательство закона больших чисел в простейшем случае независимых испытаний.

Из закона больших чисел следует, что эмпирическая вероятность успеха серии тестов Бернулли сходится к теоретической вероятности. Для случайной величины Бернулли ожидаемое значение - это теоретическая вероятность успеха, а среднее n этих переменных (если они независимы и равномерно распределены) - это относительная частота.

Например, бросок правильной монеты - это испытание Бернулли. Теоретическая вероятность выпадения орла при броске равна $1/2$. Следовательно, по закону больших чисел доля «орлов» с большим количеством испытаний должна быть «примерно $1/2$ ». В частности, доля «орлов» сходится к $1/2$ после n бросков, поскольку $n \rightarrow \infty$.

Целью работы является разработка программы, доказывающая правильность теоремы Я. Бернулли

Теорема Бернулли: если вероятность p наступления некоторого события в каждом испытании постоянна, то вероятность P_n^k того, что данное событие наступит ровно k раз в n независимых испытаниях, равна $P_n^k = C_n^k * p^k * q^{n-k}$, где $q = 1 - p$

При разработке программы был использован язык программирования Python 3.9.5 и интегрированная среда разработки PyCharm. В ходе написания программы был подключен модуль «random» и использована функция «randint» для имитации подбрасывания монеты, также задействован цикл for для сохранения историй подбрасываний (1).

На рисунке 1 показана программа, вычисляющая вероятность и количество выпадений орла и решки.

```

1  import random
2  R = 0
3  O = 0
4  L = ""
5  N = int(input('Введите кол-во подбрасываний монетки: '))
6  for i in range(N):
7      coin = random.randint(1, 2)
8      if coin == 1:
9          R = R + 1
10         L += "P"
11         PR = R/N
12     else:
13         O = O + 1
14         L += "O"
15         PO = O/N
16 print('Решка выпала', R, 'раз(а), Орел выпал', O, 'раз(а)')
17 print('Вероятность выпадения решки ', PR, 'Вероятность выпадения орла', PO)

```

Рисунок 1 – Программа поиска вероятности выпадения орла и решки

При помощи программы проверим стремления среднего значения по Теореме Бернулли.

Посчитаем количество выпадений для $100 \leq n \leq 10^6$ и построим из получившихся значений график вероятностей:

Таблица 1 - Результаты выпадений орлов и решек на N подбрасываний

Кол-во Подбрасываний, N	№	Решка	Орёл
----------------------------	---	-------	------

100	1	52	48
	2	44	56
1000	3	472	528
	4	523	477
5000	5	2536	2464
	6	2480	2520
10 ⁴	7	5034	4996
	8	5066	4934
10 ⁵	9	49733	50267
	10	50738	49262
10 ⁶	11	499976	500024
	12	499923	500077

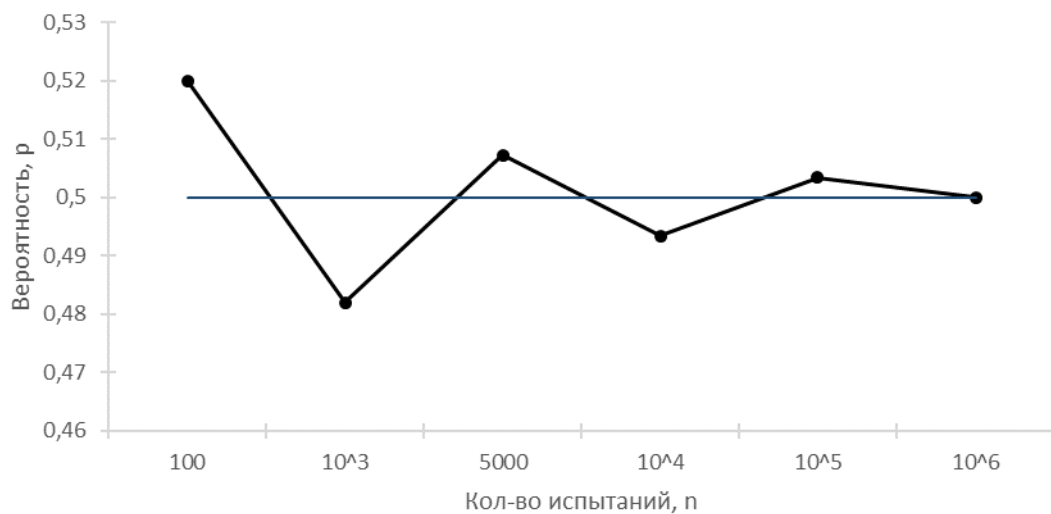


Рисунок 2 – График вероятностей выпадения орла и решки

По графику можно убедиться, что при увеличении количества подбрасываний ($n \rightarrow \infty$) вероятность выпадения орла или решки стремиться к $\frac{1}{2}$.

Парадокс при многократном подбрасывании монеты

Многим сложно поверить, что вероятность выпадения одной и той же стороны монеты несколько раз подряд равна вероятности выпадения разных сторон монеты.

В связи с этим математик Владимир Успенский провел следующий психологический эксперимент.

Если бы кто-то двадцать раз подбросил правильную монету и пометил герб единицей и решетку нулем, он бы получил предположим следующий результат:

10001011101111010000 (I)

или:

01111011001101110001 (II).

Это не кажется удивительным. Однако, если бы результат бросков был таким:

00000000000000000000 (III)

или:

010101010101010101 (IV),

то тогда можно сказать о некорректности эксперимента. Т. к. на первый взгляд эти события кажутся маловероятными по отношению к хаотичной последовательности выпадений монеты. Почему?

Классическая теория вероятностей не дает ответа на этот вопрос. Вы можете услышать следующее неправильное объяснение: вероятность каждой из цепочек (III) и (IV) очень мала, она меньше одной миллионной. Но строки (I) и (II) имеют одинаковую вероятность, как и строки (III) и (IV).

Колмогоров дал этому психологическому эксперименту следующее объяснение: цепи (I) и (II), следовательно, воспринимаются как случайные, сложные, их структура не может быть описана вкратце. А цепочки (III) и (IV) имеют простую и легко описываемую структуру.

Докажем, что строки (I), (II), (III) и (IV) равновероятны.

Посчитаем вероятность выпадения десяти орлов подряд и хаотичной последовательности из десяти элементов с помощью формулы Бернулли, где $n = 10$, $k = 10$, $p = \frac{1}{2}$, $q = \frac{1}{2}$.

n – количество независимых повторений одного и того же испытания.

k – количество «успехов».

p – вероятность «успеха», $q = 1 - p$ – вероятность «неудачи» в отдельном опыте.

Пусть наша хаотичная последовательность будет состоять из ООРОРРРРОО

Последовательность	Результаты
ОООООООООО	$1/1024 \approx 0,00098$
ООРОРРРРРОО	$1/1024 \approx 0,00098$

При разработке программы был использован язык программирования Python 3.9.5 и интегрированная среда разработки PyCharm. В ходе написания программы был подключен модуль «random» и использована функция «randint» для имитации подбрасывания монеты, также задействован цикл for для сохранения историй подбрасываний.

На рисунке 3 показана программа, высчитывающая вероятность и количество выпадений заданной последовательности орла или решки.

```

import random
L = ''
orel = 'O'
reshka = 'P'
count = 0
T = int(input('Введите кол-во подбрасываний: '))
for i in range(T):
    coin = random.randint(1, 2)
    if coin == 1:
        L += reshka
    else:
        L += orel
    if L.find('OORORPPRPOO') != -1:
        L = L.replace('OORORPPRPOO', ' ')
        count += 1
print(count)
print(count/T)
print(L)

```

Нужная нам последовательность

Рисунок 3 - Программа вычисления вероятностей выпадения какой-либо последовательности значений орла или решки

Таблица 2 – Результаты выпадений орлов и решек на N подбрасываний

Кол-во подбрасываний, n	OOOOOOOOOOOO		OORORPPRPOO	
	Кол-во выпадений	Вероятность	Кол-во выпадений	Вероятность
10 ⁴	14	0,0014	6	0,0006
5*10 ⁴	34	0,00068	55	0,0011
10 ⁵	103	0,00103	86	0,00086
2,5*10 ⁵	216	0,000864	259	0,001036
5*10 ⁵	475	0,00095	518	0,001006
10 ⁶	970	0,00097	980	0,00098

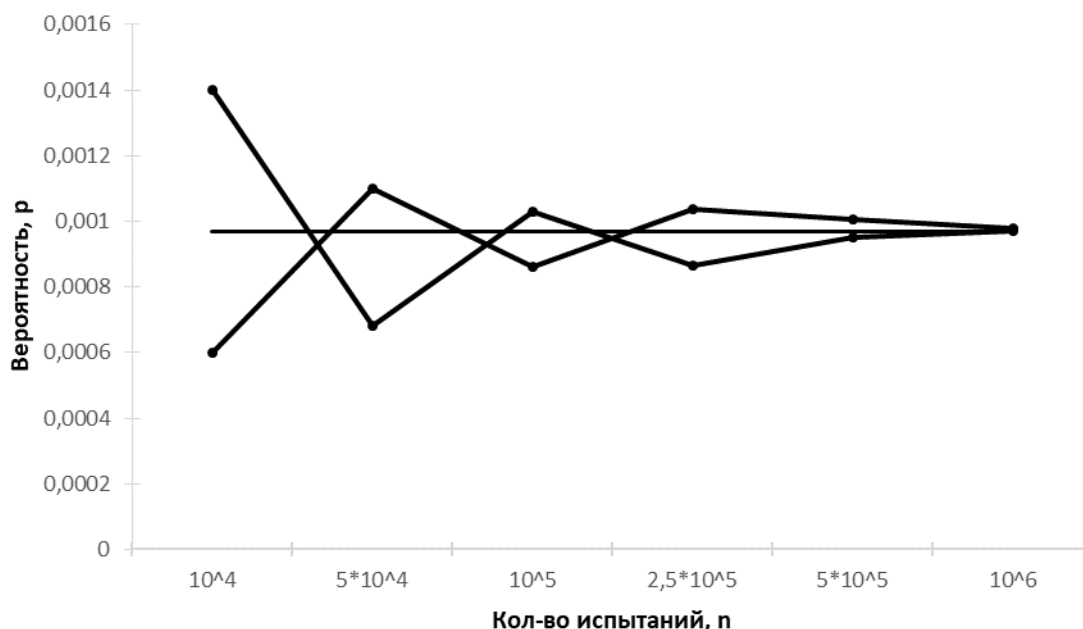


Рисунок 4 – График вероятностей выпадения орла и решки

По графику можно увидеть, что вероятности схожи и стремятся к одному и тому же значению. Оно совпадает с значением полученным по формуле Бернулли. Из этого можно сделать вывод, что эти события являются равновероятными. Это доказывает правильность Теоремы Бернулли.

Список использованных источников:

1. Лутц М., Изучаем Python, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280с.
2. Статья: Подбрасывание монеты. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Подбрасывание_монеты
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для бакалавров. – 12-е изд. – М.: Юрайт, 2013. – 478 с.
4. Вероятностей теория – статья из энциклопедии «Кругосвет»
5. Гнеденко Б.В. Очерк истории теории вероятностей.
6. Статья: Закон больших чисел. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_больших_чисел

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ С ЗАРОДЫШАМИ ГАЗА

Мигранова Н.А. (БНИ-17-01), Глебов С.Г. (доцент)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Проведено исследование решения системы дифференциальных уравнений, которая описывает процессы выноса и накопления зародышей газа, при течении жидкости с зародышами газа. Исследование проводится численно. Для представления результатов написана программа, которая может быть использована при транспортировке газожидкостных систем.

Ключевые слова: стационарное решение, зародыши газа, течение жидкости, параметры, система дифференциальных уравнений

STUDY OF STABILITY OF A LIQUID FLOW WITH GAS GERM

Migranova N.A., Glebov S.G.

Annotation. The study of the solution of the system of differential equations, which describes the processes of removal and accumulation of gas nuclei, during the flow of a liquid with gas nuclei. The research is carried out numerically. To present the results, a program was written that can be used when transporting gas-liquid systems.

Keywords: stationary solution, gas nuclei, liquid flow, parameters, system of differential equations

Исследуется система дифференциальных уравнений [2], описывающая процессы накопления и выноса зародышей газа при течении жидкости в трубе [1]:

$$\begin{cases} \frac{dn_1}{dt} = vn_2 - n_1 - \sigma \frac{n_1(t-\tau)}{1+n_1^s(t-\tau)^s} \\ \varepsilon \frac{dn_2}{dt} = -\frac{n_2}{1-n_2} + \lambda \frac{n_1(t-\tau)}{1+n_1^s(t-\tau)^s} \end{cases} \quad (1)$$

где v и σ – коэффициенты, характеризующие скорости, с которыми мелкие зародыши осаждаются на стенках и покидают их

λ – коэффициент, характеризующий скорость выноса крупных зародышей

n_1 и n_2 – количество пузырьков N_1/N_{10} и N_2/N_{20} соответственно

τ – время, за которое мелкие пузырьки за счет диффузионного притока молекул газа из объема жидкости достигают размеров крупных зародышей

s – некоторая постоянная определяемая в рамках модели ($s > 1$)

Данная система, имеет нулевое стационарное решение.

Систему (1) линеаризовали:

$$\begin{cases} \frac{dn_1}{dt} = [1 + \sigma(t - \tau)]n_1 + \nu n_2 \\ \frac{dn_2}{dt} = -\frac{\lambda}{\varepsilon}(t - \tau)n_1 - \frac{1}{\varepsilon}n_2 \end{cases} \quad (2)$$

Корни характеристического уравнения определяются из соотношения:

$$\frac{1}{\varepsilon} \begin{vmatrix} 1 + \sigma(t - \tau) + K & \nu \\ -\lambda(t - \tau) & 1 + K \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

Они имеют вид:

$$K_{1,2} = \frac{1}{2} (-2 - t\sigma + \tau\sigma \pm \sqrt{t - \tau} \sqrt{4\lambda\nu + t\sigma^2 - \tau\sigma^2}) \quad (4)$$

Система (2) неавтономна, т.е. имеет зависимость от времени. Для определения устойчивости [3] по линейному приближению мы будем исследовать корни характеристического уравнения в различные моменты времени. На рисунке 1, приведена сетка в двумерной плоскости по параметрам σ и λ . Мы будем фиксировать узел и на отрезке по времени проверять значения вещественной части корней. Если в какой-то времени у нас вещественная часть хотя бы одного корня положительна, то мы увеличиваем значения счетчика на единицу и перейдем на след узел по времени. В программе счетчик накапливает число точек по времени, в которых хотя бы одна вещественная часть корней положительна. Если в результате прохода по сетке по времени у нас получилось больше 5 положительных вещественных частей, то эта точка окрашивается в красный цвет и соответствует неустойчивому набору параметров. Таким образом мы проходим все узлы сетки по параметрам.

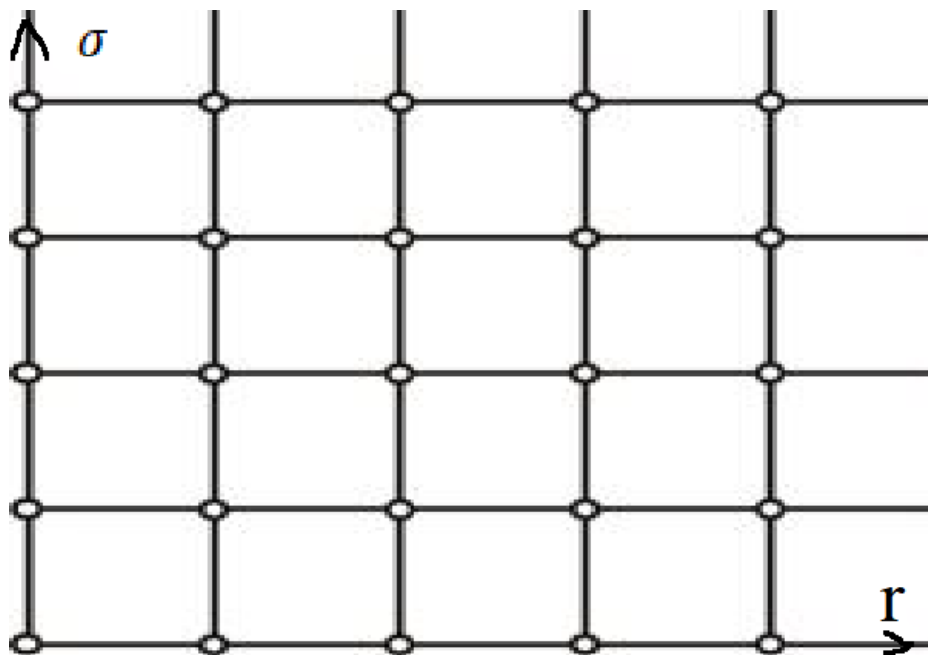


Рисунок 1 – Сетка по параметрам

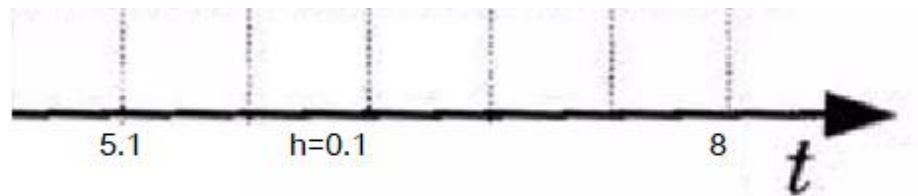


Рисунок 2 – Сетка по времени с шагом

Для решения данной задачи была написана программа на языке программирования Python. Полученные результаты представлены на рисунке 3.

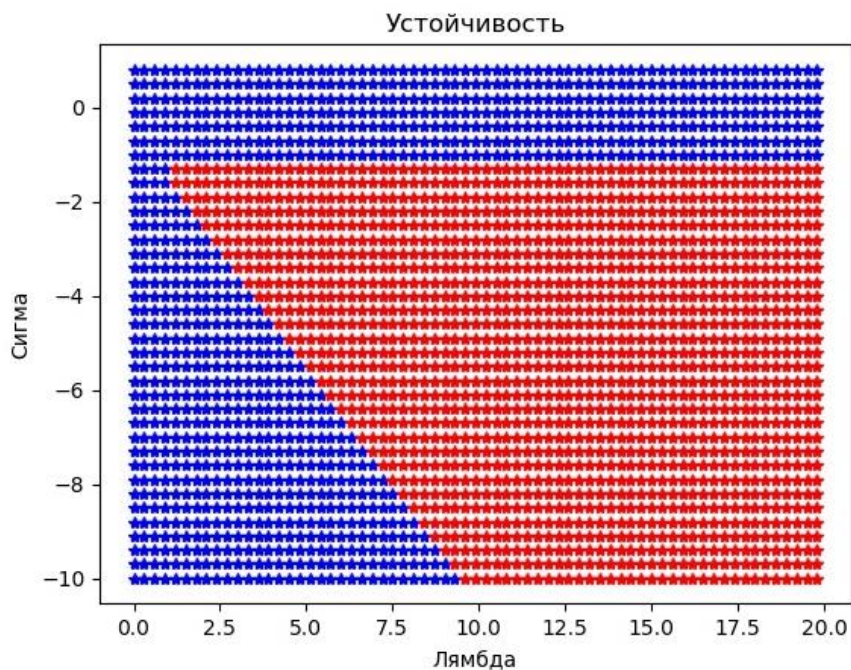


Рисунок 3 – Результаты численно счета

Для проверки наших вычислений решаем исходную систему (1) методом Рунге-Кутты 4 порядка. Параметры берем из области устойчивости (рисунок 3). Например, при $\tau = 5, \nu = -4, \sigma = 0, \lambda = 1$ получим:

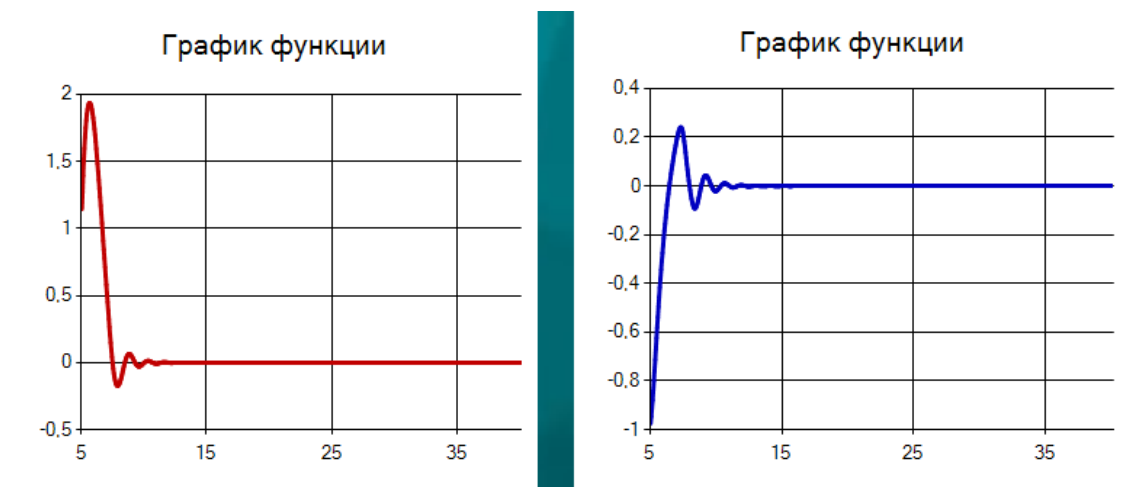


Рисунок 4 – Численное решение системы (1)

По графикам видно, что после колебаний на начальном этапе система переходит в устойчивое состояние, что соответствует синей области на рисунке 3.

Список использованной литературы:

1. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи – М.: Гилем, 1999.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы – Москва: Наука, 1989.
3. Юмагулов М.Г. Введение в теорию динамических систем. – СПб.: Лань, 2015.

УДК 004.041

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТАРГЕТИРОВАННОГО ПОИСКА АБИТУРИЕНТОВ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

*Нурутдинов М.Р. (БНИ-19-01), Коледин С.Н. (к.ф.-м.н., доцент)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Программа выдает список групп, сообществ социальной сети «ВКонтакте» на основе анализа страниц прошлых абитуриентов с высокими результатами в ЕГЭ, олимпиадах. В выявленных группах, сообществах будет производиться таргетированная реклама.

Ключевые слова: запросы, сервера, API, социальная сеть, абитуриенты

DEVELOPMENT OF A COMPUTER APPLICATION FOR TARGETED SEARCH APPLICANTS IN SOCIAL NETWORKS

Nurutdinov M.R., Koledin S.N.

Annotation. The program produces a list of groups, communities in social network "VKontakte" based on the analysis of the pages of last year's applicants with high results in the Unified State Exam, Olympiads. Targeted advertising will be produced in the identified groups and communities.

Keywords: requests, servers, API, social network, applicants

Целью работы является разработка компьютерного приложения для нахождения талантливых абитуриентов с высокими результатами на ЕГЭ, олимпиадах.

По данным фонда «Общественное мнение» [1] только 16% опрошенных смотрят телевизионную рекламу, при этом не все из них являются нужной нам аудиторией.

Стоит заметить, что современная молодежь всё меньше времени уделяют просмотру телевизионных передач, делая выбор в пользу интернет-ресурсов.

«Если Вас нет там, где большую часть времени находятся ваша целевая аудитория, Вас для них просто не существует». Поэтому перед нами встала цель размещать рекламу в социальных сетях с помощью таргетированной рекламы, так как с помощью встроенных в нее инструментов можно показывать рекламу только нужной нам аудитории, тем самым делая процесс рекламы более плодотворным. Но здесь кроется проблема, наша главная цель показывать рекламу только высокобалльникам по ЕГЭ, а также призеров и победителей всероссийский олимпиад школьников. И для этой цели встроенных инструментов таргетированной рекламы недостаточно. Т.к. для этого нужно обладать базой сообществ и групп, в которых содержится большой процент нужных нам абитуриентов.

С этой целью был начат проект, целью которого является разработка компьютерного приложения для выявления групп и сообществ в социальных сетях, где будет находиться большой процент нужных нам абитуриентов.

Наш проект начался с того, что в первые дни учебы студентам БНИ-19, были выданы тесты на проверку знаний алгоритмов, языков программирования. На основании этих тестов были отобраны студенты с высокими результатами. Позже с помощью разработанной программы были получены группы/сообщества, в которых находился большой процент выбранных студентов. На рисунке 1 представлены часть сообществ, которые были выявлены программой.

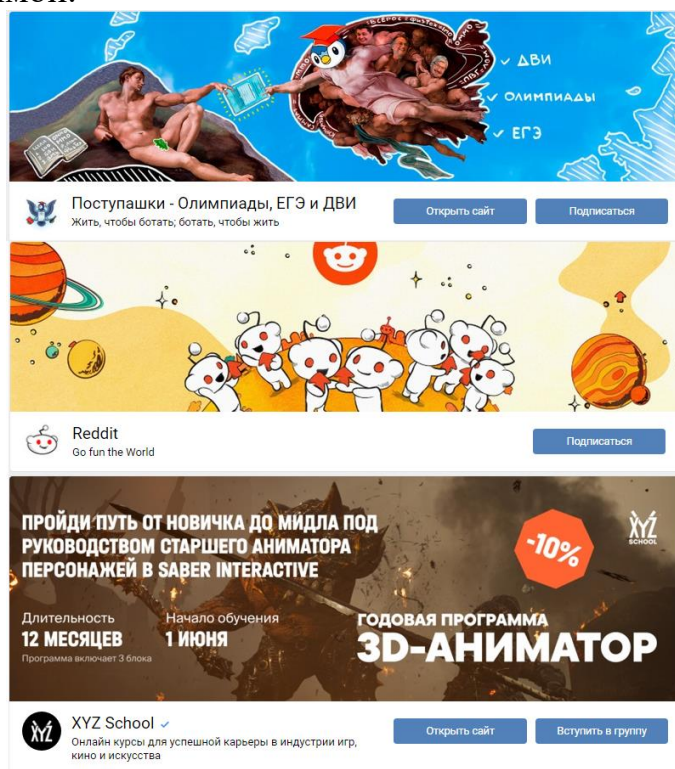


Рисунок 1 – Пример групп выявленный в процессе анализа программы

Программа разработана на языке программирования Python. Программа работает на основе запросов на серверы социальной сети «ВКонтакте» при помощи «API ВКонтакте», получая от сервера данные о сообществах и группах на которые подписан каждый выбранный нами студент [2].

На следующем этапе программа просматривает каждую группу и считает в ней количество подписавшихся студентов [3]. Затем программа сортирует эти группы в порядке убывания численности подписавшихся студентов.

На рисунке 2 показан результат работы программы.

Ссылки на группы:	Процент студентов БНИ-19
https://vk.com/club102408730	100,0%
https://vk.com/club24636249	57,1%
https://vk.com/club186109886	57,1%
https://vk.com/club188649010	57,1%
https://vk.com/club185420779	57,1%
https://vk.com/club13854777	57,1%
https://vk.com/club2593	42,9%
https://vk.com/club38786815	42,9%
https://vk.com/club199608345	42,9%
https://vk.com/club154441774	42,9%
https://vk.com/club181774755	42,9%
https://vk.com/club162050278	42,9%
https://vk.com/club190975225	42,9%
https://vk.com/club92876084	42,9%
https://vk.com/club203620844	28,6%
https://vk.com/club43335840	28,6%
https://vk.com/club49403587	28,6%
https://vk.com/club171003796	28,6%
https://vk.com/club73966948	28,6%

Рисунке 2 – Структура активности в социальных сетях

Логическая схема приведена на рисунке 3 [4,5].

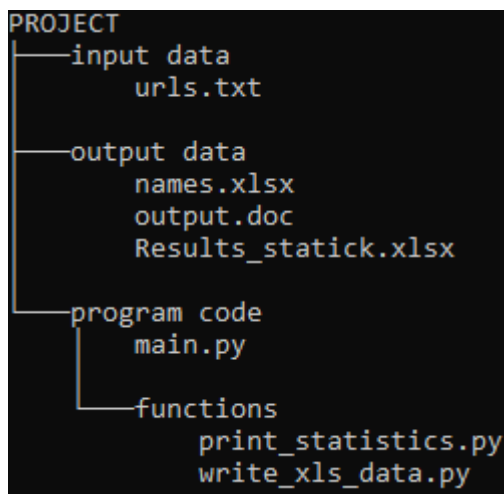


Рисунок 3 – Элементы кода программы

Данный проект в дальнейшем планируется использовать для поиска абитуриентов из соседних регионов и РБ для отправки им приглашений на трансляцию дня открытых дверей нашего школы и университета.

Список использованных источников:

1. Фонд общественное мнение/ФОМ: [Электронный ресурс] <https://fom.ru/SMI-i-internet/11625> (Дата обращения: 24.04.2021)
2. Гецманн, П. Разработка приложений для Windows Phone. Архитектура, фреймворки, API / П. Гецманн. - СПб.: BHV, 2014. - 880 с.

3. Прохоренок, Н.А. Python 3 и PyQt. Разработка приложений. / Н.А. Прохоренок. - СПб.: BHV, 2013. - 704 с.
4. Документация разработчикам: [Электронный ресурс]. URL: <https://vk.com/dev/manuals>. (Дата обращения: 24.04.2021)
5. Глушков, В.М. Введение в кибернетику / В.М. Глушков. - М., 1977. - 491 с.

УДК 371.261

СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ И АНАЛИЗ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

*Павлов Н.И. (БГР-19-02), Шамшиович В.Ф. (к.э.н., заместитель заведующего
кафедрой информационных технологий и прикладной математики)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Статья посвящена организации дистанционного обучения в высшем учебном заведении по дисциплине «Математика». Авторами была приведена система подходов к обучению, реализующая учебный процесс с применением преподавателями и студентами дистанционных образовательных технологий. Исследовав результаты аттестационных тестирований, была проанализирована эффективность данной системы и построена математическая модель прогнозирования с помощью метода наименьших квадратов, по которой было решено составить прогноз на будущий результат и сравнить его с реальными показателями, чтобы подтвердить эффективность модели.

Ключевые слова: система подходов к обучению, дистанционное обучение, информационные технологии, математика, математическая модель прогнозирования

THE WAY OF ORGANIZING DISTANCE LEARNING IN HIGHER EDUCATION INSTITUTION AND ANALYSIS OF ITS EFFICIENCY BY MEANS OF MATHEMATICAL PREDICTION MODEL

Pavlov N.I., Shamshovich V.F.

Annotation. The article is devoted to the organization of distance learning in a higher educational institution in the discipline "Mathematics". The authors presented a system of approaches to teaching that implements the educational process with the use of distance learning technologies by teachers and students. After examining the results of certification tests, the effectiveness of this system was analyzed and a mathematical forecasting model was built using the least squares method, according to which it was decided to make a forecast for the future result and compare it with real indicators in order to confirm the effectiveness of the model.

Keywords: system of approaches to learning, distance learning, information technology, mathematics, mathematical forecasting model

Вводная часть

Во время резкого перехода на дистанционный формат обучения все ВУЗы России из-за организации санитарно-эпидемиологической безопасности студентов и преподавателей столкнулись с большим количеством проблем, которые были следствием неподготовленности системы образования к такой форме обучения. С основными проблемами можно в полной мере ознакомиться при изучении данных опроса, проведенного рейтинговым агентством RAEX, в котором приняли участие свыше 6 тысяч студентов из 153 ВУЗов России [1].

Основная часть

В данной работе представлены методические основы обучения в дистанционном формате, частично введенные еще при очной форме обучения в ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», и которые использовались в образовательном процессе во время тяжелой эпидемиологической обстановки. А также продемонстрированы информационные технологии и приложения, применявшиеся в целях нейтрализации негативного воздействия резкого перехода с очного обучения на удаленный формат и повышения качества образования студента. Организация учебного процесса с использованием дистанционных образовательных технологий выглядит следующим образом:

1. Использование курса в образовательной среде Moodle и проведение онлайн-занятий в «BigBlueButton»;
2. Организация консультирования студентов в «ВКонтакте»;
3. Балльно-рейтинговая система.

Работу в образовательной среде Moodle лучше всего представить поэтапно:

1 этап. Работа в курсе дистанционной поддержки в образовательной среде. Студентам дана возможность проходить материал курса, составленного из лекций и практик в любое удобное время, что является, несомненно, положительным фактором для студента, так как он может выбрать свою собственную индивидуальную траекторию обучения, по которой ему будет максимально комфортно и эффективно заниматься;

2 этап. Закрепление материала. Другими словами, студентам требуется после каждого пройденного раздела, либо лекции проходить тестирование, направленное на закрепление материала;

3 этап. Онлайн-лекции и практики. Совместная работа преподавателя и студентов в режиме реального времени является самой важной частью работы в образовательной среде. Потому что, зачастую, качество знаний студента напрямую зависит от того, как преподаватель сможет донести до него учебные материалы, поделиться знаниями и опытом, сформировать интерпретацию на вызвавший у студентов проблему материал из курса. И, конечно же, качество полученных от преподавателя знаний также зависит от того, как сам студент сможет усвоить материал, отработать его на практических занятиях и

проверить уровень усвоения учебного материала при тестировании. Поэтому взаимодействие преподавателя со студентами остается жизненно необходимым при любом формате обучения. Более подробно ознакомиться с работой в системе Moodle представляется возможным в научном труде Картузовой Т.В. [2].

Проведение онлайн-занятий в специально созданном для дистанционного обучения облачном сервисе «BigBlueButton». В данной информационной технологии были использованы такие важные функции, как возможность организации взаимодействия студентов и преподавателей, приближенного к реальному обучению.

Организация консультирования студентов в «ВКонтакте», одно из самых эффективных нововведений в систему подходов к дистанционному обучению, по мнению студентов группы БГР-19-02. «ВКонтакте» – это социальная сеть, в которой есть возможность создать сообщество или группу, куда будут приглашены студенты потока. Статус группы будет закрытый, что исключит вероятность проникновения в нее посторонних лиц, которые могут помешать процессу обучения. Работу в «ВКонтакте» следует охарактеризовать следующими моментами:

1. Организационные моменты. У преподавателя есть возможность разместить на странице сообщества информацию, включающую в себе организационные моменты, например, сообщить о проведении лекций и практик или об их переносе, поместить приглашение на участие в научной конференции или олимпиаде.

2. Консультации и обсуждения – самая важная часть работы в «ВКонтакте». При возникновении проблемы по освоению материала или решению задачи студент может поместить информацию на странице, и уже в комментариях к ней преподаватель может проконсультировать студента по возникшему вопросу или обсудить дальнейшее решение задачи. В своей работе [3, с.87] авторы указывают на следующий факт, что: «... направленная работа преподавателя по консультированию учащихся в современном инновационном формате – с применением ИКТ, а именно – системы Moodle и коммуникаций социальных сетей, что привело к качественному повышению уровня знаний студентов, выразившееся в их количественном признаке – повышении индивидуальных рейтинговых баллов, и, соответственно, в повышении среднего группового рейтингового балла».

3. Коллективное взаимодействие. т.е. помочь студенту может не только преподаватель, но и его одноклассники. Тем самым улучшаются коллективные взаимоотношения внутри группы, что сказывается положительно на течение учебного процесса в дистанционном формате обучения.

Балльно-рейтинговая система [4], по праву, может считаться одной из самых эффективных современных систем оценивания качества знаний студентов за счет следующих важных возможностей, которые система предоставляет для всех участников образовательного процесса:

- 1) активизация и стимулирование учебной практической деятельности студентов на протяжении всего обучения. Таким образом, студенты постоянно

находятся в образовательном движении, изучают лекции, проходят практики, взаимодействуют с преподавателем, пишут тестирования;

2) возможность ведения преподавателем анализа успеваемости учащихся. Другими словами, преподаватель по результатам тестирований может проанализировать и выявить проблемные моменты, где у студентов возникли большие трудности в освоении материала;

3) способность преподавателя регулировать и корректировать систему и процесс обучения. Преподаватель, при необходимости, может доработать свою методику преподавания или дополнительно провести занятия по теме, вызвавшей проблему у студентов, тем самым организовать работу над ошибками и улучшить результаты дальнейшего успешного прохождения курса студентами.

В целях оценить эффективность представленных подходов был проведен анализ результатов студентов группы по аттестационным тестированиям, проводившихся в 1 и 2 семестрах курса математики в группе БГР-19-02. Подсчитано общее количество баллов по группе и построена точечная диаграмма с аппроксимирующей линией тренда логарифмической зависимости по методу наименьших квадратов [5]. Для исследования выбрана логарифмическая регрессия, так как она является более подходящей для представления быстрого роста результатов при введении системы подходов в дистанционное обучение, а далее – относительной стабильности показателей из-за снижения эффективности данных подходов относительно тех скоростей положительного изменения результатов, которое демонстрировалось на начальных этапах исследования. Также логарифмическая зависимость показала низкую среднюю ошибку аппроксимации. Математическое исследование методом наименьших квадратов представлено далее:

1. Составить таблицу вспомогательных значений.

Таблица 1 - Вспомогательные величины

i	x_i	y_i	$\ln x_i$	$\ln^2 x_i$	$y_i \ln x_i$
1	1	371	0	0	0
2	2	432,5	0,6931	0,4805	299,7862
3	3	432,75	1,0986	1,2069	475,4245
4	4	483,99	1,3863	1,9218	670,9526
5	5	552	1,6094	2,5903	888,4097
Сумма	15	2272,24	4,7875	6,1995	2334,573

2. Вычислить коэффициенты a и b уравнения логарифмической регрессии $y=a+b \cdot \ln x$, а также среднюю ошибку аппроксимации по известным формулам:

$$b = \frac{n \sum (y_i \ln x_i) - \sum \ln x_i \cdot \sum y_i}{n \sum \ln^2 x_i - (\sum \ln x_i)^2} = \frac{5 \cdot 2334.573 - 4.7875 \cdot 2272.24}{5 \cdot 6.1995 - 4.7875^2} \approx 98.3646;$$

$$a = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{b}{n} \sum \ln x_i = \frac{1}{5} \cdot 2272.24 - \frac{98.3646}{5} \cdot 4.7875 \approx 360.2641.$$

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\% = \frac{0.2072}{5} \cdot 100\% \approx 4.1438\%.$$

3. Искомое уравнение регрессии принимает вид: $y=360.2641+98.3646 \cdot \ln x$, которое наглядно визуализирует аппроксимирующую линию тренда на точечной диаграмме (рисунок 1). Прогноз результата аттестационного тестирования работы №6, значение которого составило 536,5 баллов, что при сравнении с реальным значением в 526,8 баллов дало погрешность в 1,85% при средней ошибки аппроксимации равной 4,1438%.

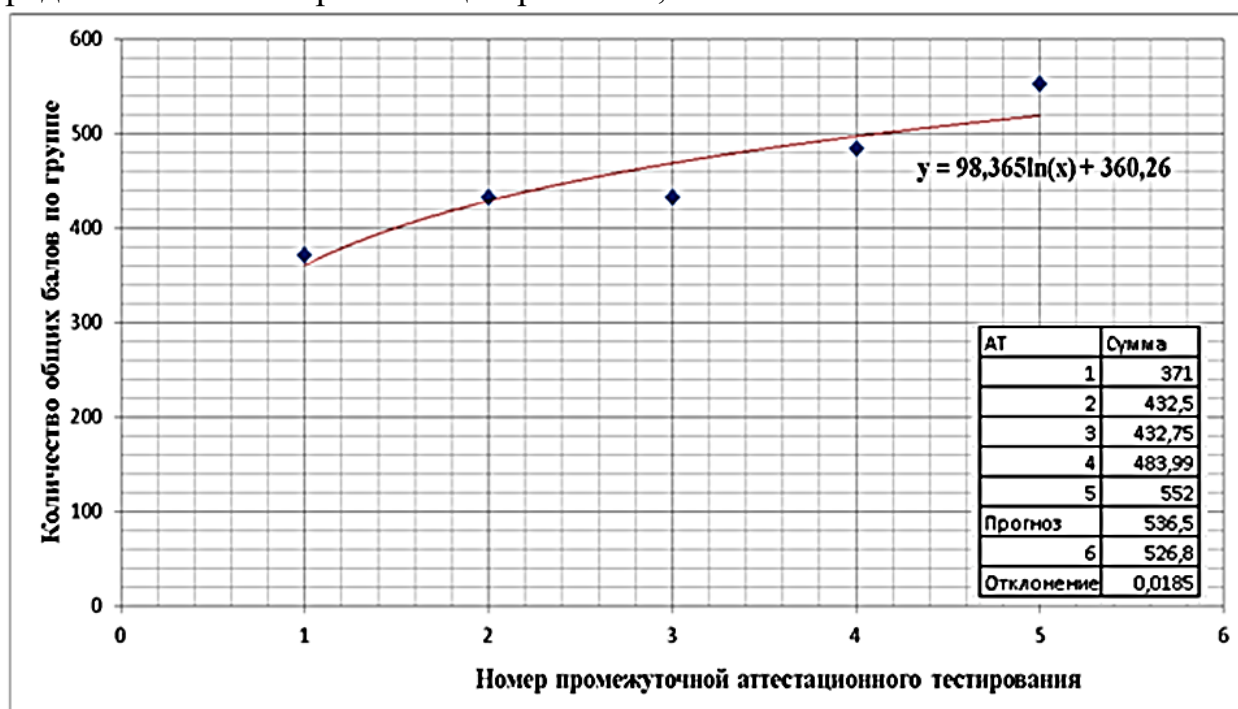


Рисунок 1 - Точечная диаграмма с аппроксимирующей линией тренда логарифмической зависимости

Заключение

Таким образом, данная математическая модель прогнозирования показывает эффективность приведенной методики организации учебного процесса с использованием дистанционных образовательных технологий и дает возможность предвидеть результаты будущих аттестаций студентов, что может быть использовано для корректировки и модифицирования системы и методики преподавания при отрицательных перспективах.

Список использованных источников:

1. https://raex-a.ru/researches/distance_education/2020https://raexa.ru/researches/distance_education/2020

2. Картузова, Т.В. Использование некоторых элементов системы Moodle в работе со студентами заочного отделения при изучении математических дисциплин / Т.В. Картузова, Н.И. Мерлина, Л.В. Селиверстова // Карельский научный журнал. – 2016. – Т. 5. – № 2(15). – С. 34-36.
3. Шамшович, В.Ф. Проверка педагогической гипотезы о повышении рейтинговых характеристик студентов при введении в учебный процесс консультационных занятий в дистанционном формате / М.Е. Вайндорф-Сысоева, Н.Ю. Фаткуллин, В.Ф. Шамшович // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование. Педагогические науки». – 2014. – Т. 6, № 3. – С. 82–88.
4. Шамшович, В.Ф. Внедрение балльно-рейтинговой системы оценки знаний студентов с использованием информационно-коммуникационных технологий и поведение процедур мониторинга и прогнозирования оценки успеваемости студентов по математике методами нейросетевых технологий / Н.Ю. Фаткуллин, В.Ф. Шамшович, Р.Н. Бахтизин // Материалы второй всероссийской научно-практической конференции (Казань, 16–22 апреля 2010 года) «Электронная Казань 2010» / редкол.: К.Н. Пономарев (пред.) и др. – Казань: ЮНИВЕРСУМ, 2010. – С. 255–258.
5. Учебно-методическое пособие. Модуль: «Дифференциальное исчисление функции нескольких переменных». ЧАСТЬ 1: Теоретические основы. Методические указания для студентов. Материалы для самостоятельной работы студентов. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2017. – 141 с.

УДК 371.261

НАХОЖДЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ УСПЕШНОСТИ ОБУЧЕНИЯ С ПОЭТАПНЫМ НАКОПЛЕНИЕМ РЕЙТИНГОВЫХ БАЛЛОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фаткуллин Н.Ю. (к.э.н., заведующий кафедрой информационных технологий и прикладной математики)¹, Шамшович В.Ф. (к.э.н., заместитель заведующего кафедрой информационных технологий и прикладной математики)¹,

Коземирова А.А. (ученица 10 кл.)², Шамшович Е.О. (ММТ51-19-02)¹

*¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

*²Частное общеобразовательное учреждение центр образования «Новошкола»,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Исследования, приведенные в статье, посвящены нахождению функциональной зависимости успешности усвоения материала учащимися и систематической работой в течение триместра с поэтапным накоплением рейтинговых баллов по дисциплине [1]. Для работы использовались реальные данные, представленные в виде баллов учеников по одному предмету, которые послужили базой для нахождения прогноза успешности обучения по дисциплине. Системный подход в учебном процессе с

использованием балльно-рейтинговой системы позволяет обучающимся быть ведущим звеном и активными участниками реализации образовательного процесса.

Ключевые слова: функции, балльно-рейтинговая система, образовательный процесс

FINDING THE FUNCTIONAL DEPENDENCE OF TRAINING SUCCESS WITH STEP-BY-STEP ACCUMULATION OF RATING POINTS FOR DISCIPLINE

Fatkullin N.Yu., Shamshovich V.F., Kozemirova A.A., Shamshovich E.O.

Annotation. The research presented in the article is devoted to finding a functional relationship between the success of students' learning of the material and systematic work during the trimester with the gradual accumulation of rating points in the discipline. For the work, real data was used, presented in the form of students' scores in one subject, which served as the basis for finding a forecast of the success of training in the discipline. A systematic approach to the educational process using a point-rating system allows students to be the leading link and active participants in the implementation of the educational process.

Keywords: functions, point-rating system, educational process

Вводная часть

При реализации учебного процесса, все образовательные учреждения используют балльно-рейтинговую систему оценки качества усвоения материала [2], позволяющую получить информацию об учебных достижениях учащихся в виде рейтинговых баллов. В настоящее время во многих учебных заведениях повсеместно вбирается перспективное направление оценки учащихся в виде балльно-рейтинговой системы оценки знаний. Это связано с тем, что устаревшая пятибалльная система контроля знаний теряет свою актуальность и противоречит современным требованиям к подготовке высококвалифицированных креативных специалистов. Очевидно, что классическая форма оценки зачастую субъективна и однобока, ведёт к усреднению учащихся и предполагает поощрение к занятиям от случая к случаю, без полного погружения в процесс обучения.

Основная часть

Повышение качества учебного процесса – одно из центральных проблем системы образования, отметила в своей работе [3] Ямпольская Д. В., указав, что балльно-рейтинговая система мотивирует обучающихся к обучению, активизации самостоятельной работы. Чтобы охарактеризовать успешность обучения или динамику изменений уровня знаний обучающихся, необходимо выстроить зависимость успешности обучения от баллов за отчетные работы. Линия тренда учащихся, которая показывает прогресс в обучении в зависимости от полученных баллов, может быть рассчитана методом наименьших квадратов. Выбор линейной зависимости обусловлен схожестью

баллов учащихся, что дает сгруппированность и линейность в точечной диаграмме с малым разбросом.

Для исследования были выбраны баллы за отчетные работы (аттестационные работы (АТ)) за один учебный модуль по одной дисциплине трех учеников с разной успеваемостью 10 класса ЧОУ ЦО «Новошкола» (табл. 1).

Таблица 1 - Распределение учебных баллов по отчетным работам

Ф.И.О.	АТ1	АТ2	АТ3	АТ4	АТ5	АТ6	Сумма баллов	Процент усвоения	Оценка за модуль
ученик №0	5	5	5	5	5	5	30	100	5
ученик №1	4	5	5	5	5	5	29	96,7	5
ученик №2	4	3	4	н	4	4	23	76,7	4
ученик №3	3	3	3	4	3	5	21	70	3

Чтобы результат был безошибочным, необходимо провести нормировку баллов, удобнее всего перевести баллы в проценты (табл. 2). Для применения статистических методов обработки должны быть сравнимые показатели.

Таблица 2 - Распределение учебных баллов по отчетным работам, в процентном соотношении

Ф.И.О.	АТ1	АТ2	АТ3	АТ4	АТ5	АТ6	Среднее арифметическое баллов, %	Оценка за модуль
ученик №0	100	100	100	100	100	100	100	5
ученик №1	80	100	100	100	100	100	96,7	5
ученик №2	80	60	80	0	80	80	76,7	4
ученик №3	60	60	60	80	60	100	70	3

С помощью программы Excel была построена точечная диаграмма баллов за модуль трех учеников и линии тренда, которые показывают успеваемость школьников за триместр по одной дисциплине (рис. 1, рис. 2, рис. 3).



Рисунок 1 – Точечная диаграмма и линия тренда по баллам
за модуль ученика №1

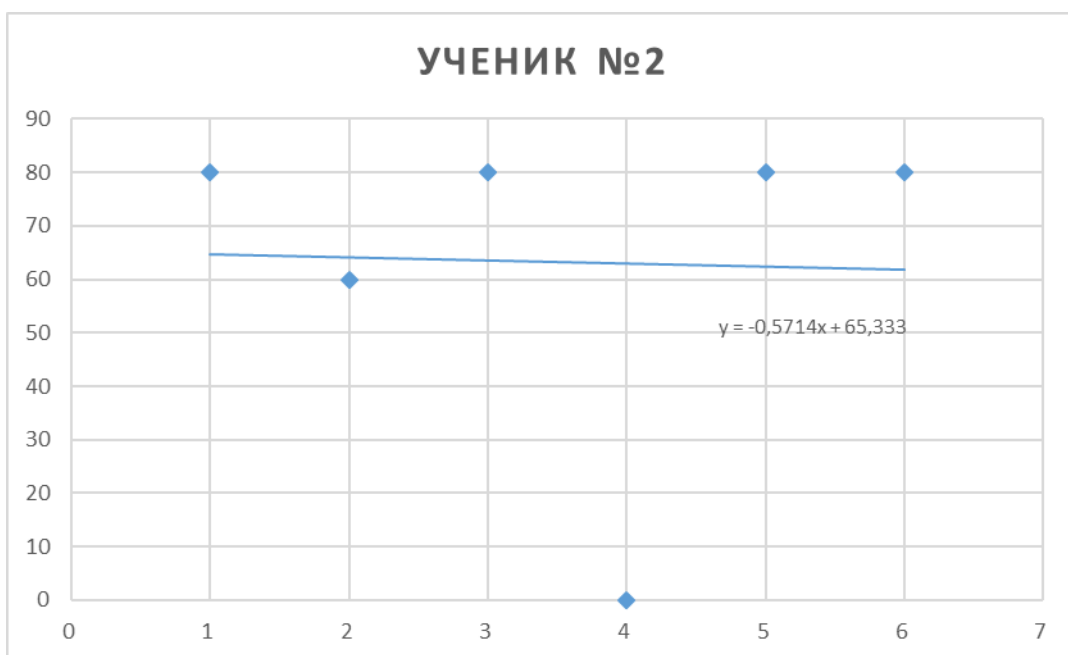


Рисунок 2 – Точечная диаграмма и линия тренда по баллам
за модуль ученика №2

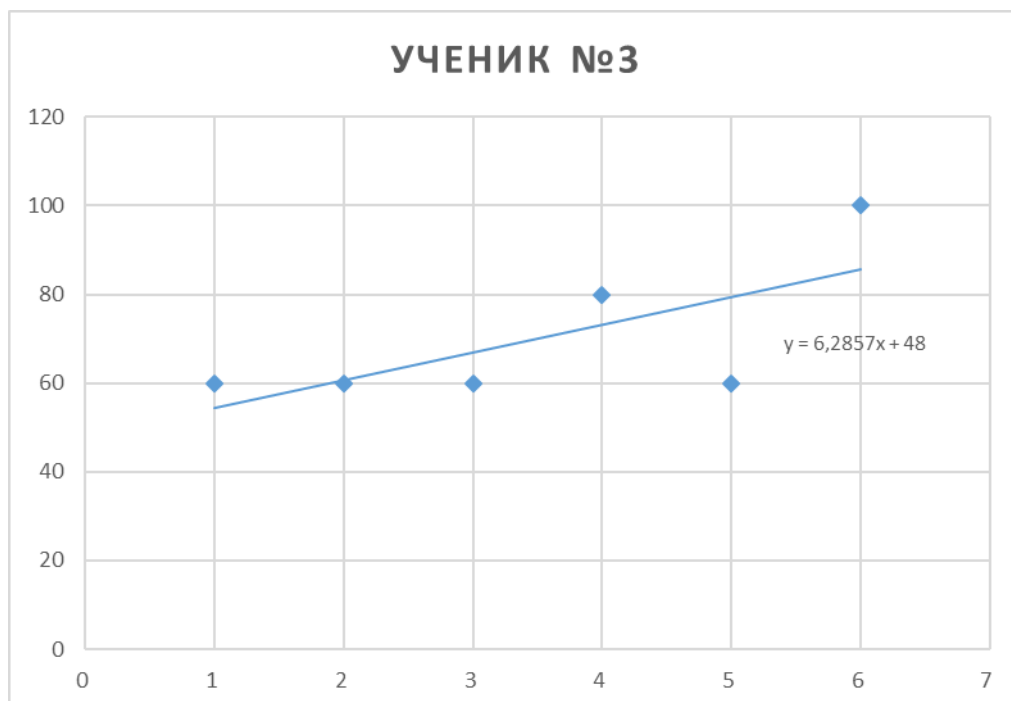


Рисунок 3 - Точечная диаграмма и линия тренда по баллам за модуль ученика №3

С помощью метода наименьших квадратов [4] получили функциональную зависимость успешности усвоения материала от баллов в триместре, которые зарабатывают обучающиеся за отчетные работы. Был произведен расчет суммы квадратов отклонений экспериментальных данных от значений на аппроксимирующей линии для нахождения оптимальной функциональной зависимости успеваемости учеников от рейтинговых баллов, полученных в триместре. Получили функциональные зависимости, которые описывают линии тренда успешности обучения учащихся:

ученик №1 $y = 86,67 + 2,86x$

ученик №2 $y = 65,23 - 0,57x$

ученик №3 $y = 48 + 6,29x$

Можно сделать вывод, что ученики №1 и №3 работают по мере их сил, при этом не отставая от учебного плана. Ученик №2 пропустил отчетную работу, которую не пересдал, об этом говорит отрицательный коэффициент.

Таким образом стало возможным наглядно отслеживать успешность усвоения материала обучающимися. В заключении можно сказать, что системный подход в учебном процессе с использованием балльно-рейтинговой системы позволяет проводить мониторинг учебного процесса с прогнозированием образовательных достижений, которые наглядно демонстрируют линии тренда учащихся.

Вывод

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что балльно-рейтинговая система оценки позволяет повысить уровень дисциплинированности и активности учащихся в процессе обучения. При этом

повышается и объективность оценки учащихся со стороны преподавателей. Всё это позволит повысить уровень инновационности, эффективности и востребованности учебного заведения в целом за счёт улучшения качества подготовки учащихся.

Список использованных источников:

1. Шамшович, В.Ф. Дифференциация студентов по признаку изменения рейтинговых достижений на основе анализа трендов прогнозных данных / М.Е. Вайндрф-Сысоева, Н.Ю. Фаткуллин, В.Ф. Шамшович // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. – 2014. – Т. 6. – №2. – С. 74-83.
2. Шамшович, В.Ф. Внедрение балльно-рейтинговой системы оценки знаний студентов с использованием информационно-коммуникационных технологий и поведение процедур мониторинга и прогнозирования оценки успеваемости студентов по математике методами нейросетевых технологий / Н.Ю. Фаткуллин, В.Ф. Шамшович, Р.Н. Бахтизин // Материалы второй всероссийской научно-практической конференции (Казань, 16–22 апреля 2010 года) «Электронная Казань 2010» / редкол.: К.Н. Пономарев (пред.) и др. – Казань: ЮНИВЕРСУМ, 2010. – С. 255–258.
3. Ямпольская, Д.Ю. Преимущества и недостатки балльно-рейтинговой системы оценивания качества образования / Д.Ю. Ямпольская // развитие современного образования: теория, методика и практика. – 2015. – №4(6). – С. 185-187.
4. Учебно-методическое пособие. Модуль: «Дифференциальное исчисление функции нескольких переменных». ЧАСТЬ 1: Теоретические основы. Методические указания для студентов. Материалы для самостоятельной работы студентов. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2017. – 141 с.

УДК 004.946

**ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРЕПОДАВАНИИ
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН**

Хурамин Д.Р. (БНИ-19-01), Фазлыхаков Л.Р. (БНИ-19-01),

Коледин С.Н. (к.ф.-м.н., доцент)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В работе решена задача по упрощению представления студентам учебных объектов (поверхностей 2-го порядка) при помощи AR-технологий. Рассмотрены сечения поверхностей. Реализована программа для смартфонов, позволяющая взаимодействовать с рассматриваемыми объектами.

Ключевые слова: дополненная реальность, образование, AR-технологии, Vuforia, поверхности второго порядка

AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN TEACHING NATURAL SCIENCES

Khuramshin D.R., Fazlykhakov L.R., Koledin S.N.

Annotation. The paper solves problem of simplifying presentation of educational objects to students (surfaces of the 2nd order) using AR technologies. Sections of surfaces are considered. A program for smartphones has been implemented that allows to interact with the objects in question.

Keywords: augmented reality, education, AR technologies, Vuforia, second-order surfaces

1. Введение

Порой человеку, изучая определенный информационный материал, тяжело визуализировать определенные образы, о которых говорится в тексте. Для представления и понимания необходимы вспомогательные средства. Одними из таких средств являются AR-технологии - технологии дополненной реальности. Они позволяют связать реальный мир и программу на смартфоне. С ее помощью виртуальные объекты можно интегрировать в материальный мир. Рассматриваемый объект выглядит как настоящий, с ним даже можно взаимодействовать в пределах экрана смартфона. Благодаря такой технологии процесс изучения становится более простым для понимания, и информация легко усваивается.

В данной работе предлагается разработать приложение для визуального представления поверхностей второго порядка из раздела аналитической геометрии и объектов из других областей образования при помощи AR-технологий.

2. Способ реализации приложения

Для реализации дополненной реальности применялось программное обеспечение Unity, так как поддерживает SDK для работы с AR технологиями, среди которых ARCore, Arkit и Vuforia. Для оптимизации скорости разработки программного обеспечения было решено использовать плагин Vuforia. Модели объектов создавались в свободном ПО для работы с трёхмерной компьютерной графикой Blender. Все необходимые для работы программы скрипты написаны на языке программирования C#.

Изображение, которое в будущем будет использоваться, как трекер, проходит проверку на сайте разработчика [1] на необходимое количество характерных точек. Определяется рейтинг изображения, формируется база данных с трекером и экспортируется в Unity. В Unity создается Image Target – объект, в который добавляется трекер из базы данных, и к нему прикрепляется модель объекта [2]. Теперь при запуске программы и наведении на трекер в экране устройства появляется прикрепленный объект.

3. Объекты работы

В результате совместной дискуссии было решено взять Визуализация алгебраических поверхностей второго порядка. При AR реализации поверхностей предполагается, что обучаемый получит возможность качественно изучить поверхность как реальный объект перед собой, а не на экране компьютера и, тем более, книги, а также изменять параметры в реальном времени и видеть результат. Все это должно способствовать лучшему пониманию структуры уравнений и трехмерной формы поверхностей.

Поверхность второго порядка – геометрическое место точек трёхмерного пространства, прямоугольные координаты которых удовлетворяют уравнению вида [3]:

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Px + Qy + Rz + H = 0$$

Одним из основных методов изучения поверхностей является метод сечений – метод, состоящий в определении линии пересечения поверхности с плоскостями, параллельными осям координат. Приведены основные поверхности 2 порядка.

- Эллипсоид

Эллипсоид – поверхность, определяемая уравнением (рисунок 1а):

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

- Однополостной гиперboloид

Однополостной гиперboloид – поверхность, определяемая уравнением (рисунок 1б):

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$$

- Двухполостной гиперboloид

Двухполостной гиперboloид – поверхность, определяемая уравнением (рисунок 1в):

- Конус

Конус – поверхность, определяемая уравнением (рисунок 1г):

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0$$

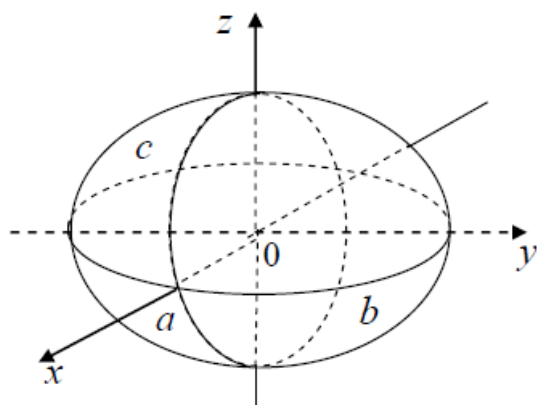


Рисунок 1а - Эллипсоид

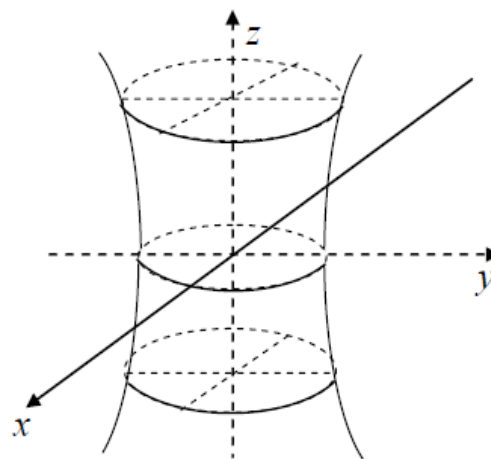


Рисунок 1б - Однополостный гиперболоид

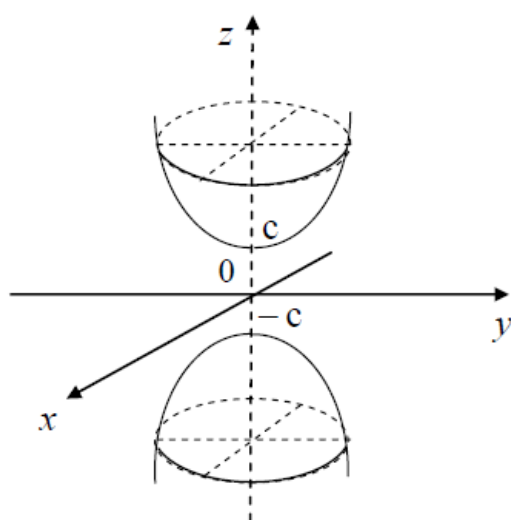


Рисунок 1 - Двуполостный гиперболоид

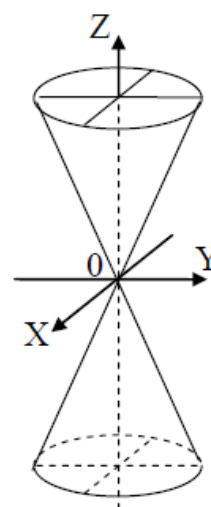


Рисунок 1г - Коническая поверхность

4. Принцип работы приложения

Приложение запускается на смартфоне управлением операционной системы Android 7.1 и выше. В меню приложения пользователь выбирает необходимую для просмотра поверхность (рисунок 2, а) и наводит камеру смартфона на трекер, к которому изначально прикреплялся объект в сцене Unity. На экране устройства можно увидеть выбранную поверхность (рисунок 2, б).

Для рассмотрения сечения, пользователю необходимо выбрать направление сечения (горизонтальные или вертикальные разрезы), по которому он будет отсекает части объекта, и нажать на соответствующую кнопку. При повторном нажатии на кнопку с направлением сечения объект принимает свое первоначальное положение. После выбора сечения, пользователю будет доступна кнопка для вывода формул о поверхности (рисунок 2, в). Для просмотра модели объекта с разных сторон добавлена возможность его вращения.

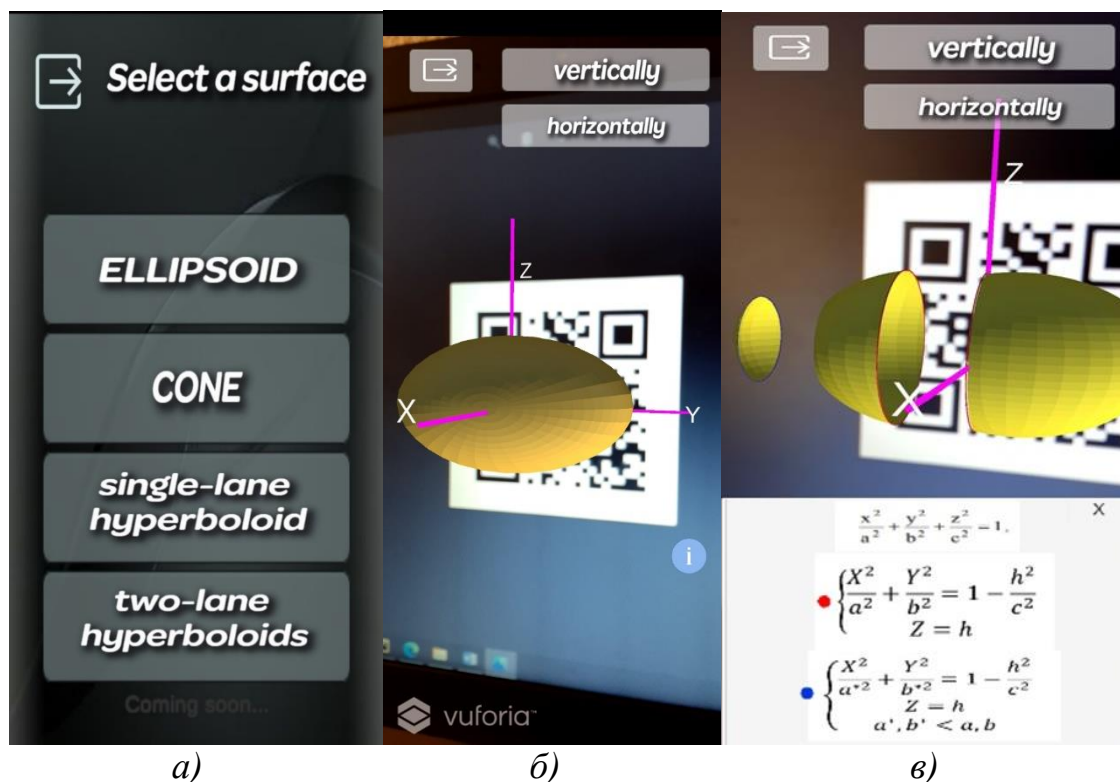


Рисунок 2 - Меню выбора поверхности (а), демонстрация работы приложения на эллипсоиде (б) и всплывающее меню с уравнениями сечений(в)

5. Заключение

Результатом работы стало приложение, которое поможет студентам разных направлений более наглядно изучить и закрепить лекционные и практические занятия. При помощи дополненной реальности реализовано взаимодействие с моделями поверхностей второго порядка. В будущем планируется добавить поверхности высших порядков и более детального реактора.

Список использованных источников:

1. Target Manager // Vuforia Developer Portal URL: <https://developer.vuforia.com/vui/develop/databases> (дата обращения: 15.04.2021).
2. Создание AR-игры с помощью Vuforia // habr.com URL: <https://habr.com/ru/post/440592/> (дата обращения: 16.04.2021).
3. Учебно-методический комплекс дисциплины «Математика». Раздел 2 «Аналитическая геометрия». Теоретические основы. Методические указания для студентов. Материалы для самостоятельной работы студентов. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. – С. 54 – 68.
4. Эллипсоиды // Математический форум Math Help Planet URL: <https://clck.ru/UK6Fk> (дата обращения: 15.04.2021).
5. Гиперболоиды: однополостный и двуполостный // Математический форум Math Help Planet UR: <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=giperboloid> (дата обращения: 15.04.2021).

6. Конусы: определение, сечения, построение // Математический форум Math Help Planet URL: <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=konus> (дата обращения: 15.04.2021).

УДК 004.42

ИГРОВОЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

Чернов Б.Ф. (БПО-20-01), Зиннатулин В.Ф. (БНИ-19-01),

Коледин С.Н. (к.ф.-м.н., доцент)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В данной статье анализируется игровой подход в обучении и проблема разности подготовки абитуриентов по математическим дисциплинам. Предлагается решение выравнивания уровня подготовки студентов при помощи мобильного приложения. Задачи мобильного приложения позволяют расширить количество способов обучения студентов и дают преподавателям новый способ проверки знаний обучающихся.

Ключевые слова: успеваемость, разработка, мобильное приложение, математика, обучение, скрипты

PLAYING APPROACH TO STUDYING NATURAL SCIENTIFIC DISCIPLINES

Chernov B.F., Zinnatulin V.F., Koledin S.N.

Annotation. Paper analyzes the gaming approach in training and the problem of the difference in preparation of entrants of mathematical disciplines. A solution to equalize the level of training students using a mobile application is proposed. The tasks of the mobile application expand the number of ways to teach students and give teachers a new way to test the knowledge of students.

Keywords: academic performance, development, mobile application, mathematics, training, scripts

Введение

Сегодня одним из важнейших критериев успешного и быстрого обучения в институте является степень школьной подготовки. Но при поступлении в университет школьники имеют разные уровни подготовки по математическим, естественнонаучным и гуманитарным дисциплинам, поскольку обучались в различных школах [1]. В результате у студентов может возникнуть проблема с освоением материала, а затем и с продолжением обучения в связи с неуспеваемостью и отчислением.

Какой метод может быть эффективным в поставленном вопросе? Было решено, что одним из самых эффективных способов решения этого вопроса является использование игровых технологий для образовательного процесса. Игра является уникальным механизмом аккумуляции и передачи социального опыта – как практического, так и этического, связанного с определёнными правилами и нормами поведения в различных ситуациях. Поэтому для решения поставленного вопроса было решено сделать мобильное приложение.

Разработка мобильного приложения для обучения студентов математике и другим дисциплинам играет особую роль в образовательном процессе, поскольку позволяет студентам самостоятельно изучать предмет в интересной форме викторины, не привлекая для этого преподавателей [2]. При этом приложение имеет огромный потенциал развития, благодаря возможности добавления новых заданий, разделов, предметов, не затрагивая уже имеющийся материал.

Анализ игрового подхода

В настоящий момент современная система образования обеспечивает педагогов многими возможностями и ресурсами для повышения эффективности учебного процесса. Одним из более эффективных методов является игровая деятельность. В свою очередь она актуальна и в обучении студентов высших учебных заведений. В игре человек полностью погружается в отведенную ему роль и раскрывает все свои возможности. Потому игровой деятельности придается большое значение в системе профессионального обучения студентов [3,4]. Игровая деятельность воссоздается на занятиях с помощью игровых способов и условий, которые называются игровыми технологиями и направлены на организацию деятельности обучающихся.

Основная часть

Основными видами человеческой деятельности являются учение, труд и игра. Игра наравне с ними – исключительный феномен нашего существования. Игра – это вид деятельности, который выражается в способности человека преобразовывать действительность, нацеленный на воссоздание и усвоение общественного опыта, где формируется и развивается самоуправление поведением.

Игровая технология – совокупность психолого-педагогических методов, способов приемов обучения, воспитательных средств. Освоение педагогом игровых технологий – имеет большое значение.

Игровые методы обучения не только делают обучение увлекательным и интересным, но и обеспечивает потрясающе качественное освоение знаний и навыков. То, что студент выучил – он может забыть через несколько дней, то, что освоил в игре – он запомнит на значительно больший промежуток времени.

Игра – самый естественный и мотивирующий вид деятельности, и основная естественная функция игры – именно обучение. В отличие от выполнения формальных заданий, игра воспринимается как очень важная и

полная смысловая деятельность, поэтому бывает так сложно оторвать человека от игры.

Преимущества

Использование мобильного приложения для изучения естественнонаучных дисциплин обладает следующим рядом достоинств:

1. Трудозатраты. Над приложением работает всего 2 человека, что позволяет уменьшить себестоимость приложения.

2. Освобождение преподавателей от дополнительной нагрузки. Как известно, слабые студенты (или должники) требуют повышенного внимания от преподавателей, поскольку неспособны вовремя сдавать работы и задания или не успевают осваивать программу. Мобильное приложение даёт преподавателям новый способ работы с описанной выше категорией студентов. Сотрудники УГНТУ смогут использовать приложение для «подтягивания» знаний студентов до необходимого уровня и дополнительных заданий.

3. Приложение написано в программе Unity на языке C#, поскольку эта платформа легка в освоении и обладает достаточным функционалом.

Unity — межплатформенная среда разработки компьютерных игр, Unity позволяет создавать приложения, работающие на более чем 25 различных платформах, включающих персональные компьютеры, игровые консоли, мобильные устройства, интернет-приложения и другие. Это позволило сделать удобную архитектуру приложения, которая позволяет добавлять новые задания, не меняя при этом код. Для этого использовался Unity Inspector Editor. Unity Inspector Editor позволяет вместо создания множества однотипных скриптов описывающих поведение игровых объектов, но имеющих небольшие отличия друг от друга, если можно создать один, а добавляя его как компонент объекту просто выбирался бы тип того самого объекта, а в редакторе (он же Inspector) было бы видно только те свойства и поля, что имеют прямое отношение к выбранному типу. Так же это позволило бы в зависимости от выбора внутри скрипта использовать те или иные методы. Так же, благодаря архитектуре, можно с лёгкостью добавлять новые разделы, а в будущем и новые дисциплины.

4. Формат приложения. Само приложение имеет формат викторины, где пользователю предлагается выбрать 1 из 4 вариантов ответа. Было решено, что данный формат является самым оптимальным, поскольку задания на каждом этапе можно решать «в уме» и ответ на них не занимает много времени, что позволяет заниматься в нём по 15 минут в день и всё равно приносить пользу студенту.

Чтобы приложение стало более «дружелюбным» для потенциальных пользователей было решено сделать изучения материала постепенным: от элементарных функций, к более сложным составным выражениям. Это позволяет студентам лучше понимать суть предмета, а также облегчает процесс обучения.

На данный момент в игре есть раздел математики: обучение производным.

В приложении существует система оценки пройденного материала и некоторая отметка, преодоление которой позволяет перейти на следующий этап, к следующему разделу [5].

Список использованных источников:

1. Алешугина Е.А., Ваганова О.И., Прохорова М.П. Методы и средства оценивания образовательных результатов студентов вуза. // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 59-3. С. 13-16.
2. Ваганова О.И., Иляшенко Л.К. Основные направления реализации технологий студентоцентрированного обучения в вузе // Вестник Мининского университета. 2018. Т. 6, №3. С.2 DOI: 10.26795/2307-1281-2018-6-3-2.
3. Ваганова О.И., Смирнова Ж.В., Трутанова А.В. Организация научноисследовательской деятельности бакалавра профессионального обучения в электронной среде//Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2017. Т. 6. № 3(20). С. 239-241.
4. Костылев Д.С., Кутепова Л.И., Трутанова А.В. Информационные технологии оценивания качества учебных достижений обучающихся // Балтийский гуманитарный журнал. 2017. Т. 6. № 3 (20). С. 190-192.
5. Лошкарева Д.А., Алешугина Е.А., Ваганова О.И., Кутепова Л.И. Контекстный подход к профессиональному образованию // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 58-3. С. 169-172.

УДК 622.24.051

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗАДАНЫХ СИСТЕМАМИ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В PYTHON**

Шаймарданова Г.Ф. (БНИ-18-01)¹, Коледина К.Ф. (к.ф.-м.н., доцент)^{1,2}

¹*Уфимский государственный нефтяной технический университет,*

²*Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН,*

г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В работе разработана программа на языке Python для численного решения системы дифференциальных уравнений математической модели каталитической реакции диметилкарбоната со спиртами в присутствии гексакарбонил вольфрама. Полученное решение проверено с помощью математического пакета Matlab. Использован решатель ode45, которые реализует одношаговый явный метод Рунге-Кутты 4-го и 5-го порядков в модификации Дорманда и Принца.

Ключевые слова: теория дифференциальных уравнений, задача химической кинетики, Python, метод Рунге-Кутты, гексокарбонил вольфрама

NUMERICAL SOLUTION OF MATHEMATICAL MODELS OF CHEMICAL PROCESSES GIVEN BY SYSTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS IN PYTHON

Shaimardanova G.F., Koledina K.F.

Annotation. In this work, a program in the Python language has been developed for the numerical solution of the system of differential equations of the mathematical model of the catalytic reaction of dimethyl carbonate with alcohols in the presence of tungsten hexacarbonyl. The solution obtained is verified using the mathematical package Matlab. The ode45 solver is used, which implements the one-step explicit Runge-Kutta method of the 4th and 5th orders in the modification of Dormand and Prince.

Keywords: theory of differential equations, problem of chemical kinetics, Python, Runge-Kutta method, tungsten hexocarbonyl

1. Введение

Сегодня моделирование используется для решения различных задач в самых разных областях. Моделирование позволяет получить описание моделируемого объекта, в частности осложнения, улучшающее и уточняющее его понимание и представляющее такую организацию информации, которая обеспечивает более легкое получение необходимой информации. Технология моделирования требует от исследователя умения ставить корректно проблемы и задачи, прогнозировать результаты исследования, проводить разумные оценки, выделять главные и второстепенные факторы для построения моделей, выбирать аналогии и математические формулировки, решать задачи с использованием компьютерных систем, проводить анализ компьютерных экспериментов.

Для раскрытия темы были взяты за основу теория дифференциальных уравнений и задача химической кинетики, которую можно решить с помощью дифференциальных уравнений. В качестве примера, в данной работе была рассмотрена математическая модель каталитической реакции диметилкарбоната со спиртами в присутствии гексакарбонил вольфрама, представленная в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка.

Для численного решения данной математической модели, описанной системой дифференциальных уравнения, был использован язык программирования Python. В частности, были использованы возможности пакета SciPy. Для проверки полученного результата была использована система MATLAB.

2. Химическая кинетика

Химическая кинетика – наука о скоростях и механизмах химических реакций. В отличие от термодинамики, химическая кинетика изучает протекание химических реакций во времени. Химическая кинетика описывает

химические реакции с помощью так называемых стехиометрических уравнений.

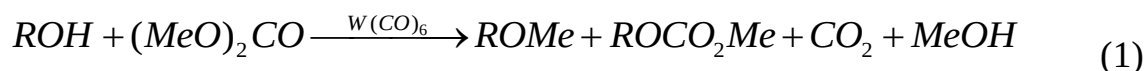
Системы уравнений химической кинетики, описывающие реакции, представляющие практический интерес, обычно имеют большие размерности, сильные нелинейности и малые сингулярно возмущающие параметры. Их численное исследование осложняется еще и тем, что эти системы, как правило, жесткие, что вынуждает разрабатывать специальные методы приближенного исследования.

Рассмотрим подробнее каталитическую реакцию диметилкарбоната со спиртами в присутствии гексакарбонил вольфрама.

Диметилкарбонат - сложный эфир угольной кислоты и метанола, который используется в органическом синтезе преимущественно как электрофильный реагент для введения метоксикарбонильной группы в соединения.

Гексакарбонилвольфрам - карбонильный комплекс вольфрама $W(CO)_6$, который используется в качестве катализатора в реакции диметилкарбоната со спиртами.

Реакция диметилкарбоната со спиртом в присутствии катализатора $W(CO)_6$ приводит к образованию четырех продуктов: $ROMe$, $ROCO_2Me$, CO_2 и $MeOH$



3. Математическая модель химической реакции

Математическая модель задач химической кинетики представляет собой систему обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений с начальными данными, то есть задачу Коши:

$$\frac{dx_i}{d\tau} = \frac{C_k}{V_p} \sum_{j=1}^J v_{ij} w_j, i = 1, \dots, I \quad (2)$$

$$w_j = k_j^0 \cdot e^{-\frac{E_j^+}{RT}} \prod_{i=1}^I (x_i)^{|\alpha_{ij}|} - k_{-j}^0 e^{-\frac{E_j^-}{RT}} \prod_{i=1}^I (x_i)^{|\beta_{ij}|}$$

с начальными условиями: при $\tau = 0, x_i(0) = x_i^0$;

где v_{ij} - стехиометрические коэффициенты; C_k - количество катализатора, моль; V_p - объем реакционной смеси, л; J - количество стадий, x_i - концентрации веществ участвующих в реакции, моль/л; I - количество веществ; w_j - скорость j -ой стадии, 1/с; E_j^+, E_j^- - энергии активации прямой и обратной реакций, ккал/моль; R - газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль*К) или 0,002 ккал/(моль*К); T - температура, К; α_{ij} - отрицательные элементы матрицы v_{ij} ; β_{ij} - положительные элементы матрицы v_{ij} ; k_j^0, k_{-j}^0 - предэкспоненциальные множители, 1/с.

Решение прямой задачи представляет собой решение систему однородных нелинейных дифференциальных уравнений с начальными данными и заданными кинетическими параметрами до некоторого времени t^* .

Для рассматриваемой реакции математическая модель, согласно (2) имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = -k_3 \cdot y_{16} \cdot y_1 - k_4 \cdot y_{16} \cdot y_1 \\ \dot{y}_2 = -k_2 \cdot y_{18} \cdot y_2 \\ \dot{y}_4 = k_3 \cdot y_{16} \cdot y_1 \\ \dot{y}_5 = k_4 \cdot y_{16} \cdot y_1 \\ \dot{y}_6 = k_3 \cdot y_{16} \cdot y_1 \\ \dot{y}_7 = k_5 \cdot y_{17} \cdot y_9 \\ \dot{y}_9 = k_2 \cdot y_{18} \cdot y_2 - k_5 \cdot y_{17} \cdot y_9 \\ \dot{y}_{13} = k_1 \cdot y_{15} \\ \dot{y}_{15} = -k_1 \cdot y_{15} \\ \dot{y}_{16} = k_2 \cdot y_{18} \cdot y_2 - k_3 \cdot y_{16} \cdot y_1 - k_4 \cdot y_{16} \cdot y_1 \\ \dot{y}_{17} = k_3 \cdot y_{16} \cdot y_1 + k_4 \cdot y_{16} \cdot y_1 - k_5 \cdot y_{17} \cdot y_9 \\ \dot{y}_{18} = k_1 \cdot y_{15} - k_2 \cdot y_{18} \cdot y_2 + k_5 \cdot y_{17} \cdot y_9 \end{cases} \quad (3)$$

$y_1(0) = 2,16$, $y_2(0) = 8,66$, $y_{15}(0) = 0,065$, $y_i(0) = 0$, $i = 4, 5, 6, 7, 9, 13, 15, 16, 17, 18$, где y_i – концентрации соответствующих веществ, моль/л: y_1 – ROH, y_2 – $(\text{MeO})_2\text{CO}$, y_4 – ROME, y_5 – ROCO_2Me , y_6 – CO_2 , y_7 – MeOH – продукты реакции (y_4 и y_5 – целевые); y_9 – MeO, y_{13} – CO, y_{14} – $\text{Co}^{2+}(\text{ROH})$ – промежуточные реагенты; y_{15} – $\text{W}(\text{CO})_6$ – исходный реагент (катализатор); y_{16} – $\text{W}(\text{CO})_5\text{CO}_2\text{Me}$, y_{17} – $\text{HW}(\text{CO})_5$, y_{18} – $\text{W}(\text{CO})_5$ – промежуточные реагенты, k_j – константы скоростей стадий.

Значения констант скоростей стадий реакции для температуры 180°C приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения констант скоростей стадий реакции диметилкарбоната со спиртами в присутствии гексакарбонил вольфрама для температуры 180°C

Константы скоростей	Температура
	180°C
k_1	63
k_2	0,0115
k_3	1,05
k_4	$0,06^2$
k_5	320

4. Численный метод решения системы дифференциальных уравнений первого порядка

Среди методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений можно выделить два класса. Это одношаговые многостадийные методы Рунге-Кутты и многошаговые одностадийные методы Адамса. Методы Рунге-Кутты обладают хорошими свойствами устойчивости, их просто реализовать, но они имеют ограниченный стадийный порядок. Напротив, нетрудно построить методы Адамса произвольного порядка, при этом стадийный порядок совпадает

с порядком метода. Однако реализовать такие методы с переменным шагом непросто, а их области устойчивости весьма ограничены. Поэтому в данной работе рассматриваются решения методом Рунге-Кутты.

5. Численное решение заданной системы дифференциальных уравнений и проверка полученного решения

Для решения системы дифференциальных уравнений математической модели реакции диметилкарбоната со спиртами в присутствии гексакарбонил вольфрама была разработана программа на языке программирования Python с использованием возможностей пакета SciPy, в частности модуль SciPy.integrate.

Язык Python является интерпретируемым высокоуровневым языком программирования, поддерживающим разработку программ с использованием структурного, функционального, объектно-ориентированного и др. подходов. С помощью Python создаётся как системное, так и прикладное программное обеспечение, программы с графическим интерфейсом, веб-приложения, программы для научных расчётов и т. д. Python имеет богатую стандартную библиотеку. Кроме того, для Python написано большое количество прикладных библиотек, в том числе для научных расчётов, которые позволяют решать ряд математических задач без необходимости самостоятельной разработки алгоритмов.

Одним из пакетов, позволяющим работать с системами дифференциальных уравнений является пакет SciPy. Пакет SciPy содержит различные инструменты, которые часто используются при научном программировании.

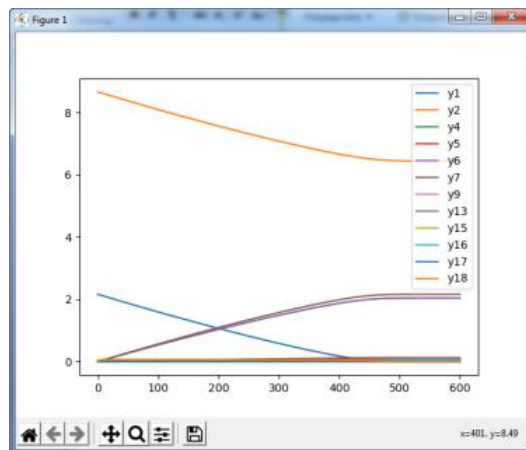


Рисунок 1 – Результат, полученный в Python

Согласно полученным графикам исходный спирт и диметилкарбонат (y_1 , y_2) расходуются в ходе реакции, причем диметилкарбонат полностью расходуется, а спирт сохраняется, так как он находится в избытке.

Для проверки результатов, полученных в Python, была разработана программа в системе MATLAB.

Среди современных систем компьютерной математики, в первую очередь ориентированных на численные расчеты, особо выделяется матричная математическая система MATLAB, которая является одним из лидеров в

области современного математического и научно-технического программного обеспечения.

Для решения систем дифференциальных уравнений в MATLAB реализованы различные численные методы. Их реализации названы решателями дифференциальных уравнений. В MATLAB существует целое семейство таких решателей. В частности, это ode45, ode23, ode113, ode15s, ode23s, ode23t, ode23tb, bvp4 или pdepe. В работе был использован решатель ode45, который реализует одношаговый явный метод Рунге-Кутты 4-го и 5-го порядков в модификации Дорманда и Принца. Это классический метод, рекомендуемый для начальной пробы решения. Во многих случаях он дает хорошие результаты.

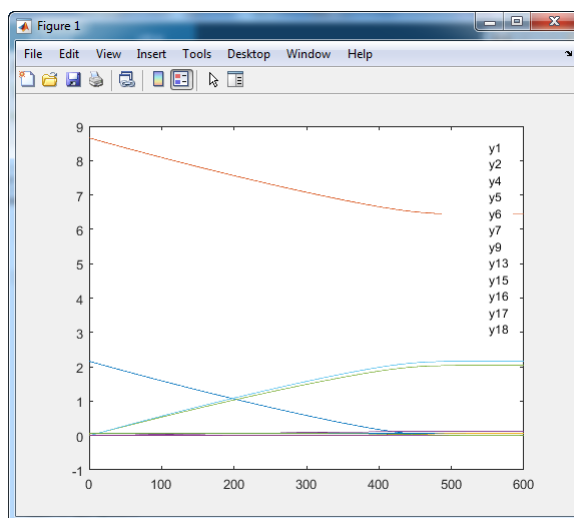


Рисунок 2 – Результат, полученный в MATLAB

Как можно увидеть на рисунках (рисунка 2), графики функций, полученные в ходе решения в разных системах, одинаковы.

Таким образом, в работе разработана программа на языке Python для численного решения системы дифференциальных уравнений математической модели сложной каталитической реакции. Полученное решение проверено с помощью математического пакета Matlab.

Список использованных источников:

1. Губайдуллин И.М., Сайфуллина Л.В., Еникеев М.Р. Информационно-аналитическая система обратных задач химической кинетики. Учебное пособие БашГУ. Уфа, 2012.
2. Дэвид М. Бизли Python. Подробный справочник, 2010.
3. Марк Лутц - Изучаем Python. 4 издание, 2011.
4. Денисов Е.Т. Кинетика гомогенных химических реакций. М.: Высшая школа, 1988.
5. Денисов Е.Т., Саркисов О.М., Лихтенштейн Г.И. Химическая кинетика. М.: Химия, 2000.
6. Еремин Е.Н. Основы химической кинетики. М.: Высшая школа, 1976.

7. Koledina K.F., Koledin S.N., Schadneva N.A., Mayakova Y.Yu., Gubaydullin I.M. Kinetic model of the catalytic reaction of dimethylcarbonate with alcohols in the presence $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ and $\text{W}(\text{CO})_6$ // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. 2017. - Т. 121. - № 2. - С.425-438.

УДК 622.24.051

ПРИЛОЖЕНИЕ НА PYTHON ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ МОДЕЛИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

Эргашева С.С. (БНИ-17-01), Глебов С.Г. (доцент)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. При оценке качества нефтепродуктов широкое распространение наряду с такими параметрами, как плотность и фракционный состав, получил коэффициент вязкости, который мы и будем определять в ходе данной работы, чтобы определить оптимальную сложность модели, а также создадим клиентское приложение на базе библиотеки Tkinter на языке программирования Python.

Ключевые слова: коэффициент вязкости, клиентское приложение, нефть, оптимальная модель, математическая модель, обратная задача, трубопровод, ПО, ЯП (язык программирования)

APPLICATION ON PYTHON FOR DETERMINING THE OPTIMAL COMPLEXITY OF THE LIQUID FLOW IN A PIPELINE MODEL

Ergasheva S.S., Glebov S.G.

Annotation. When assessing the quality of petroleum products, along with such parameters as density and fractional composition, the viscosity coefficient has become widespread, which we will determine in the course of this work in order to determine the optimal complexity of the model, as well as create a client application based on the Tkinter library in the Python programming language.

Keywords: viscosity coefficient, client application, oil, optimal model, mathematical model, inverse problem, pipeline, software, PL (programming language)

Реология — наука, изучающая механическое поведение твердо-жидкообразных тел, структурно-механические свойства нефтей.

Именно реология занимается нахождением таких параметров, как:

τ — значение касательного напряжения и $\dot{\gamma}$ — скорость сдвига, по которым и будет рассчитываться оптимальная сложность модели.

Сущность нахождения модели оптимальной сложности заключается в ее поэтапной структурной идентификации (также называемой обратной задачей),

т.е. одновременном определении оптимальной структуры и оценки параметров модели. Для решения этой задачи, когда структура объекта и, соответственно, модели неизвестна, или известна неполностью, генерируются определенные наборы моделей различной сложности и отбирается лучшая из них по функционалам эмпирического и среднего риска.

Функционал эмпирического риска рассчитывается по следующей формуле:

$$I(a)_0 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l [\tau_i - f(\dot{\gamma}_i, a)]^2, \quad (1)$$

где $I(a)_0$ - функционал эмпирического риска, a - коэффициент вязкости, l - объем выборки.

Функционал среднего риска:

$$I(a)_m = \left[\frac{I(a)_0}{1 - \sqrt{\frac{n[\ln(l)+1] - \ln \mu}{l}}} \right]_{\infty}, \quad (2)$$

где n - сложность идентифицируемой модели.

В работе были использованы четыре вида моделей:

- 1) Модель ньютоновской жидкости (сложность - 1), $\tau = a_1 \dot{\gamma}$;
- 2) Модель Шведова-Бингама (сложность - 2), $\tau = a_1 + a_2 \dot{\gamma}$;
- 3) Степенная модель (сложность - 2), $\tau = a_1 \dot{\gamma}^{a_2}$;
- 4) Модель Гершеля-Бакли (сложность - 3), $\tau = a_1 + a_2 \dot{\gamma}^{a_3}$.

Далее по расчетам вязкости программа совершает расчеты функционалов риска, по которым и будет определяться оптимальная модель (по самым набору наименьших показателей - функционалам риска и вязкости).

После расчетов было создано клиентское приложение на Python с использованием пакета Tkinter.

Tkinter - это пакет для Python, предназначенный для работы с библиотекой Tk. Библиотека Tk содержит компоненты графического интерфейса пользователя.

Созданная программа позволяет пользователю ввести свой набор данных или же загрузить файл и рассчитать оптимальную сложность модели, вывести график вязкости, а также сохранить результаты всех расчетов в файл, чтобы в дальнейшем можно было их анализировать.

Интерфейс программы:

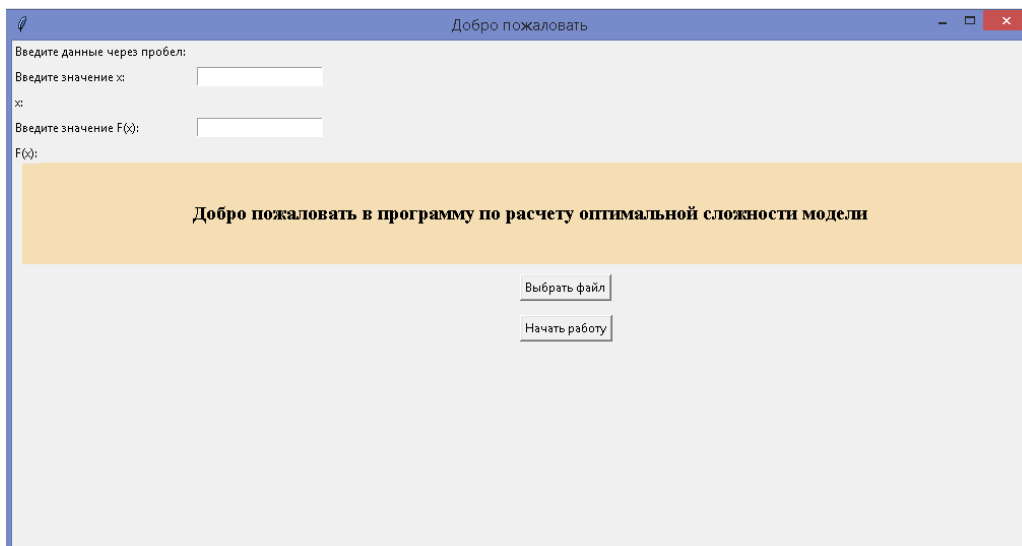


Рисунок 1 – Интерфейс программы

В ходе работы для нахождения оптимальной сложности модели были использованы данные из книги Мирзаджанзаде А.Х., Хасанова Р.Н. и Бахтизина Р.Н. «Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи».

Таблица 1 – Исследуемые данные

$\dot{\gamma}_i, 1/c$	3.0	5.4	9.0	26.2	27.0	48.6	81.0	145.8
$\tau_i, Па$	1.22	1.67	2.28	3.15	4.32	5.63	8.54	12.15

После нажатия кнопки «Начать работу» пользователю выдается новое окно:

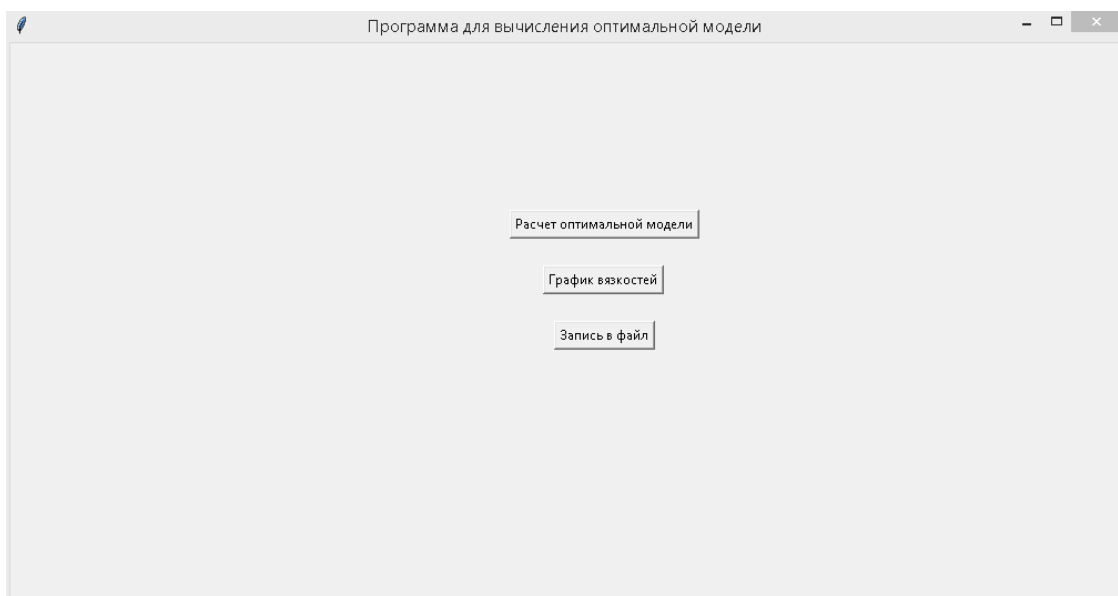


Рисунок 2 – Клиентское приложение для расчета оптимальной сложности модели

Полученные результаты по данным из таблицы 1:

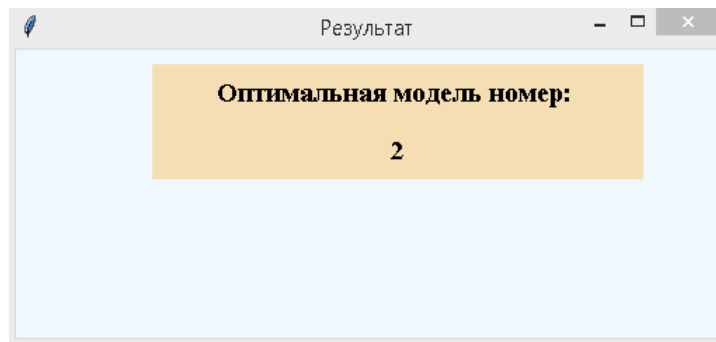


Рисунок 3 – Результат

Запись в файл:

```

I0, Im и коэффициент вязкости для 1 модели:
1.541711741940773, 8.821031043253129, 0.09362059832509331
I0, Im и коэффициент вязкости для 2 модели:
0.3248068256861067, 2.916270985851998, 0.08031089193825042
I0, Im и коэффициент вязкости для 3 модели:
1.5858423136961428, 10.210693071896799, 0.9866811697416192
I0, Im и коэффициент вязкости для 4 модели:
0.2722845960443795, inf, 0.9960481162490312
  
```

Рисунок 4 – Результат расчетов

Расчеты также были проведены и вручную, чтобы проверить правильность решения задачи на языке Python. Результаты совпали, модель под номером 2 (сложность равна 2) является оптимальной для данного набора данных.

Список использованной литературы:

1. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи – М.: Гилем, 1999.
2. Ахметов А.Т., Глухов В.В, Мавлетов М.В. Проблемы моделирования течения инвертных водонефтяных дисперсий в капиллярах // Казань: Издательство Казанского математического общества. 2004.
3. Ахметов А., Телин А., Корнилов А. Дисперсионные и реологические характеристики обратных водонефтяных эмульсий на основе нефтей приобского и мамонтовского месторождений // Научно-технический вестник. ЮКОС. № 9. 2004.
4. Вишняков В.И., Павлов К.Б., Романов А.С. Перистальтическое течение неньютоновской вязкопластической жидкости в щелевом канале. Инженерно-физический журнал, 1976, т. XXX1, № 3, с. 499–505.
5. Гноевой А.В., Климов Д.М., Чесноков В.М. Основы теории течений бингамовских сред. Москва, Физматлит, 2004, 272 с.

СЕКЦИЯ «МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В НЕФТЕГАЗОВОМ ДЕЛЕ»

УДК 622.4

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РОТОРА С РАБОЧИМИ КОЛЕСАМИ

*Абдуллаев Н.А. (ММО32-19-01), Баязитов М.И. (к.т.н., доцент)
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматривается исследование собственных колебаний напряженно-деформированного состояния ротора в сборе с рабочими колесами, реализованном в программном комплексе ANSYS. Выполнено моделирование собственных колебаний модели ротора, получены результаты распределений напряжений и деформаций от скорости вращения ротора.

Ключевые слова: собственные колебания, рабочее колесо, ротор, частота, вал, моделирование, дисбаланс, деформация

STRESS STATE OF THE ROTOR WITH IMPELLERS

Abdullaev N.A., Bayazitov M.I.

Annotation. The article deals with the study of natural oscillations of the stress-strain state of the rotor in the assembly with impellers, implemented in the ANSYS software package. Modeling of natural vibrations of the rotor model is carried out, the results of stress and strain distributions from the rotor speed are obtained.

Keywords: natural vibrations, working wheel, rotor, frequency, shaft, modeling, imbalance, deformation

Учитывая, что различные формы собственных колебаний вала могут приводить к его угловому перемещению, то закрепленные на нем рабочие колеса благодаря гироскопическому эффекту должны стремиться вернуть вал к исходной оси вращения. Для численного исследования собственных колебаний и напряженно-деформированного состояния был рассмотрен ротор в сборе с рабочими колесами, модель которого приведена на рисунке 1.

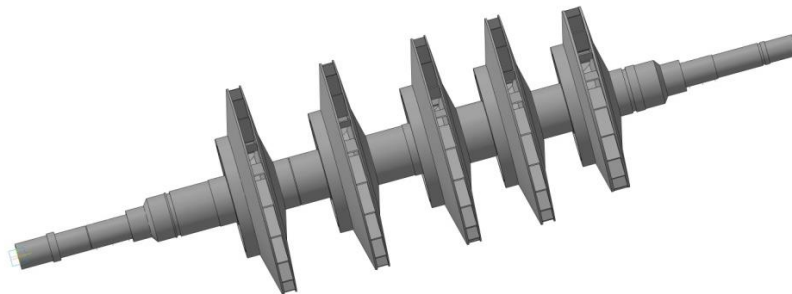


Рисунок 1 – Модель ротора

Конечно-элементная модель представлена на рисунке 2, ее характеристики в таблице 1.

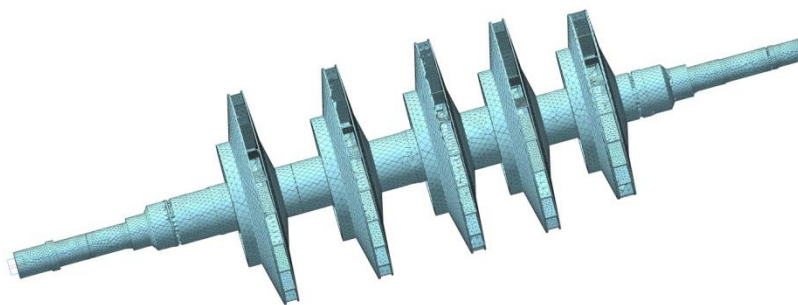
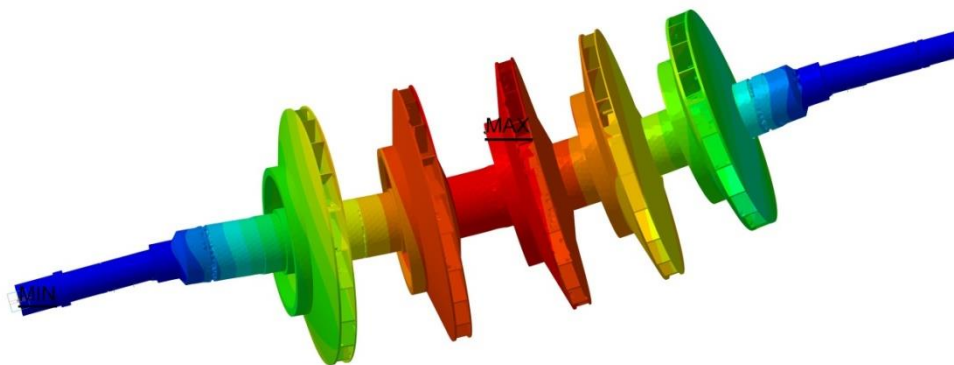


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель ротора

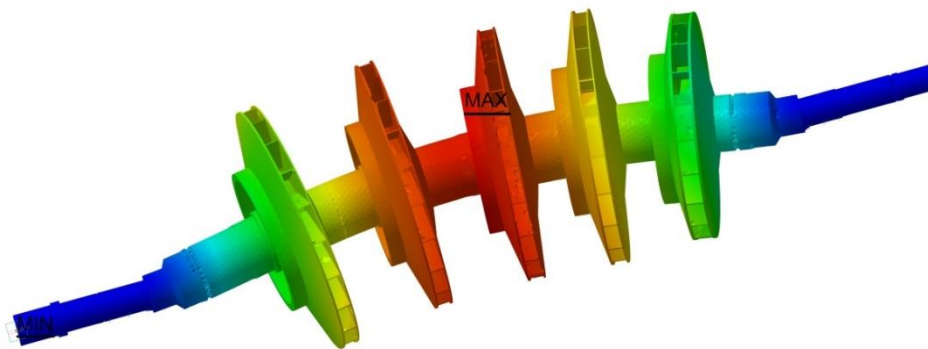
Таблица 1 – Характеристика конечно-элементной модели

Наименование	Значение
Тип элементов	4-узловые тетраэдры
Максимальная длина стороны элемента [мм]	25
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	4
Коэффициент разрежения в объеме	1,5
Количество конечных элементов	280189
Количество узлов	74292

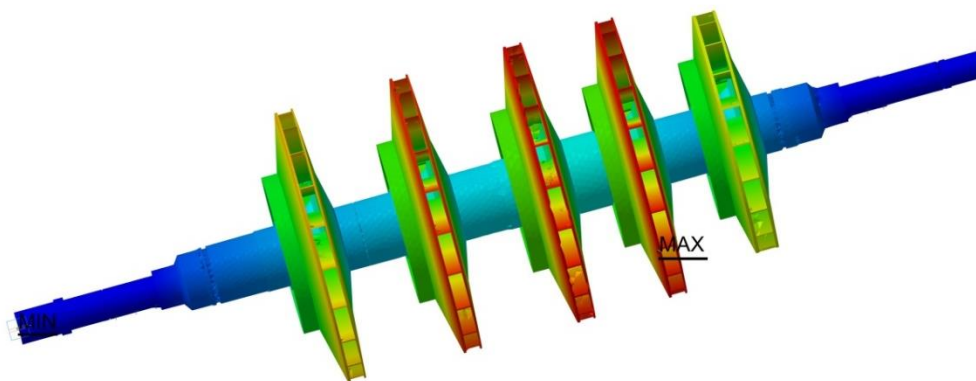
В результате моделирования собственных колебаний модели ротора установлено 5 форм колебаний, которые приведены на рисунке 3.



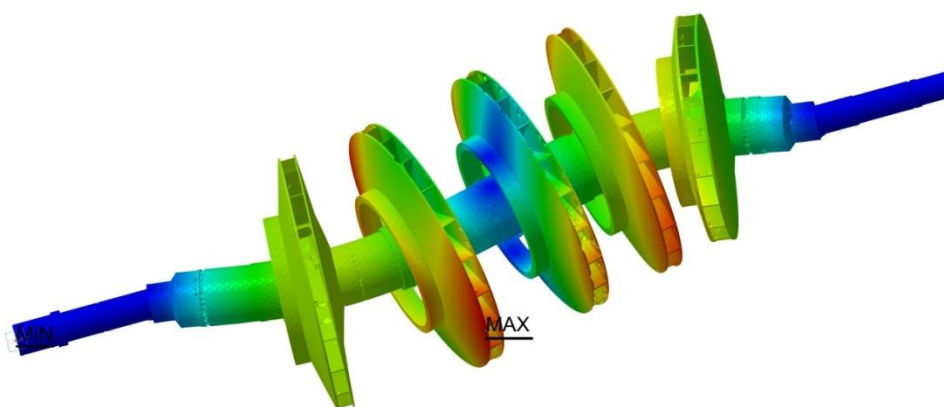
1-я форма собственных колебаний



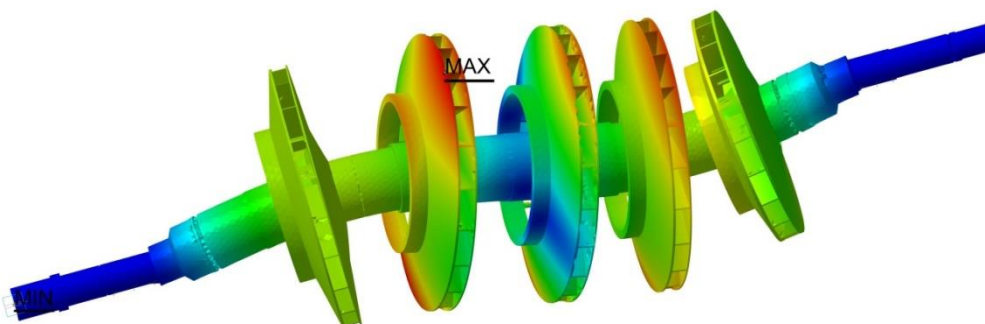
2-я форма собственных колебаний



3-я форма собственных колебаний



4-я форма собственных колебаний



5-я форма собственных колебаний

Рисунок 3 – Формы собственных колебаний

Для каждой формы колебаний соответствуют свои расчетные частоты, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчета собственных частот колебаний ротора

№	Частота [рад/с]	Частота [Гц]	Частота вращения [об/мин]
1	580,42	92,37	5544
2	584,52	93,02	5581
3	766,04	121,92	7315
4	1647,20	262,16	15732
5	1649,99	262,60	15756

Таким образом, при вращении данного геометрического ротора с частотой 580 рад/с (5544 об/мин.) при незначительном дисбалансе может произойти совпадение с собственными частотами колебаний, возрастание амплитуды и разрушение вала.

Для определения напряженно-деформированного состояния ротора проведено его численное моделирование в условиях смещения одной опоры вала на 5 мм. На рисунке 4 показано распределение эквивалентных напряжений, а на рисунке 5 распределение абсолютных деформаций.

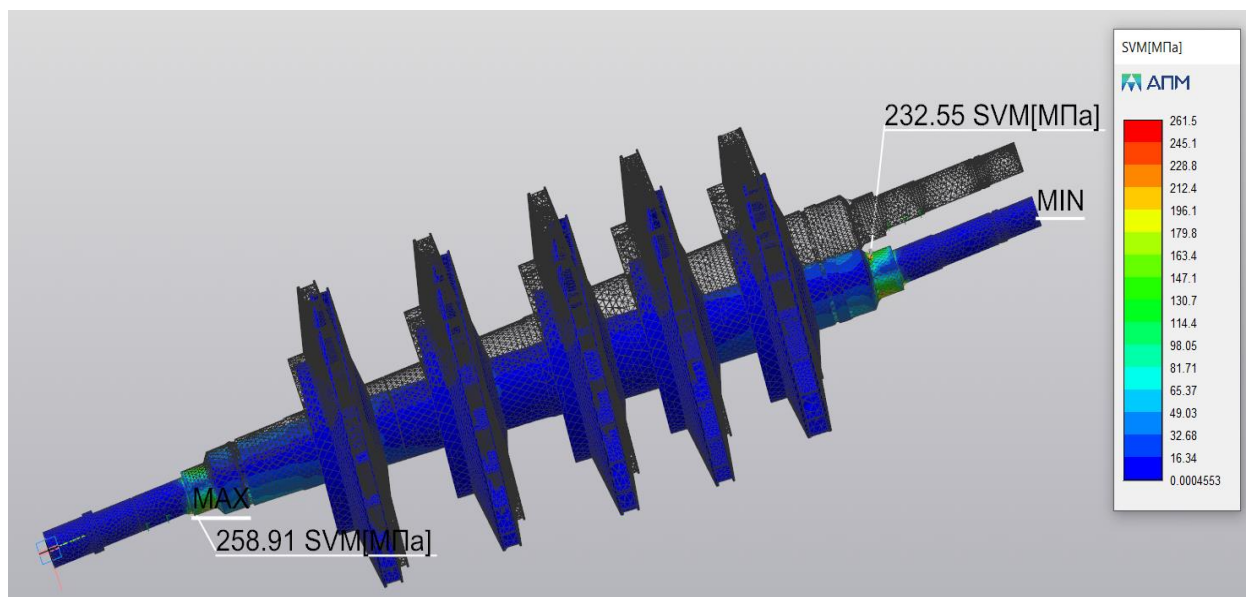


Рисунок 4 – Распределение эквивалентных напряжений в роторе

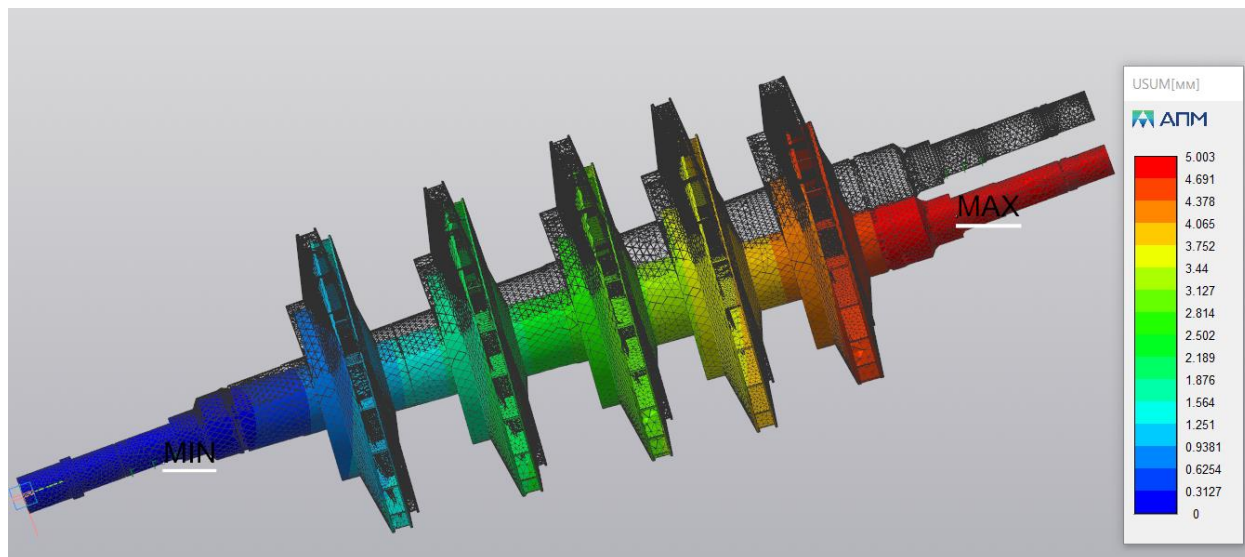


Рисунок 5 – Распределение абсолютных деформаций в роторе

Анализ результатов показывает, что максимальные напряжения возникают в сечениях вала в зоне опор. Но с учетом характера форм собственных колебаний ротора максимальные амплитуды (радиальные перемещения) наблюдаются и в других сечениях вала ротора, что может привести к возникновению различных очагов разрушения вала по его длине.

Возникающие смещения частей ротора приводит к их контактному взаимодействию с неподвижными корпусными деталями с последующим катастрофическим разрушением компрессора.

Список использованных источников:

1. Футин В.А. Определение переменных аэродинамических нагрузок и динамических напряжений, действующих на рабочее колесо центробежного компрессора: диссертация кандидата технических наук. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, 2006.
2. Расчет пространственной структуры потока в ступени осевого компрессора в программном комплексе ANSYS CFX: электрон. учеб. пособие / О.В. Батурин, Д.А. Колмакова, В.Н. Матвеев и др.; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. дан. (1файл: 3,12 Мбайт). - Самара: , 2011. - on-line.
3. Мелентьев В.С., Гвоздев А.С. Исследование крутильных колебаний валов Электронное учебное пособие САМАРА 2011.

КОНСТРУКЦИЯ БЕЗВАЛЬНОГО СОВМЕЩЕННОГО НАСОСА

*Ахсанов А.В. (ММП-20-01), Булюкова Ф.З. (к.т.н., доцент)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Рассматриваются этапы создания нового совмещенного безвального насосного агрегата, в том числе повышение эффективности проточной части. Целью данной работы является уменьшение гидравлических потерь, присутствующие в современных насосов. При помощи выбора оптимальной конструкции насоса и проведения испытания на масштабных моделях. Главным критерием эффективности испытательного стенда следует считать точное определение контролируемых параметров и их характеристик.

Ключевые слова: безвальный насосный агрегат, стенд, совмещенный насос-электродвигатель, испытание, потери

SHAFTLESS COMBINED PUMP DESIG

Ahsanov A.V., Bulyukova F.Z.

Annotation. The stages of creating a new combined shaftless pumping unit, including increasing the efficiency of the flow path, are considered.

The aim of this work is to reduce the hydraulic losses present in modern pumps. By selecting the optimal pump design and performing scale model testing. The main criterion for the effectiveness of the test bench should be considered the precise definition of the controlled parameters and their characteristics.

Keywords: shaftless pump unit, universal pump unit, stand, combined pump-electric motor, test, losses

Набор параметров, которые позволят всесторонне оценить эффективность гидравлической части нового насосного агрегата, определяют основные технические решения для включения в состав испытательного оборудования.

К ключевым параметрам, определяемым по результатам испытаний гидравлической части безвального насосного агрегата с учетом требований ГОСТ ISO 9906-2015 «Насосы динамические. Гидравлические испытания», относятся:

- подача (расход);
- давление (напор) на входе в испытательную оснастку;
- давление (напор) на выходе из испытательной оснастки;
- мощность электродвигателя;
- частота вращения вращающейся части испытательной оснастки;
- потребляемая мощность;
- температура.

Необходимость получения качественных показаний по определяемым параметрам является основой для проектирования испытательного стенда.

Анализ методик получения перечисленных параметров показал, что для их достоверной оценки достаточно на первом этапе создать одноконтурный замкнутый стенд, в составе которого кроме описанной выше испытательной оснастки для гидравлической части насоса должны фигурировать манометр на нагнетательной линии (после испытательной оснастки), мановакуумметр на всасывающей линии (до испытательной оснастки), мерный бак для определения расхода, термометр в расходном баке, а также тахометр или другое устройство для замеров частоты вращения вращающейся части испытательной оснастки, имеющей привод от ременной передачи и электродвигателя.

Все перечисленные выходные параметры должны применяться для получения производных значений, определяющих гидравлическую эффективность и кавитационный запас спроектированной проточной части.

К условиям измерения всех параметров на стенде также должен предъявляться комплекс требований по испытаниям.

Давление на входе определяется мановакуумметром и позволяет получить энергетические и кавитационные характеристики лопастных нагнетателей.

Кроме того, измеряемое давление на входе при помощи мановакуумметра класса точности не менее 1,5 позволит по результатам параметрических испытаний определить всасывающую способность проектируемого рабочего колеса, и получить фактические значения разряжения перед входом в рабочую область испытательной оснастки.

Критерием точного замера давления на выходе является обеспечение соответствующей увеличенной по сравнению со всасывающей линией длиной нагнетательной линии. Примерное соотношение длин нагнетательной к всасывающей линии должно быть не менее 2:1. При этом замер избыточного давления на выходе с применением манометра должен проводиться на расстоянии не менее 10 калибров (диаметров) от выхода жидкости из нагнетательной части. Данные требования при работе позволят исключить скачки давления, которые могут влиять на достоверность показаний манометра. Класс точности манометра должен быть не менее 1,5, следовательно, погрешность не должна превышать 1,5 % предельного показания шкалы, вместе с тем шкала может находиться в пределах 25 атм.

Для снабжения стабильности подачи при замере расхода для стенда необходима определение максимально высокой точки выхода жидкости в мерную емкость. Эти условия обязательны для обеспечения стабильного давления на выходе из нагнетательного трубопровода путем исключения влияния столба жидкости в мерной емкости на давление. Соответственно, для мерной емкости, имеющей свободную поверхность рабочей жидкости, необходимо обеспечить соединение с нагнетательной линией через её верхнюю точку.

При этом определение высоты размещения мерной емкости определяется посредством известных соотношений.

Уравнение неразрывности и уравнение Бернулли, после записи в общем виде преобразуются и позволяют определить необходимую высоту для сохранения неразрывности потока

$$\begin{cases} Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n \\ z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + h_w \\ h_w = H_1 - H_2 \end{cases} \quad (1)$$

где h_w - удельные потери напора на преодоление всех сопротивлений (преодоление сил вязкости и сил трения между жидкостью и стенкой).

Частота вращения рабочего колеса - при замере частоты вращения могут в зависимости от исполнения стенда применяться тахометр (тахоскоп), это автоматическое счетное устройство числа оборотов за определенное время, встроенное в конструкцию испытательной оснастки. Помимо тахометра может применяться скоростная видеокамера, все же параметры определения предельной относительной погрешности измерений при её использовании требуют дополнительной проверки и будут зависеть от технических характеристик камер.

Потребляемая мощность определяется согласно ГОСТ 27570.0-87.

Температура - общим критерием корректности испытаний, а также проводимых измерений параметров является стабильности температурного режима перекачиваемой рабочей жидкости в пределах 10° С. Изменения температуры, превышающие данный показатель будет влиять на изменение в показаниях измерений давлений и может исказить результаты сравнения.

Для контроля температурного режима в расходной емкости необходимо разместить термометр на трубопроводе нагнетания не менее чем на 20 диаметрах от нагнетательного элемента. Цена деления термометра в 1 °С.

Гидравлическое сопротивление стенда.

При проведении испытаний и формировании выводов о гидравлической эффективности спроектированной проточной части, требуется произвести учет всего спектра гидравлических сопротивлений по всему гидравлическому контуру. При этом общее гидравлическое сопротивление стенда должно быть определено в интервале подач от нуля до точки, превышающей оптимальную подачу, развиваемую спроектированной проточной частью, на 10%. Должно быть проверено следующее условие:

$$H_{(Q_{max})} = \sum (\zeta_i + \lambda_i \frac{l_i}{d_i}) \times \frac{v_{imax}^2}{2g}, \quad (2)$$

где: $H_{(Q_{max})}$ – напор насоса, соответствующий максимальной подаче на испытаниях, м;

v_{imax}^2 - скорость при наибольшей подаче на i -м участке трубопровода, м/с.

Заключение: Математическое моделирование играет важную роль в любой научно-технической деятельности, в статье описывается, как при помощи формул, можно найти рабочие характеристики данного насосного агрегата.

Список использованных источников:

1. Колпаков, Л.Г. Промышленные испытания погружного совмещенного с насосом электропривода-подогревателя / Л.Г. Колпаков [и др.] // Труды НИИТранснефть, вып. вып.6. Уфа. 1969.
2. Колпаков, Л.Г. Эксплуатация магистральных насосных агрегатов. Учебное пособие / Л.Г. Колпков. – Уфа: Изд. Уфимск. нефт. института, 1988, – 116 с.
3. Яременко, О.В. Испытание насосов. Справочное пособие / О.В. Яременко. - М.: Машиностроение, 1976. - 225с.
4. Бажайкин, С.Г. О пересчете характеристик центробежных насосов при изменении диаметра и ширины каналов рабочего колеса на выходе / С.Г. Бажайкин, А.С. Михеев // Труды X Международной научно-технической конференции СИНТ-19. 2019. - С.188-194.
5. Бажайкин, С.Г. Опыт разработки и проектирования центробежных насосов для отечественных систем промыслового сбора и магистрального транспорта нефти / С.Г. Бажайкин, А.С. Михеев, А.А. Багманов, В.С. Велижанин // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, 018. - Т.8. - № 2. - С. 188-196.
6. Гонор, А.Л. К теории гидродинамического теплового взрыва / А.Л. Гонор, А.А. Чулков // Доклады Академии наук СССР, 1991. Том 316. №4. - С.856-860.
7. Влияние вибрации на работоспособность электропогружных центробежных насосных установок/ Уразаков К.Р., Думлер Е.Б.// Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. 2016. - №1. - С.214-217.
8. Справочное пособие по глубиннонасосному оборудованию/ Архипов К.И., Абзипаров Р.Н., Мотыгуллин С.Х., Баров Ю.Н., Думлер Е.Б. - Альметьевск, 2008.
9. Анализ влияния вибрации на межремонтный период погружных центробежных установок/ Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З., Вахитова Р.И.// В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы IV Международной научно-практической конференции. 2019. С. 271-276.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН ОТКАЗОВ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ФОНДА ЮЖНО-РОМАШКИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

*Безруков Д.В. (студент гр. 28476)¹, Думлер Е.Б. (к.т.н., доцент)^{1,2},
Вахитова Р.И. (к.т.н., доцент)³*

¹*Филиал ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ в г. Лениногорске, Российская Федерация*

²*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

³*Альметьевский государственный нефтяной институт,
г. Альметьевск, Российская Федерация*

Аннотация. Работа посвящена изучению причин возникновения отказов насосного оборудования нефтедобывающих скважин и необходимости проведения подземных ремонтов скважин в случае их отказов. Исследован действующий механизированный фонд Южно-Ромашкинской площади. Основная задача исследования – определить наиболее частые причины возникновения необходимости проведения подземного ремонта скважин и влияющие на эти причины факторы. Рассмотрены статистические данные выхода из строя оборудования Южно-Ромашкинской площади.

Ключевые слова: скважина, штанговый скважинный насос, подземное колонна штанг, обрыв

STUDY OF THE REASONS OF FAILURES OF THE MECHANIZED FOUNDATION OF THE YUZHNO-ROMASHKINSKAYA SQUARE

Bezrukov D.V., Dumler E.B., Vakhitova R.I.

Annotation. The work is devoted to the study of the reasons for the failure of pumping equipment of oil producing wells and the need for underground repairs of wells in the event of their failures. The operating mechanized fund of the Yuzhno-Romashkinskaya area was investigated. The main objective of the study is to determine the most common reasons for the need for underground well workover and the factors influencing these reasons. The statistical data on equipment failure in the Yuzhno-Romashkinskaya area are considered.

Key words: well, sucker rod pump, underground rod string, breakage

Большая часть скважин действующего механизированного фонда Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения эксплуатируется штанговыми насосами [1,2]. Лишь небольшая часть - установками электроцентробежных насосов, что говорит о малодобитности фонда и переходе скважин Южно-Ромашкинской площади в последнюю стадию разработки.

Наиболее используемые приводы штанговых установок типа UP-9T-2500-3500, СК8-3,5-4000 и UP-12T-3000-5500, у которых длина хода соответственно

равна: 2,5; 3,5; 3 м. Нельзя не отметить, что лишь одна насосная установка приводится в действие с помощью цепного привода.

Штанговые скважинные насосные установки (ШСНУ), работающие в скважинах с числом качаний менее 2 – отсутствуют. Наибольший процент ШСНУ имеют 3...4 и 4...5 качаний в минуту [3].

Фонд трубных насосов включает в себя более 100 единиц. Трубные насосы имеют толстостенные цилиндры. Основными типами трубных насосов, используемых на Южно-Ромашкинской площади, являются 25-175-ТНМ-11-4-2-3 и 25-225-ТНМ-11-4-2-3. Целый ряд типоразмеров насосов представлен в единичных случаях, а именно: 25-225-ТНМ-9-4-4, 30-275-ТНМ-11-4-2-3, 30-275-ТНМ-Д-22-4-2-2, НН2Б-44, 25-125-ТНМ-11-4-6, 25-125-ТНМ-14-4-2-2, 25-125-ТНМ-Т-11-10-2-2, 20-175-ТНМ-14-4-4, 25-175ТНМТ-11-10, 25-225-ТНМ-22-10-4 [2].

Фонд вставных насосов насчитывает более 200 единиц. Во всех насосах также используется толстостенный цилиндр. Почти 85% всего фонда вставных насосов составляют 3 вида насосов: 20-125-РНАМ-12-4-2-2, 20-125-РНАМ-12-4, 20/25-125-РНМ-Т-12-4-4.

Общее количество установок погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН) составляет около 40 штук. Особо выделяется лишь одна модель насоса - ЭЦН5-50-1300, которая рассчитана на дебит не более 50 м³/сут. и с напором до 1300 м. Другие типы насосов, из выше упомянутых, используются относительно в равных количествах.

Основную часть фонда составляет скважины, оборудованные устьевой арматурой АУ 50-140. Она рассчитана на рабочее давление до 14 МПа и имеет условный проход диаметром 50 мм.

Значительную часть (82 %) от фонда составляют скважины с дебитом до 20 м³/сут. Скважины с дебитом более 30 м³/сут. эксплуатируются с помощью УЭЦН.

На Южно-Ромашкинской площади около 130 скважин относятся к фонду высокообводнённых (>80 %), более 120 скважин – к малообводнённому (<40 %), около 100 скважин – к среднеобводненному фонду (40-80%), что составляет 28,53 % от всего механизированного фонда скважин. Известно, что именно в этом диапазоне обводненности создаются наиболее напряженные условия работы насоса из-за образования стойких эмульсий.

Больше половины скважин имеют глубину подвески насоса более 1300 м. С уменьшением глубины подвески уменьшается и количество скважин. Данное распределение характеризуется недостаточным пластовым давлением, из-за чего необходимо спускать насос глубже.

За последнее время на Южно-Ромашкинской площади было произведено более 110 подземных ремонтов. Ремонты, связанные с эксплуатационными отказами, составили 66,38 % от всех ремонтов. Ремонты по причине геолого-технических мероприятий – 28,45 % [4]. Ремонты, связанные с внедрением насосного способа – 4,31 %. Прочие ремонты 0,86 %.

Статистика основных причин эксплуатационных отказов, полученная путем математических преобразований, приведена на графе (рисунок 1).

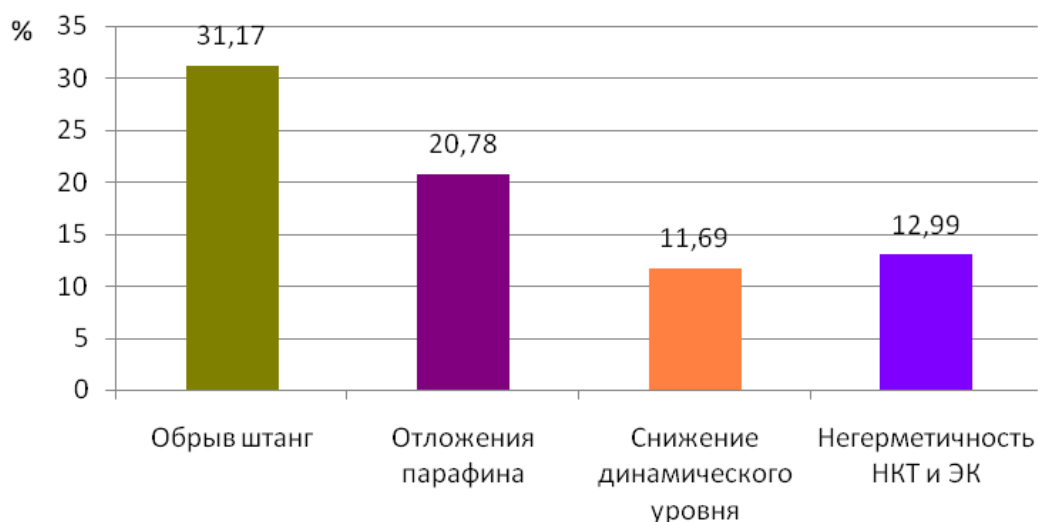


Рисунок 1 – Основные причины эксплуатационных отказов

Как видно из графика максимальное количество ремонтов было произведено по причине обрыва штанг – 24 случая ремонта. Исходя из этого, можно предположить, что самая популярная причина ремонта на Южно-Ромашкинской площади – это обрыв штанг. Следующими по численности идут отложения парафина, было произведено 16 ремонтов. Также к основным эксплуатационным ремонтам относятся ремонты, связанные со снижением динамического уровня и негерметичности насосно-компрессорных труб и эксплуатационной колонны.

Для снижения количества ремонтов по каждой из причин, необходимы детальные многофакторные анализы и постоянные работы по усовершенствованию и профилактическим осмотрам оборудования, т. е. проводить планово-предупредительный ремонт, который включает операции, осуществляемые по заранее составленному графику, предусматривающему ревизию, частичную или полную замену подземного оборудования, очистку и промывку забоя скважины, пропарку труб. Как следует из самого определения, планово-предупредительный ремонт должен проводиться еще до того, как в скважине снизится дебит или прекратится подача жидкости.

Рассмотрим более подробно ремонты, связанные со следующей причиной (которые составляют 31,17 % всех эксплуатационных отказов) - обрыв штанг (рисунок 2).

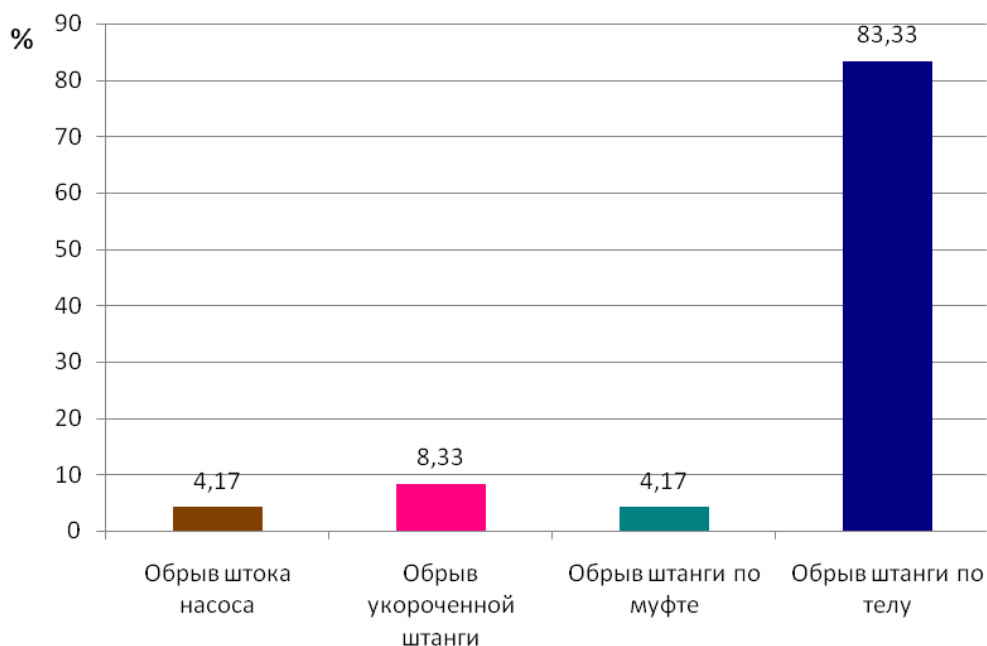


Рисунок 2 – Распределение обрывов штанг по причинам

Безоговорочное лидерство среди обрывов занимает обрыв штанг по телу (83,33 %). Обрыв штока насоса и обрыв штанги по муфте проявились в единичных случаях.

Изучая процентное соотношение обрывов по наработкам, т. е. межремонтный период. Почти половина скважин (45,83 %) не может проработать и года без обрыва и почти треть скважин (37,5 %) – не более 2-х лет. Вероятность того, что скважина будет функционировать без обрыва более 2-х лет – минимальна. Спустя полгода после начала работы штанг, необходимо детально исследовать их состояние [5].

С увеличением числа качаний количество обрывов также увеличивается, вследствие учащения воздействия знакопеременных нагрузок, которые губительны для оборудования

В таблице 1 приведены процентные соотношения распределения отказов штанг по длине хода.

Таблица 1 – Распределение отказов штанг по длине хода

L хода, м	%	Количество скважин
1,5-2	25	6
2-2,5	12,5	3
2,5-3	62,5	15

Анализ причин подземных ремонтов позволяет говорить о том, что обрыв штанг является актуальной причиной ремонта скважин на Южно-Ромашкинской площади. Настораживает и тот факт, что большинство скважин имеют низкую наработку на отказ и работают не больше года, прежде чем произойдёт обрыв. Также следует отметить, что наибольшее число отказов

происходит с оборудованием, имеющим с высоким числом качаний. Принято считать самым оптимальным вариантом не более 4-х качаний в минуту.

Поскольку в условиях Южно-Ромашкинской площади 88,92 % скважин эксплуатируется посредством ШГН, то данный фактор существенно влияет и на увеличение частоты остановок скважин на ремонт из-за аварий.

Стоит отметить и существующие на сегодняшний день другие причины обрывов штанг, таких как АСПО и отложения солей, из-за которых возникают дополнительные нагрузки на колонну штанг. Также важно бороться с коррозией подземного оборудования.

Список использованных источников:

1. Архипов, К.И. Справочное пособие по глубиннонасосному оборудованию [Текст] / К.И. Архипов, Р.Н. Абзипаров, С.Х. Мотыгуллин, Ю.Н. Баров, Е.Б. Думлер. – Альметьевск: Изд-во ТатАСУнефть, 2008. – 276с.
2. Думлер, Е.Б. Глубинные штанговые насосы для добычи нефти (по API) [Текст]: Учеб. пособие по дисциплине «Техника и технология добычи нефти и газа». – Альметьевск, 2007. – 120с.
3. Архипов, К.И. Скважинное штанговое насосное оборудование для добычи нефти [Текст] / К.И. Архипов, Е.Б. Думлер. – Альметьевский государственный нефтяной институт. Альметьевск, 2008. – 227с.
4. ОАО «ТН» Нефтегазодобывающее управление «Лениногорскнефть». Геологический отчет за 2019 г. по Южно-Ромашкинской площади, залежам Ромашкинского месторождения.
5. Анализ разработки Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения (с уточнением проектных показателей). – Бугульма, 2017. – 437с.
6. Автоматизация процесса очистки внутрискважинного оборудования на основе клапана с аналоговым механизмом/ Азеев А.А., Булчаев Н.Д.// Газовая промышленность. – 2016. – № 4 (736). – С. 82-85.
7. Анализ влияния вибрации на межремонтный период погружных центробежных установок/ Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З., Вахитова Р.И.// В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы IV Международной научно-практической конференции. 2019. – С. 271-276.
8. Непрерывная канатная штанговая колонна для скважинных глубинно-насосных установок/ Пензин А.В., Антоненко А.А.// В книге: Трубопроводный транспорт - 2011. Материалы VII Международной учебно-научно-практической конференции. – 2011. – С. 265-266.
9. Об ограничении динамических нагрузок на штанговую колонну/ Ишемгузин И.Е., Гильмутдинов Б.Р., Ситдинов М.Р., Гилязова М.Д.// Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 8. – С. 135-137.
10. Об авариях, связанных с самораскреплением резьбовых соединений штанг/ Янтурин А.Ш., Ахметзянов И.И., Матвеев Ю.Г., Булюкова Ф.З.// Бурение и нефть. – 2018. – № 2. – С. 30-33.

11. Оценка перспектив совершенствования конструкции штанговой колонны/ Антоненко А.А., Шайдаков В.В., Пензин А.В., Шайдаков Е.В., Чернова К.В.// История науки и техники. – 2011. – № 12 S3. – С. 88-91.
12. Повышение надежности и эффективности штанговой скважинной насосной установки в современной добыче нефти/ Мамалимова И.Р., Пензин А.В.// В сборнике: Современные технологии в нефтегазовом деле - 2018. сборник трудов международной научно-технической конференции: в 2-х томах. - 2018. - С. 67-70.
13. Перспективы энергосбережения в добыче нефти с помощью скважинной насосной установки с канатной штангой/ Пензин А.В., Мамалимова И.Р.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста. Материалы Международной научно-методической конференции. – УГНТУ, 2018. – С.154-165.
14. Проблемы эксплуатации нефтяных и газовых скважин/ Васильев С.И., Милосердов Е.Е., Булчаев Н.Д.// Горная промышленность. – 2015. – № 3 (121). – С.86.
15. Устранение параметрических колебаний низа колонны штанг в наклонной скважине/ Ишемгузин И.Е.// Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2010. – № 4. – С.28-31.

УДК 621.785.5

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

*Газизов А.З. (студент гр. 28476)¹, Думлер Е.Б. (к.т.н., доцент)^{1,2},
Сарачева Д.А. (к.т.н., доцент)³*

¹*Филиал ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ в г. Лениногорске, Российская Федерация*

²*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

³*Альметьевский государственный нефтяной институт,
г. Альметьевск, Российская Федерация*

Аннотация. Работа посвящена вопросам восстановления и повышения срока службы элементов запорной устьевой арматуры для наземных трубопроводных сетей нефтяных и газовых скважин. Основная задача исследования – определить характеристики и свойства материала после проведения процесса азотирования. Исследовано влияние ионного азотирования на прочностные свойства деталей и узлов запорной арматуры. Приведены примеры полученных опытных данных.

Ключевые слова: устьевая арматура, ионное азотирование, твердость, коррозионная стойкость, износостойкость, теплостойкость, усталостная прочность

METHOD FOR INCREASING THE STRENGTH PROPERTIES OF THE ELEMENTS OF THE SHUT-OFF VALVES

Gazizov A.Z., Dumler E.B., Saracheva D.A.

Annotation. The work is devoted to the issues of restoration and increasing the service life of the elements of shut-off wellhead valves for onshore pipeline networks of oil and gas wells. The main task of the study is to determine the characteristics and properties of the material after the nitriding process. The influence of ionic nitriding on the strength properties of parts and assemblies of valves has been investigated. Examples of the obtained experimental data are given.

Key words: wellhead equipment, ion nitriding, hardness, corrosion resistance, wear resistance, heat resistance, fatigue strength

Главным направлением совершенствования современных отраслевых требований к запорно-регулирующей арматуре для нефтяной отрасли является увеличение количества рабочих циклов основных элементов запорных устройств и продление их эксплуатационного ресурса.

Длительность функционирования кранов, клапанов, задвижек, шиберов, заслонок, затворов и другой арматуры во многом определяется износо- и коррозионной стойкостью их запирающих элементов. Таким образом, проблема продления рабочего ресурса запорной и регулирующей арматуры решается с помощью улучшения эксплуатационных качеств запирающих элементов. Одновременно рассматривается улучшение коррозионной стойкости корпусных деталей за счет применения композиционных покрытий диффузионного и адгезионного типа [1, с. 32].

В настоящее время для улучшения качества запирающих элементов применяется несколько разных подходов и их комбинации, основных два:

1. Использование дорогих высоколегированных коррозионностойких марок сталей. Такой подход действительно приводит к желаемым результатам, однако в несколько раз увеличивает стоимость запорной арматуры. К тому же использование коррозионностойких сталей ограничено ввиду их малой удельной прочности. Применение сложнелегированных сталей с высоким содержанием тугоплавких элементов - кобальта, хрома, молибдена, вольфрама, ванадия и др. несоразмерно увеличивает стоимость и применимо лишь для особо ответственных изделий. Продление ресурса запорно-регулирующей арматуры за счет применения дорогих марок сталей, (в том числе для наплавки на низколегированные стали) - подход экстенсивный, его нельзя считать ни инновационным, ни высокотехнологичным [2, с. 017].

2. Модификация (упрочнение) поверхностного слоя запирающего элемента. Из всех известных методов упрочнения стальных поверхностей самой прогрессивной технологией является ионная химико-термическая обработка (ИХТО) - насыщение поверхности металла азотом и/или углеродом. Наиболее эффективна низкотемпературная технология ионного азотирования и карбонитрирования, обеспечивающая минимальные деформации и высокую размерную и чистовую точность, что позволяет улучшать целый комплекс

свойств упрочняемой поверхности: твердость, износостойкость, противозадирные свойства, теплостойкость, коррозионную стойкость и усталостную прочность.

Низкотемпературные процессы проводятся при температуре 400 – 600 С, нагрев не сопровождается фазовыми превращениями и после упрочнения детали имеют весьма малые изменения геометрических параметров, таким образом ионная химико-термическая обработка – финишная обработка, после которой детали идут на сборку, не требуется шлифовка как после цементации и газового азотирования, поверхностная нитридная зона обладает высокой твердостью, что оказывает решающее влияние на свойства изделия [3].

Технология ионного азотирования и карбонитрирования массовая, передовая, ресурсосберегающая и экономически выгодная по сравнению со всеми другими процессами упрочнения. Гарантийный ресурс запорной и регулирующей арматуры увеличивается в несколько раз, что подтверждено производственными испытаниями и эксплуатацией в самых сложных условиях эрозийного и кавитационного воздействия, а также в присутствии сероводорода и слабых растворов различных кислот. Высокая стойкость к межкристаллитной коррозии и растрескиванию под нагрузкой как раз и объясняется бездефектным строением поверхностной плотноупакованной зоны химических соединений углерода и азота с железом и легирующими элементами [4].

Специалистами пермского НПО «Ионные Технологии» совместно с производителями запорной-регулирующей арматуры были проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по упрочнению различных узлов и деталей арматуры. В результате проведенного комплекса работ была разработана специальная приоритетная технология ионной обработки ХТО.

Технология ионной химико-термической обработки внедрена на многих заводах и предприятиях нефтегазовой отрасли: ООО «Завод НГО «Техновек», г. Воткинск; «HABONIM INDUSTRIAL VALVES & ACTUATORS», Израиль; ООО «Камский арматурный завод», г. Пермь; ООО «Экомаш+Урал», г. Новоуральск; ООО «Завод «Синергия», г. Пермь; ООО «Пермская компания нефтяного машиностроения», г. Пермь; АО «Воткинский завод», г. Воткинск, ООО «Гусевский арматурный завод «Гусар», г. Гусь-Хрустальный, ООО «Инженерные технологии», г. Оренбург, ОАО «Воткинская промышленная компания», г. Воткинск и многих других предприятиях.

Приводим краткие сведения по результатам научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, подтверждающие высокую эффективность упрочнения методом ионного азотирования и карбонитрирования для продления ресурса запорно-регулирующей арматуры. Процессу упрочнения подвергли детали «Шибер» и «Седло» запирающих элементов шиберных задвижек нефтегазового оборудования производства ООО «Завод НГО «Техновек» (Россия, Воткинск).

В таблице 1 представлены характеристики азотированных слоев на сталях различных марок, полученных при обработке.

Таблица 1 – Характеристики азотированного слоя на различных марках сталей

Характеристика азотированного слоя	40XH	20X13	38X2MЮА	07X16H6
Поверхностная твердость HV 5, кгс/мм ²	580 - 640	920 - 970	1120 - 1200	1070 - 1150
Поверхностная микротвердость HV 0,1 кгс/мм ²	580 - 670	940 - 980	1145 - 1200	1140 - 1260
Глубина слоя по микроструктуре h_m , мм	0,40	0,17 - 0,18	0,27 - 0,28	0,15 - 0,16
Глубина слоя по микротвердости h_c , мм	0,40	0,20	0,30	0,20
Толщина нитридной зоны, мкм	5 - 10	-	10 - 12	-
Хрупкость по шкале ВИАМ	I балл, не хрупкий	I балл, не хрупкий	I балл, не хрупкий	I балл, не хрупкий

Гарантийный ресурс работы деталей (при нормативном давлении 70 МПа) увеличился с 800 до 2500 циклов, что подтверждено заводскими испытаниями. Запирающие элементы и детали запорно-регулирующей арматуры обычно выполняются из следующих марок сталей: 40XH, 20X13, 38X2MЮА и 07X16H6.

В результате ионного азотирования на деталях формируется равномерно развитый нехрупкий азотированный слой, а на низколегированных сталях (40XH и 38X2MЮА) на поверхности также формируется высококачественная нитридная зона с повышенной твердостью (рисунок 1) [5, с.193].

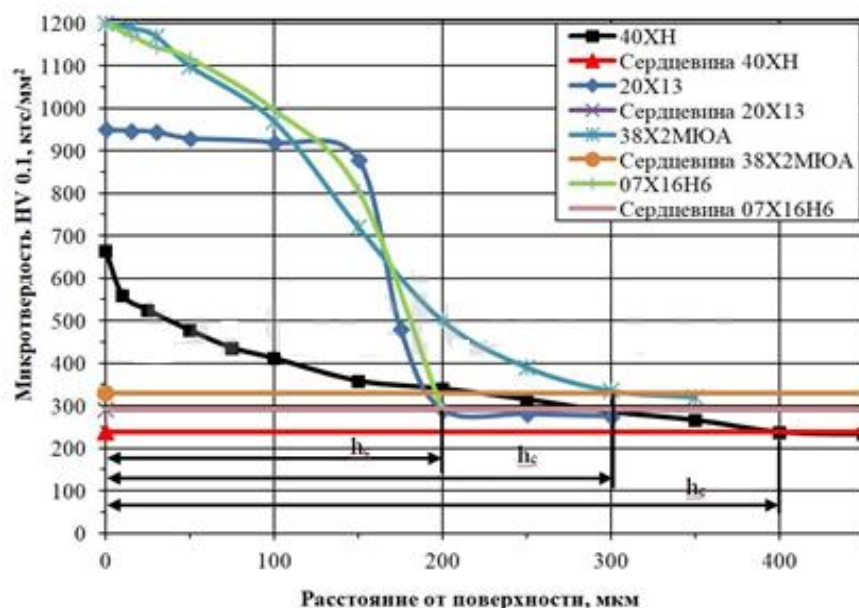


Рисунок 1 – Распределение микротвердости по глубине азотированного слоя

Твердость, и как следствие износостойкость рабочих поверхностей деталей увеличилась в несколько раз, улучшились адгезионные свойства, снизился коэффициент трения.

Данный комплекс покрытий обеспечивает высокие прочностные и эксплуатационные свойства запирающих элементов и комплектующих, что позволило существенно продлить эксплуатационный ресурс запорно-регулирующей арматуры.

На сегодняшний день ионно-вакуумное азотирование является передовой технологией поверхностного упрочнения деталей. Применение технологий ионного азотирования при серийном производстве трубопроводной продукции, в том числе при производстве запорно-регулирующей арматуры, позволяет поднять качество выпускаемой продукции на принципиально новый уровень.

Для предприятий, эксплуатирующих различные типы трубопроводов, в том числе магистральные, применение упрочненной арматуры позволяет обеспечить длительную эксплуатационную надёжность, что гарантирует безаварийную работу и снижение расходов на ремонт и техническое обслуживание трубопроводов.

Список использованных источников:

1. Tebbenhoff, O. Разработка и опыт эксплуатации запорной и регулирующей арматуры, работающей в условиях высоких температур[Текст] / O. Tebbenhoff, D. Nordheim, J. Saß, I.Balkowski // Энергетика Татарстана. – 2012. – №1 (25). – С.32-36.
2. Какузин В.Б., Невзгодин В.С. Характеристика материалов, применяемых для изготовления деталей затвора и штоков арматуры, и методы их упрочнения / В.Б.Какузин, В.С. Невзгодин // Энергетик. – 2013. – №7. – С.17-20.
3. Герасимов, С.А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов/ С.А. Герасимов, Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 520 с.
4. Куксенова, Л.И. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / Л.И. Куксенова. – М.: Московский Государственный Технический Университет (МГТУ) имени Н.Э. Баумана, 2012. – 428 с.
5. Могильная, Е.П., Дубасов В.М. Ионное азотирование изделий из конструкционной стали 38ХМФА/ Е.П. Могильная, В.М. Дубасов // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. –2013. – №1 (14). – С.193-198.
6. Применение сегментных зажимов при ремонте задвижек фонтанной арматуры/ Попов С.А., Булюкова Ф.З., Бурханова Г.Ф.// В книге: Наука и технологии в нефтегазовом деле. Тезисы докладов II Международной научно-практической конференции. Кубанский государственный технологический университет, Армавирский механико-технологический институт, Кафедра машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов. - 2020. - С. 82-83.
7. Анализ патентной и научно-технической информации по эксплуатации и ремонту фонтанной арматуры/ Ласынов В.И., Булюкова Ф.З.// В сборнике:

Материалы 47-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. - 2020. - С. 578-582.

8. Разработка и исследование технологий и технических средств для поддержания пластового давления нефтяных месторождений/ Булчаев Н.Д.// автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. Тюмень, 2013.

9. Способ герметизации устья горящей нефтяной скважины/ Булчаев Н.Д., Безверхая Е.В.// Газовая промышленность. - 2011. - № 4 (658). - С. 85-87.

10. Проблемы эксплуатации нефтяных и газовых скважин/ Васильев С.И., Милосердов Е.Е., Булчаев Н.Д.// Горная промышленность. - 2015. - № 3 (121). - С. 86.

УДК 621.785.5

УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ МЕТОДОМ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Думлер Е.Б. (к.т.н., доцент)^{1,2}, Зинатуллина Э.Я. (к.т.н., доцент)¹

Сарачева Д.А. (к.т.н., доцент)², Газизов А.З. (студент гр. 28476)²

¹*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

²*Лениногорский филиал Казанского национального исследовательского
технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Лениногорск
Российская Федерация*

Аннотация. Статья посвящена проблеме восстановления и повышения сроков службы элементов запорной арматуры для наземных трубопроводных сетей нефтяных и газовых скважин. Основной задачей исследования было определение характеристики и свойства металла после процесса азотирования элементов арматуры. Рассмотрено влияние азотирования на прочностные свойства изделий. Приведены примеры полученных опытных данных.

Ключевые слова: устьевая арматура, бурение, добыча нефти, ионное азотирование, твердость, износостойкость, противозадирные свойства, теплостойкость, коррозионная стойкость и усталостная прочность

STRENGTHENING OF VALVE PARTS BY IONIC NITROGEN

Dumler E.B., Zinatullina E.Ya., Saracheva D.A., Gazizov A.Z.

Annotation. The article is devoted to the problem of restoring and increasing the service life of valves for onshore pipeline networks of oil and gas wells. The main task of the study was to determine the characteristics and properties of the metal after the nitriding process of the reinforcement elements. The influence of nitriding on the

strength properties of products is considered. Examples of the obtained experimental data are given.

Keywords: wellhead equipment, drilling, oil production, ion nitriding, hardness, wear resistance, extreme pressure properties, heat resistance, corrosion resistance and fatigue strength

Основное направление совершенствования современных отраслевых требований к запорно-регулирующей арматуре для промышленных - продление их эксплуатационного ресурса и увеличение количества рабочих циклов. Длительность функционирования кранов, клапанов, задвижек, шиберов, заслонок, затворов и другой арматуры во многом определяется износо- и коррозионной стойкостью их запирающих элементов. Таким образом, проблема продления рабочего ресурса запорной и регулирующей арматуры решается с помощью улучшения эксплуатационных качеств запирающих элементов. Одновременно рассматривается улучшение коррозионной стойкости корпусных деталей за счет применения композиционных покрытий диффузионного и адгезионного типа [1, с. 32].

В настоящее время для улучшения качества запирающих элементов применяется несколько разных подходов и их комбинации, основных два:

1. Использование дорогих высоколегированных коррозионностойких марок сталей. Такой подход действительно приводит к желаемым результатам, однако в несколько раз увеличивает стоимость запорной арматуры. К тому же использование коррозионностойких сталей ограничено ввиду их малой удельной прочности. Применение сложнолегированных сталей с высоким содержанием тугоплавких элементов - кобальта, хрома, молибдена, вольфрама, ванадия и др. несоразмерно увеличивает стоимость и применимо лишь для особо ответственных изделий. Продление ресурса запорно-регулирующей арматуры за счет применения дорогих марок сталей, (в том числе для наплавки на низколегированные стали) - подход экстенсивный, его нельзя считать ни инновационным, ни высокотехнологичным [2, с. 17].

2. Модификация (упрочнение) поверхностного слоя запирающего элемента. Из всех известных методов упрочнения стальных поверхностей самой прогрессивной технологией является ионная химико-термическая обработка (ИХТО) - насыщение поверхности металла азотом и/или углеродом. Наиболее эффективна низкотемпературная технология ионного азотирования и карбонитрирования, обеспечивающая минимальные деформации и высокую размерную и чистовую точность, что позволяет улучшать целый комплекс свойств упрочняемой поверхности: твердость, износостойкость, противозадирные свойства, теплостойкость, коррозионную стойкость и усталостную прочность.

Низкотемпературные процессы проводятся при температуре 400-600 °С, нагрев не сопровождается фазовыми превращениями и после упрочнения детали имеют весьма малые изменения геометрических параметров, таким образом ИХТО - финишная обработка, после которой детали идут на сборку, не требуется шлифовка как после цементации и газового азотирования,

поверхностная нитридная зона обладает высокой твёрдостью, что оказывает решающее влияние на свойства изделия [3]. Технология ионного азотирования и карбонитрирования массовая, передовая, ресурсосберегающая и экономически выгодная по сравнению со всеми другими процессами упрочнения. Гарантийный ресурс запорной и регулирующей арматуры увеличивается в несколько раз, что подтверждено производственными испытаниями и эксплуатацией в самых сложных условиях эрозионного и кавитационного воздействия, а также в присутствии сероводорода и слабых растворов различных кислот. Высокая стойкость к межкристаллитной коррозии и растрескиванию под нагрузкой как раз и объясняется бездефектным строением поверхностной плотноупакованной зоны химических соединений углерода и азота с железом и легирующими элементами [4].

Специалистами пермского НПО «Ионные Технологии» совместно с производителями запорной-регулирующей арматуры были проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) по упрочнению различных узлов и деталей арматуры. В результате проведенного комплекса работ была разработана специальная приоритетная технология ионной обработки ХТО.

Технология ионной обработки ХТО внедрена на многих заводах и предприятиях нефтегазовой отрасли: ООО «Завод НГО «Техновек», г. Воткинск; «HABONIM INDUSTRIAL VALVES & ACTUATORS», Израиль; ООО «Камский арматурный завод», г. Пермь; ООО «Экомаш+Урал», г. Новоуральск; ООО «Завод «Синергия», г. Пермь; ООО «Пермская компания нефтяного машиностроения», г. Пермь; АО «Воткинский завод», г. Воткинск, ООО «Гусевский арматурный завод «Гусар», г. Гусь-Хрустальный, ООО «Инженерные технологии», г. Оренбург, ОАО «Воткинская промышленная компания», г. Воткинск и многих других предприятиях.

Приводим краткие сведения по результатам НИОКР, подтверждающие высокую эффективность упрочнения методом ионного азотирования и карбонитрирования для продления ресурса запорно-регулирующей арматуры. Процессу упрочнения подвергли детали «Шиббер» и «Седло» запирающих элементов шибберных задвижек нефтегазового оборудования производства ООО «Завод НГО «Техновек» (Россия, Воткинск).

Гарантийный ресурс работы деталей (при нормативном давлении 70 МПа) увеличился с 800 до 2500 циклов, что подтверждено заводскими испытаниями.

Запирающие элементы и детали запорно-регулирующей арматуры обычно выполняются из следующих марок сталей: 40ХН, 20Х13, 38Х2МЮА и 07Х16Н6. В таблице 1 представлены характеристики азотированных слоев на сталях различных марок, полученных при обработке.

Таблица 1 - Характеристики азотированного слоя на различных марках сталей

Характеристика азотированного слоя	40ХН	20Х13	38Х2МЮА	07Х16Н6
Поверхностная твердость HV 5, гс/мм ²	580 - 640	920 - 970	1120 - 1200	1070 - 1150
Поверхностная микротвердость HV 0,1, кгс/мм ²	580 - 670	940 - 980	1145 - 1200	1140 - 1260
Глубина слоя по микроструктуре h_m , мм	0,40	0,17 - 0,18	0,27 - 0,28	0,15 - 0,16
Глубина слоя по микротвердости h_c , мм	0,40	0,20	0,30	0,20
Толщина нитридной зоны, мкм	5 - 10	-	10 - 12	-
Хрупкость по шкале ВИАМ	I балл, не хрупкий	I балл, не хрупкий	I балл, не хрупкий	I балл, не хрупкий

В результате ионного азотирования на деталях формируется равномерно развитый нехрупкий азотированный слой, а на низколегированных сталях (40ХН и 38Х2МЮА) на поверхности также формируется высококачественная нитридная зона с повышенной твердостью (рисунок 1) [5, с.193].

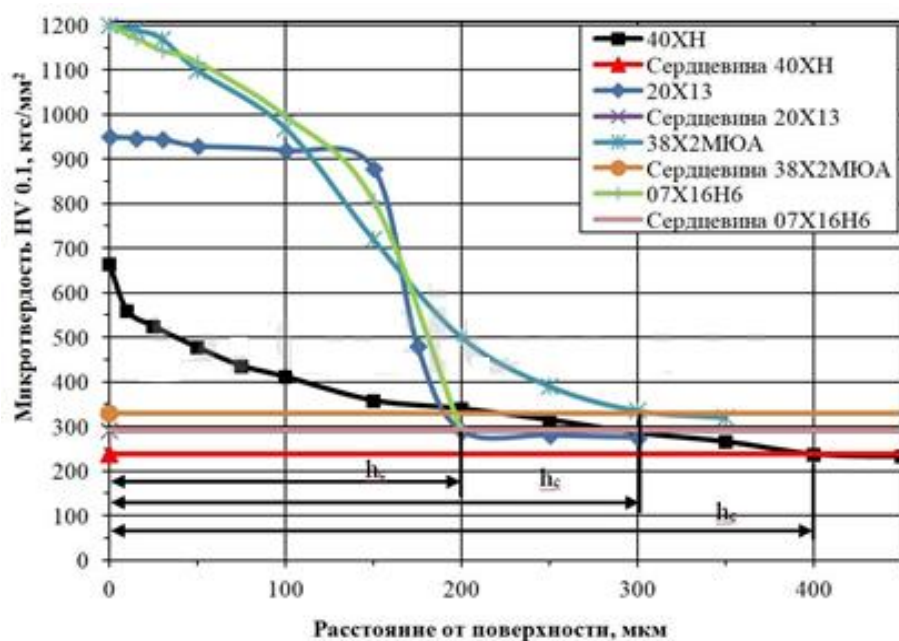


Рисунок 1 – График распределения микротвердости по глубине азотированного слоя

Твердость, и как следствие износостойкость рабочих поверхностей деталей увеличилась в несколько раз, улучшились адгезионные свойства, снизился коэффициент трения. Данный комплекс покрытий обеспечивает высокие прочностные и эксплуатационные свойства запирающих элементов и комплектующих, что позволило существенно продлить эксплуатационный ресурс запорно-регулирующей арматуры. На сегодняшний день ионно-вакуумное азотирование является передовой технологией поверхностного упрочнения деталей. Применение технологии ионного азотирования при серийном производстве трубопроводной продукции, в том числе при

производстве запорно-регулирующей арматуры, позволяет поднять качество выпускаемой продукции на принципиально новый уровень.

Для предприятий, эксплуатирующих различные типы трубопроводов, в том числе магистральные, применение упрочненной арматуры позволяет обеспечить длительную эксплуатационную надёжность, что гарантирует безаварийную работу и снижение расходов на ремонт и техническое обслуживание трубопроводов.

Список использованных источников:

1. Tebbenhoff O., Dierk von Nordheim, Jochen Saß, Balkowski I. Разработка и опыт эксплуатации запорной и регулирующей арматуры, работающей в условиях высоких температур // Энергетика Татарстана. – 2012. – №1 (25). – С.32-36.
2. Какузин В.Б., Невзгодин В.С. Характеристика материалов, применяемых для изготовления деталей затвора и штоков арматуры, и методы их упрочнения// Энергетик. – 2013. – №7. – С.17-20.
3. Герасимов С.А., Куксенова Л.И., Лаптева В.Г. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 520 с.
4. Куксенова, Лидия Ивановна Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов/ Куксенова Лидия Ивановна. – М.: Московский Государственный Технический Университет (МГТУ) имени Н.Э. Баумана, 2012. – 428 с.
5. Могильная Е.П., Дубасов В.М. Ионное азотирование изделий из конструкционной стали 38ХМФА// Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. 2013. -№1 (14). – С. 193-198.

УДК 629.563.2

**РАБОТА ПАССИВНОЙ И АКТИВНОЙ ЧАСТИ
В КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ КОМПЕНСАЦИИ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ МПС**

*Ибрагимов Д.Ф. (МГБ04-20-01), Мухаметов М.Г. (МГБ04-20-01)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Главной отличительной чертой бурения на шельфе и море является использование райзера и компенсатора вертикальных движений бурильной колонны. Компенсатор качки ослабляет движение, передаваемое от судна к бурильной колонне, что в свою очередь влияет на скорость проходки скважины и безаварийность работы породоразрушающего инструмента, обеспечивая безопасность и эффективность процесса бурения в открытом море.

Ключевые слова: пассивная система компенсации, активная система компенсации, комбинированная система компенсации, райзер, бурильная колонна

OPERATION OF THE PASSIVE AND ACTIVE PARTS IN THE COMBINED SYSTEM OF VERTICAL MOTION COMPENSATION MPC

Ibragimov D.F., Mukhametov M.G.

Annotation. The main distinguishing feature of drilling on the shelf and at sea is the using of a riser and a compensator for vertical movements of the drill string. The pitching compensator weakens the movement transmitted from the vessel to the drill string, which in turn affects the speed of well penetration and the trouble-free operation of the rock-breaking tool, ensuring the safety and efficiency of the drilling process in the open sea.

Keywords: passive compensation system, active compensation system, combined compensation system, riser, drill string

В настоящее время актуальным направлением является бурение и освоения новых морских месторождений, при этом полупогружная платформа или буровое судно подвержены в море действию течений, которое изменяется во времени, по скорости и направлению, что требует постоянно контроля положения МПС. Поэтому важным компонентом морской буровой установки является система компенсации качки МПС, которая используется с начала и до конца разработки объекта. Основной целью такой системы является компенсация вертикальных движений райзера или буровой колонны [1].

В основу принципа компенсации вертикальной качки заложен принцип дополнительного перемещения в сторону, противоположную перемещению МПС под действием качки, которое позволяет скомпенсировать перемещение, что позволяет сохранить райзер или бурильную колонну в том же положении в пространстве, как если бы волнение водной глади отсутствовало вовсе [2,3,4].

Компенсаторы вертикальных движений можно разделить на три группы: пассивные компенсаторы (РНС), активные компенсаторы (АНС) и комбинированные компенсаторы.

Главным критерием правильной работы системы компенсации вертикальных движений, как в пассивной, так и активной системе является обеспечение необходимого давления в гидроцилиндре. Движение поршня гидроцилиндра обеспечивается силой F со стороны райзера или бурильной колонны [5] (рисунок 1).

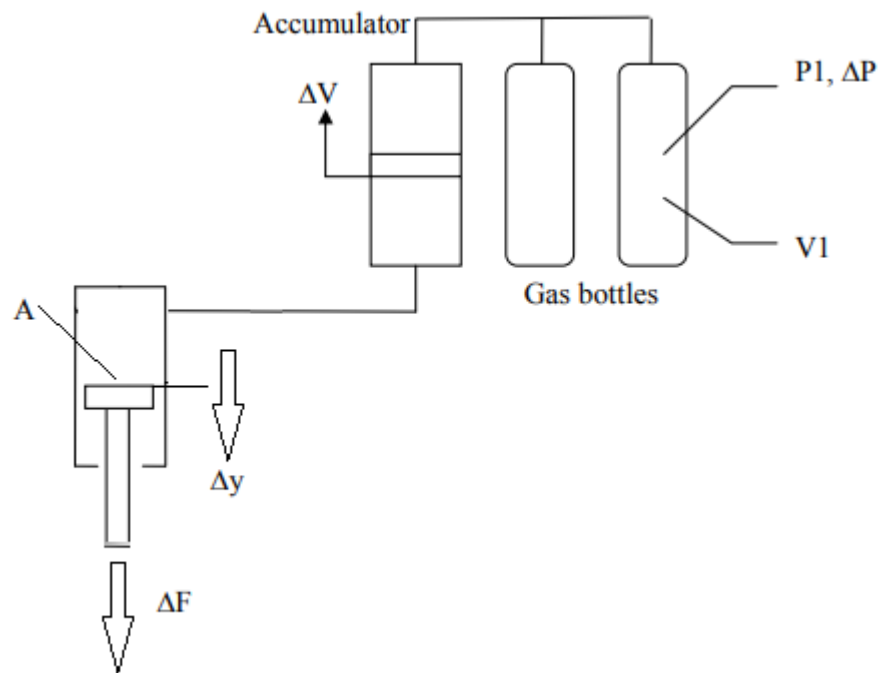


Рисунок 1 – Схема работы пассивной системы компенсации

Давление в гидроцилиндре можно определить по формуле:

$$\Delta p = \frac{4P}{\pi d^2} \quad 1)$$

где P – вес райзера или буровой колонны;

d есть диаметр гидроцилиндра;

Сила на крюке рассчитывается как:

$$F = \Delta p A = (p_1 - p_2) \frac{\pi d^2}{4}; \quad 2)$$

где Δp – есть разность давлений в главном гидроцилиндре;

A есть площадь поршня гидроцилиндра;

p_1 – давление в аккумуляторе;

p_2 – давление в амортизаторе.

Пиковую мощность нагрузки комбинированной системы компенсации можно рассчитать, как:

$$N = F \times v_l; \quad 3)$$

где v_l – максимальная скорость волны.

Динамика встроенного цилиндра составляет:

$$m\ddot{x} = (A_a p_a - A_b p_b) + (A_c p_c - A_d p_d) - Fw - F \quad 4)$$

где m – масса нагрузки;

$\ddot{x}$ – смещение штока цилиндра;

p_a, p_b, p_c , а также p_d давления в камерах А, В, С и D соответственно;

A_a, A_b, A_c , а также, A_d – области плунжера камер А, В, С и D соответственно;

Fw силы демпфирования и вязкого трения на штоке цилиндра;

пренебрегая Fw , упрощается до:

$$mx'' = A_a p_a - A_b p_b - A_c p_c - A_d p_d - F \quad (5)$$

Когда переходный процесс установлен и динамика находится в устойчивом состоянии, левая часть близка к нулю, то есть:

$$A_a p_a - A_b p_b - A_c p_c - A_d p_d - P v_l = 0 \quad (6)$$

После умножения на v_x – скорость смещения штока цилиндра, уравнение силы преобразуется в уравнение мощности:

$$A_a p_a v_x - A_b p_b v_x - A_c p_c v_x - A_d p_d v_x - P v_l = 0 \quad (7)$$

Активные камеры А, В и С, D имеют одинаковые области плунжера, то есть $A_a = A_b$ и $A_c = A_d$. Из (1) и (6) получается следующее условие:

$$P v_l = (p_a - p_b) A_a v_x - (p_c - p_d) A_c v_x \quad (8)$$

где $(p_a - p_b) A_a v_x$ – мощность пассивной части;
 $(p_c - p_d) A_c v_x$ – мощность активной части.

Эти наблюдения позволяют получить полное представление о роли активной и пассивной частей полуактивной системы компенсации подъема [6]. Эффективность гидравлической системы составляет 77 %. Хорошо спроектированные устройства компенсации качки могут обеспечить эффективность более 80 %.

Таким образом, при определении мощности в комбинированной системе компенсации вертикальных движений, необходимо знать вес райзера или буровой колонны, диаметр поршня пассивного и активного гидроцилиндра, скорость волны и скорость движения штока пассивного и активного гидроцилиндра.

Список использованных источников:

1. Котов, А.А. Простые решения задачи о напряженно-деформированном состоянии буровой колонны при бурении на акватории/ А.А. Котов, Б.А. Коротаев, Ф.Н. Янгиров // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 48-55.
2. Тимирханов, И.Ф. Исследования сварных соединений основной трубной конструкции бурового райзера АБР-Г/ И.Ф. Тимирханов, Ф.Н. Янгиров, А.А. Альмухаметов, А.В. Греб// Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – №4. – С. 84-91.
3. Нефтегазовое дело: в 6 т.: учеб. пособие. Т.2: Бурение нефтяных и газовых скважин / Ф.А. Агзамов и др. Под ред. проф. А.М. Шаммазова. – СПб.: Недра, 2012. – 436 с.
4. Исследование износостойкости замков буровых труб при трении о горную породу в различных средах / А.Р. Яхин, Г.В. Конесев, Ф.Н. Янгиров, А.М. Фролов // Территория Нефтегаз. – 2014. – № 6. – С. 30-35.
5. Системы компенсации вертикальной качки и их влияние на буровые работы в море / Ф.Н. Янгиров, Я.А. Попов, А.Р. Кашфуллин, М.П. Лукьянов// Поколение будущего: сборник избранных статей Международной студенческой

научной конференции, Санкт-Петербург, 30 ноября 2020 года. – Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2020. – С. 42-44.

6. Некоторые аспекты методологии изучения процесса изнашивания нефтепромыслового оборудования/ В.П. Матюшин, В.Г. Конесев, Р.А. Исмаков, Ф.Н. Янгиров// Инновационное нефтегазовое оборудование: проблемы и решения: Всероссийская научно-техническая конференция, Уфа, 28–29 октября 2010 года. – Уфа: УГНТУ, 2010. – С. 240-243.

7. Забойные телеметрические системы/ Ф.Н. Янгиров, А.Р. Яхин, В.П. Матюшин, И.Д. Мухаметгалиев. – Уфа, 2017.

8. Прогнозирование и предупреждение осложнений, обусловленных упругим смещением стенок скважины/ Ф.З. Булюкова// автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – УГНТУ. Уфа, 2011.

9. Об авариях, связанных с самораскреплением резьбовых соединений штанг/ А.Ш. Янтурин, И.И. Ахметзянов, Ю.Г. Матвеев, Ф.З. Булюкова// Бурение и нефть. – 2018. – № 2. – С. 30-33.

10. О сужении ствола скважин и напряжениях на стенках обсадных и бурильных колонн при упругопластической деформации пород/ А.Ш. Янтурин, Ю.Г. Матвеев, Ф.З. Булюкова, Р.А. Янтурин // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 40-43.

11. Янтурин, А.Ш. Расчет наддолотных гасителей продольных колебаний бурильной колонны/ А.Ш. Янтурин // Нефтяное хозяйство. – 1987. – № 12. – С. 20-23.

12. Зинатуллина, Э.Я. Актуальные проблемы бурения винтовыми забойными двигателями/ Зинатуллина Э.Я.// В книге: 57-я Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Тезисы докладов. ФГБОУ ВПО УГНТУ. – 2006. – С. 82.

УДК 622.243.23

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СТЕНДЕ ООО «ПЕРФОБУР»

Касимов Д.Л. (ММП-19-01)¹, Лягов И.А. (к.т.н., ген. директор)²

*¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

*²Общество с ограниченной ответственностью «Перфобур»,
г. Москва, Российская Федерация*

Аннотация. В данной статье рассмотрены планирования экспериментов, на испытательном стенде компании «Перфобур», для фрезерования обсадных колонн диаметром 140-178 мм и различных групп прочности с помощью малогабаритного винтового забойного двигателя диаметром 55 мм, а также для бурения перфорационных каналов длиной до 14 м при помощи многосекционных ВЗД сверх малого диаметра, изготовленных по ТЗ компании «Перфобур». Авторами подробно описан специальный экспериментальный

стенд и показаны разработанные уникальные фрезы и долота, применяемые в компоновке ТС «Перфобур».

Ключевые слова: перфобур, перфорационный канал, планирование эксперимента, испытательный стенд, винтовой забойный двигатель, фреза, долото, радиальное бурение

PLANNING OF EXPERIMENTS AT THE STAND OF PERFOBUR LLC

Kasimov D.L., Lyagov I.A.

Annotation. This article discusses the planning of experiments, on the test bench of the Perfobur company, for milling casing strings with a diameter of 140-178 mm and various strength groups using a small-sized downhole motor with a diameter of 55 mm, as well as for drilling perforations up to 14 m long using multi-section downhole motor with extra small diameter, manufactured according to the technical specification of the company «Perfobur». The authors describe in detail a special experimental stand and show the developed unique cutters and bits used in the assembly of the «Perfobur».

Keywords: perforating drill, perforation channel, planning an experiment, test stand, downhole motor, cutter, bit, radial drilling

Вторичное вскрытие продуктивной зоны пласта (ПЗП) скважины остается одним из основных и сложных этапов заканчивания скважин, к важнейшим задачам, которого относится создание совершенной гидродинамической связи между скважиной и продуктивным пластом без отрицательного воздействия на коллекторские свойства ПЗП и разрушений цементного камня.

В настоящее время широко распространена кумулятивная перфорация, которая не отвечает указанным требованиям. Существуют «щадящие» методы, такие как щелевые гидромеханические и гидропескоструйные перфораторы, которые не приводят к катастрофическому разрушению цементного камня, но и не позволяют получать глубокие каналы для установления гидравлически совершенной связи пласта со скважиной.

Одним из современных «щадящих» способов вторичного вскрытия является бурение каналов малого диаметра и радиуса кривизны по прогнозируемой траектории. Строить такие сильно искривленные каналы стало возможно благодаря созданию технической системы «Перфобур» [5-11].

Однако создание новой техники всегда связано с выполнением аналитических расчетов и проверкой их достоверности в процессе лабораторных испытаний. Проведение стендовых испытаний в условиях, максимально приближенных к промысловым, является дорогостоящим мероприятием, поэтому планированию эксперимента мы уделили особое внимание, как с научной, так и практической точки зрения, наряду с самим экспериментом.

Планирование эксперимента применяется в основном для выбора числа и условий постановки опытов, необходимых для построения модели, с достаточной точностью, описывающей исследуемый процесс. К изменяющимся

факторам обычно предъявляют следующие требования: управляемость, измеряемость с заданной точностью (достоверность), однозначность, совместимость и независимость. Более подробно об этом изложено в работах Ю.П. Адлера и Е.А. Козловского [1,2].

Планирование эксперимента на стенде для фрезерования. Теория эксперимента рассматривает вопросы проведения испытаний, выбора вида модели и ее анализа с целью поиска наилучших условий функционирования изучаемого процесса.

В статье [6] была получена зависимость, что механическая скорость бурения зависит от частоты вращения снаряда n и осевой нагрузки P :

$$\bar{V} = f(x_1, x_2), \quad (1)$$

где x_1 – частота вращения фрезы, об/мин;

x_2 – осевая нагрузка, Н [1].

Опытные работы проводили варьированием переменных x_1 (частота вращения фрезы) и x_2 (осевая нагрузка). Каждую из переменных варьировали на двух уровнях (верхнем и нижнем), условно обозначенных символами + 1 и –1. Если фрезерование ведется при частоте вращения фрезы 350 и 450 мин⁻¹ при осевой нагрузке 1700 и 2700 Н, то часть интервала фрезерования, при котором частота вращения составляла 450 мин⁻¹, а осевая нагрузка 1700 Н, в кодовом обозначении будет записана так: $x_1 = +1$, $x_2 = -1$, а кодовое обозначение $x_1 = -1$, $x_2 = +1$ будет указывать на то, что бурили при частоте вращения фрезы 350 мин⁻¹ и осевой нагрузке 2700 Н. Тогда все возможные комбинации для двух указанных факторов, варьируемых на двух уровнях, будут представлены матрицей планирования, приведенной в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица планирования

x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	V_{Mex}
+1	-1	-1	+1	V_{Mex1}
+1	+1	-1	-1	V_{Mex2}
+1	-1	+1	-1	V_{Mex3}
+1	+1	+1	+1	V_{Mex4}

Чтобы получить ортогональное планирование, необходимо преобразовать переменные и выбрать определенным образом расположение звездных точек, т. е. определить величину так называемого звездного плеча (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	$x_1^2 - 0,667$	$x_2^2 - 0,667$	$x_1 x_2$	v_{Mex}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+1	-1	-1	0,333	0,333	+1	0,175
2	+1	+1	-1	0,333	0,333	-1	0,275
3	+1	-1	+1	0,333	0,333	-1	0,35
4	+1	+1	+1	0,333	0,333	+1	0,425
5	+1	-1	0	0,333	-0,667	0	0,5625
6	+1	+1	0	0,333	-0,667	0	0,65
7	+1	0	-1	-0,667	0,333	0	0,50
8	+1	0	+1	-0,667	0,333	0	0,63
9	+1	0	0	-0,667	0,667	0	0,55
$\sum_{n=1}^N x_{in}^2$	9	6	6	2	2	4	
$\sum_{n=1}^N x_{in} \cdot v_{Mex}$	4,1175	0,2625	0,455	-0,30887	-0,39137	-0,025	
b_i	0,4575	0,04375	0,0758	-0,1544	-0,1957	-0,00625	

Таким образом, аналитическая зависимость механической скорости от переменных x_1 и x_2 и выражается поверхностью 2-го порядка.

$$v_{Mex} = 0,4575 + 0,04375 x_1 + 0,0758 x_2 - 0,1544 (x_1^2 - 0,667) - 0,1957 (x_2^2 - 0,667) - 0,00625 x_1 x_2$$

Приведенные значения x_1, x_2 связаны с истинными значениями величин n и P формулами:

$$x_1 = (n - 400) / 50;$$

$$x_2 = (P - 1700) / 400.$$

Отсюда найдем значения n и P :

$$0,4 = (n - 400) / 50; \text{ где } n = 0,4 \cdot 50 + 400 = 420 \text{ об/мин};$$

$$1,2 = (P - 1700) / 400; \text{ где } P = 1,2 \cdot 400 + 1700 = 2180 \text{ Н.}$$

Таким образом, принимаем: $n = 420 \text{ мин}^{-1}$ и $P = 2180 \text{ Н}$. Выбранные параметры обеспечивают хорошую работу двигателя. На рисунке 1 изображена характеристика рабочей пары ВЗД 55.5/6, при расходе воды 3 л/с.

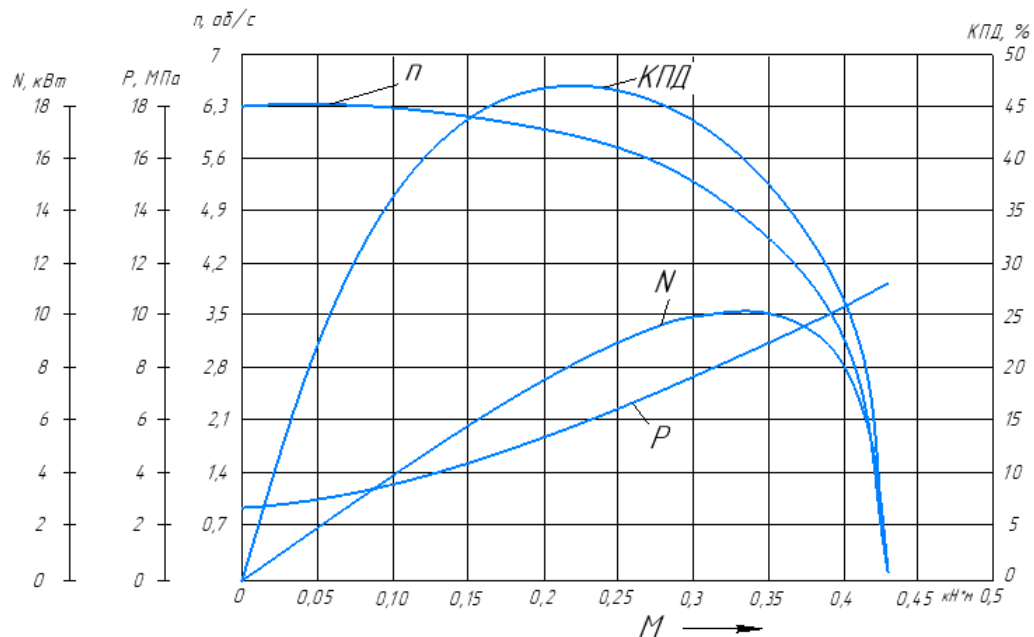


Рисунок 1 – Характеристика рабочей пары ВЗД 55.5/6

Аналогично рассчитаем функцию в виде зависимости механической скорости фрезерования от момента и перепада давления. Перепад давления выберем в интервале варьирования 2,5...5 МПа, а крутящий момент на валу двигателя в диапазоне от 200 до 350 Нм. Задача решается аналогично поставленной ранее.

Аналитические зависимости механической скорости от переменных аналогичны полученным ранее, решая которые для новой задачи получим формулы для определения значений крутящего момента и перепада давления:

$$\begin{aligned} 0,4 &= (M - 275) / 30; \\ M &= 287 \text{ Н}\cdot\text{м}; \\ 1,2 &= (p - 37,5) / 15; \\ P &= 55 \text{ кгс/см}^2 = 5,5 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Проведя планирование эксперимента, мы получили значения, по которым можно сделать вывод, что данные крутящего момента и перепада давления соответствуют значениям, полученным на заводе изготовителе во время тестовой работы ВЗД 55.

Планирование эксперимента на стенде для бурения радиального канала. Опытные работы проводили варьированием переменных x_1 (частота вращения долота) и x_2 (осевая нагрузка). Каждую из переменных варьировали на двух уровнях (верхнем и нижнем), условно обозначенных символами + 1 и —1. Если бурение ведется при частоте вращения долота 300 и 400 мин⁻¹ при осевой нагрузке 1,5 и 2,5 кН, то часть интервала бурения, при котором частота вращения составляла 400 мин⁻¹, а осевая нагрузка 1,5 кН, в кодовом обозначении будет записана так: $x_1 = + 1$, $x_2 = -1$, а кодовое обозначение $x_1 = -1$,

$x_2 = +1$ будет указывать на то, что бурили при частоте вращения долота 300 мин⁻¹ и осевой нагрузке 2,5 кН.

Таблица 3 – Матрица планирования эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	$x_1^2 - 0,667$	$x_2^2 - 0,667$	$x_1 x_2$	v_{Mex}
1	+1	-1	-1	0,333	0,333	+1	0,75
2	+1	+1	-1	0,333	0,333	-1	1,25
3	+1	-1	+1	0,333	0,333	-1	1,5
4	+1	+1	+1	0,333	0,333	+1	1,75
5	+1	-1	0	0,333	-0,667	0	1,125
6	+1	+1	0	0,333	-0,667	0	1,5
7	+1	0	-1	-0,667	0,333	0	1
8	+1	0	+1	-0,667	0,333	0	1,625
9	+1	0	0	-0,667	0,667	0	1,3125
$\sum_{n=1}^N x_{in}^2$	9	6	6	2	2	4	
$\sum_{n=1}^N x_{in} \cdot v_{Mex}$	11,81	1,125	1,875	-0,0039	1,74	-0,25	
b_i	1,312	0,188	0,312	-0,0019	0,87	-0,0625	

Процесс бурения является сложным, если поиск оптимальных параметров режима бурения ведется практически в стационарной области, т.е. вблизи экстремума области, с достаточной точностью, описываемой многочленами второго порядка. Тогда нахождение зависимости v_{Mex} по четырем точкам, расположенным в вершинах квадрата, оказывается недостаточным, в связи с чем, необходимо добавить еще пять точек: одну в центре квадрата и четыре в середине его сторон. С увеличением числа точек до девяти возможно, что не все вектор столбцы матрицы планирования останутся ортогональными. Чтобы получить ортогональное планирование, необходимо преобразовать переменные и выбрать определенным образом расположение звездных точек, т. е. определить величину так называемого звездного плеча (таблица 3).

Таким образом, принимаем: $n=530$ мин⁻¹ и $P=2500$ Н. Если вернуться к характеристическим графикам (рисунок 2) двигателей типа Д-43, то при выбранных параметрах n и P , обеспечивается максимальная мощность.

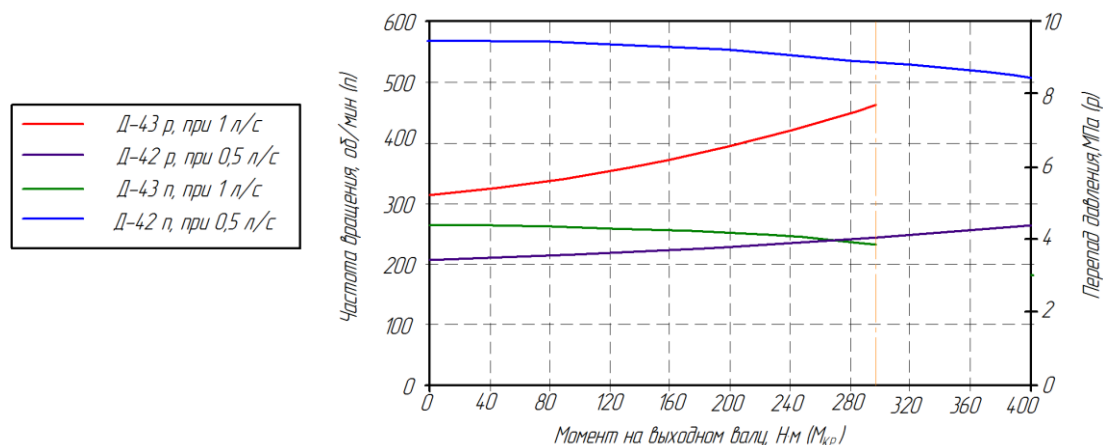


Рисунок 2 – Сравнение результатов аппроксимация ВЗД Д-43.5/6 при расходе промывочной жидкости 1л/с и Д-43.9/10 при расходе промывочной жидкости 0,5 л/с

В связи с тем, что мы предлагаем применять забойный двигатель с большей заходностью системы ротор-статор, поставим новую задачу. Представим искомую функцию в виде зависимости механической скорости бурения от следующих факторов: момента и перепада давления. Перепад давления выберем в интервале варьирования 3...4 МПа, а крутящий момент на валу двигателя в диапазоне от 400 до 800 Нм (паспортные данные Д-42.9/10 при максимальном КПД).

Аналитические зависимости механической скорости от переменных x_3 и x_4 аналогичны полученным ранее, решая которые для новой задачи получим формулы для определения значений крутящего момента и перепада давления:

$$0,61 = (M - 600) / 10; \text{ где } M = 0,61 \cdot 10 + 600 = 660,1 \text{ Нм};$$

$$2 = (p - 35) / 5; \text{ где } p = 2 \cdot 5 + 35 = 45 \text{ кгс/см}^2 = 4,5 \text{ МПа}.$$

Анализируя значения полученные в ходе планирования эксперимента, можно сделать вывод, что полученные значения крутящего момента и перепада давления соответствует реальным значениям, полученным ранее во время тестирования работы двигателя на заводе изготовителе, о чем свидетельствуют результаты аппроксимации, приведенные на рисунке 2.

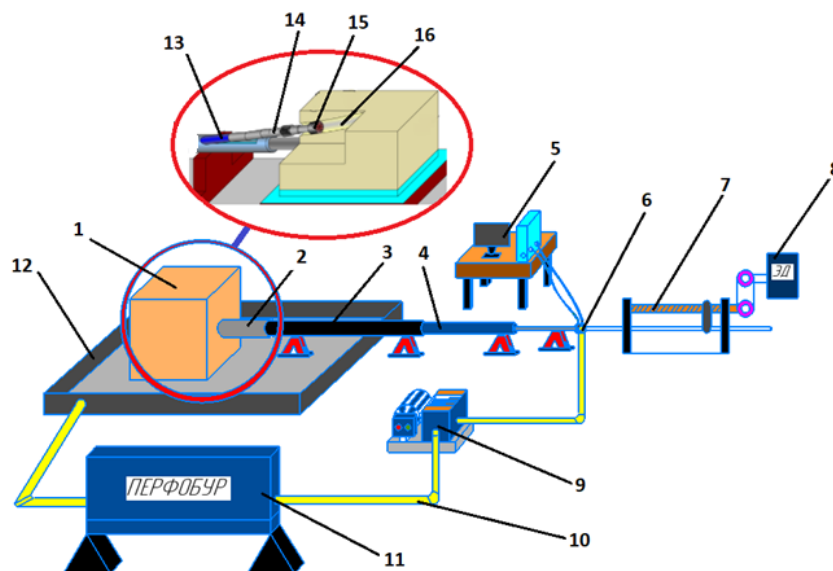
Планирование экспериментов позволяет построить математическую модель, на основе которой можно получить значения с высокой степенью достоверностью.

Для проведения стендовых испытаний, создан специальный стенд для бурения песчано-цементных блоков из марки бетона М400. Испытательный стенд ООО «Перфобур» включает в себя: песчано-цементный блок 1 (рисунок 4), емкость для промывочной жидкости 11 (рисунок 5), соединенную по средствам трубопровода 10 с насосной станцией СИН 46, который в свою очередь через рукав высокого давления подает промывочную жидкость на гидронагружатель [5,6].

Подача осевой нагрузки на горизонтально расположенную техническую

систему «Перфобур» происходит по средствам привода ходового винта 7 управляемого программно через стационарный компьютер для возможности задания необходимой величины осевой нагрузки (рисунок 7). На стационарном компьютере в специальной программе есть возможность просмотра графиков давления и нагрузки в процессе проведения эксперимента (рисунок 8).

Для измерения осевой нагрузки в ходе стендовых испытаний использовался гидравлический динамометр 6 – «месдоза» (рисунок 6), а для замеров величины давления - манометр.



1 – искусственный цементно-песчаный блок из марки бетона м400; 2 – искусственная обсадная колонна; 3 – клин-отклонитель; 4 – корпус перфобура; 5 – стационарный компьютер; 6 – месдоза; 7 – ходовой винт, подающего устройства; 8 – привод ходового винта; 9 – трех поршневая насосная станция син 46; 10 – нагнетательная линия насоса; 11 – емкость с технологической жидкостью; 12 – приемная емкость (бассейн); 13 – секция винтового забойного двигателя; 14 – шпиндель; 15 – долото (фреза); 16 – перфорационный канал

Рисунок 3 – Схема испытательного стенда



Рисунок 4 – Песчано-цементный блок из марки бетона М400



Рисунок 5 – Емкость с технологической жидкостью



Рисунок 6 – Месдоза с датчиками давления и нагрузки



Рисунок 7 – Стационарный компьютер с ПУ подающего устройства

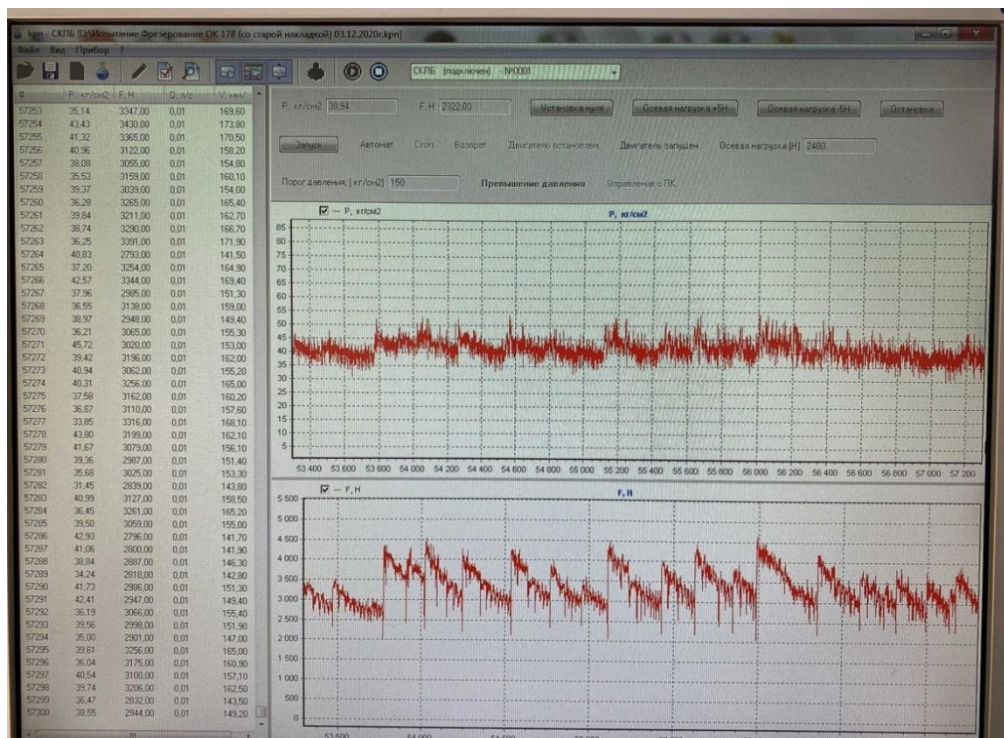


Рисунок 8 – Графики давления и осевой нагрузки в процессе эксперимента

В компоновке ТС «Перфобур» используются долота типа PDC различных диаметров от 58–68 мм в паре со специальными многосекционными винтовыми забойными двигателями диаметром 42-49 мм производства ООО «ВНИИБТ – БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ» и ООО «Фирма «Радиус Сервис» изготовленные по ТЗ и контролем компании «Перфобур» (рисунок 9, 10). При фрезеровании обсадных колонн используются фрезы производства диаметром 75 мм в паре с винтовыми забойными двигателями диаметром 54-55 мм производства ООО «ВНИИБТ – БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ» и ООО «Фирма «Радиус Сервис» изготовленные по ТЗ и контролем компании «Перфобур» (рисунок 11, 12).



Рисунок 9 – ВЗД ДОТ - 49 с долотом типа PDC диаметром 68 мм



Рисунок 10 – Долота типа PDC, применяемые в ТС Перфобур

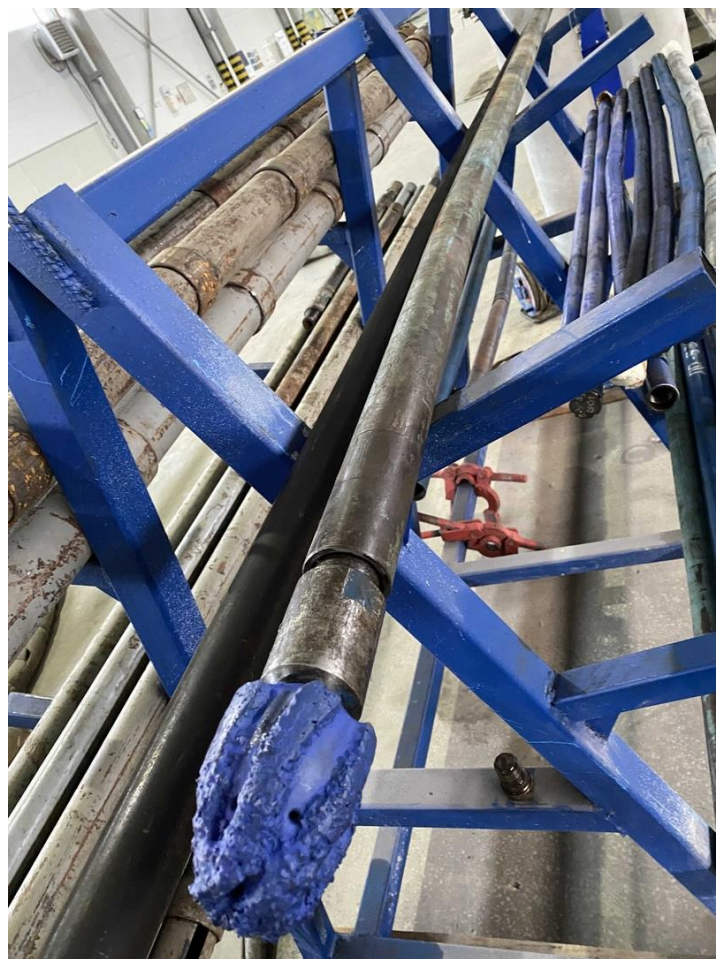


Рисунок 11 – ВЗД ДО - 54 с фрезом диаметра 75 мм



А



Б

А – фрез диаметром 75 мм нового образца; Б – фрезы разной конфигурации, применяемые в ТС Перфобур

Рисунок 12 – Фрезы применяемые в ТС Перфобур

Анализируя значения полученные в ходе планирования эксперимента, можно сделать вывод, что полученные значения крутящего момента и перепада давления соответствует реальным значениям, полученным ранее во время тестирования работы двигателя на заводе изготовителе. Также планирование

экспериментов позволяет построить математическую модель, на основе которой можно получить значения с высокой степенью достоверностью.

К моменту написания статьи компанией ООО «Перфобур» были проведены около 50 успешных скважинных операций на промыслах компаний ПАО «НК «Роснефть», ПАО «НК «Лукойл», ПАО «Татнефть», ООО «Нократойл», ПАО «Газпром», ПАО «Новатэк». Результатами ОПИ стало получение прироста дебита скважин до 2-4 раза, от тех показателей, которые были до работ компании Перфобур.

Список использованных источников:

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/ Адлер Ю.П., Макарова Е.В., Грановский Ю.В. – М.: «Издательство «Наука», 1976. – 280 с.
2. Козловский Е.А., Питерский В.П., Комаров М.А. Кибернетика в бурении. – М.: Недра, 1982. – 298с.
3. Касимов Д.Л. Техническая система «Перфобур» для бурения разветвленных каналов с контролем траектории / Д.Л. Касимов, А.В. Лягов // XII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники – 2019». – Уфа. – 2019. – С.132 – 139.
4. Касимов Д.Л. Опытнo-промысловые работы технической системой перфобур / Д.Л. Касимов, И.А. Лягов, А.В. Лягов // Материалы II Международной научно-практической конференции «Наука и технологии в нефтегазовом деле» КубГТУ. – Краснодар, 2020. – С. 144 – 147.
5. Лягов, И.А., Лягов, А.В., Сулейманов, И.Н., Качемаева, М.А. Создание технической системы «Перфобур» и исследование её работоспособности в сильно искривленном канале при вынужденных продольных колебаниях// Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2015. - №5. - С.45-105.
6. Лягов А.В. Антивибрационные-стабилизирующие компоновки бурильной колонны для технической системы «Перфобур» / А.В. Лягов, И.А. Лягов, И.Н. Сулейманов // SOCAR Proccedings. – Баку, 2020. – № 4. – С. 24-32.
7. Лягов, А.В., Лягов, И.А. Выбор допустимых радиусов кривизны скважин сверхмалого диаметра (каналов) для технической системы «Перфобур». Экспозиция Нефть и Газ. – 2014. - № 6. – С.47-52.
8. Лягов, И.А. Анализ результатов промысловых испытаний технической системы «Перфобур». Аналитический синтез базовых узлов «Перфобура» повышенной надежности для бурения сверхдлинных каналов по прогнозируемой траектории. Нефтегазовое дело. - 2014. - №1. – С.52-76.
9. Лягов, И.А. Обоснование и разработка технологии вторичного вскрытия продуктивных пластов разветвленными скважинами сверхмалого диаметра. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет. – 2014.
10. Шамов Н.А., Лягов А.В., Пантелеев Д.В., Васильев А.В., Лягова М.А., Лягов И.А., Назаров С.В., Асеев Е.Г. Техника и технология создания сверхглубоких перфорационных каналов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». - 2012. - №2. - С.131-174.

11. Lyagov, I.A. Bottomhole Formation Zone Completion through Ultra Deep Multibranch Channels: Experimental Research of a New Technology.// In Mine Planning and Equipment Selection Proceedings of the 22nd MPES Conference. Dresden: Springer International Publishing, 2014. - P.1221-1229.
12. Lyagov, I.A., Vasilev, N.I, Reich, M., Mezzetti, M. Analytical research and experimental tests on the technology for drilling small diameter channels with small radius of curvature. Oil Gas European Magazine, 2014. - №40(3). - P.124-129.

УДК 622.276

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ЭЦН

Лощакова Э.У.¹, Балахонцева Э.М. (ст. преподаватель)¹,

Зинатуллина Э.Я. (к.т.н., доцент)²

¹*Филиал ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ в г. Лениногорске, Российская Федерация*

²*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В статье обсуждается вопрос рентабельности восстановления деталей промысловых электроцентробежных насосов. Основной задачей исследования является изучение свойств износоустойчивости деталей центробежных промысловых насосов при применении газотермического напыления. Представлены результаты применения метода восстановления деталей газотермическим напылением, приведены примеры экономического эффекта от данного способа восстановления на существующем предприятии.

Ключевые слова: газотермическое напыление, электропогружной центробежный насос, прочность, износостойкость, долговечность

INCREASING THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF ESP PARTS

Loshchakova E.U., Balakhontseva E.M., Zinatullina E.Ya.

Annotation. The article discusses the issue of the profitability of the restoration of parts of field electric centrifugal pumps. The main objective of the study is to study the properties of wear resistance of parts of centrifugal field pumps when using thermal spraying. The results of applying the method of restoring parts by thermal spraying are presented, examples of the economic effect of this method of restoring at an existing enterprise are given.

Keywords: thermal spraying, electric submersible centrifugal pump, strength, wear resistance, durability

Установки электропогружных центробежных насосов (УЭЦН) представляют собой сложное и достаточно высокотехнологичное

оборудование, в состав которого входит множество элементов и узлов. В процессе эксплуатации отдельные сборочные узлы и элемент деталей могут выходить из строя под воздействием тех или иных факторов, что зачастую ведет за собой отказ всей установки [1-4].

Корпусные детали и узлы погружных центробежных насосов находятся под постоянным воздействием механических примесей, высокой обводненности, разрушительной коррозионной активности пластовой среды, повышенных температур, солеотложений [5]. Все это в совокупности приводит к коррозионному электрохимическому разрушению деталей и узлов установки насоса.

Известны различные методы, с помощью которых решаются проблемы, возникающие от коррозионного разрушения корпусных деталей и узлов погружных центробежных насосов [6].

Во-первых, в пластовую жидкость вводятся ингибиторы коррозии, способствующие пассивации контактирующей поверхности основного металла деталей и узлов УЭЦН, т.е. образованию тонкого слоя пленки оксидов, способной препятствовать разрушению основного материала [7].

Во-вторых, производят замену материалов корпусных деталей и узлов УЭЦН на наноматериалы, имеющие более высокую коррозионную стойкость.

В-третьих, методом газопламенного высокоскоростного напыления наносятся коррозионностойкие металлические защитные покрытия. Использование в напыляемых материалах легирующих элементов позволяет повысить износостойкость и, тем самым, дает возможность уменьшить пористость, минимизировать подпленочную коррозию и повысить прочностные свойства материалов.

В-четвертых, методом электродуговой металлизации наносятся металлические антикоррозионные покрытия, однако в этом случае появляется значительная пористость и требуется дополнительная защита. Для этого требуется нанести на поверхность толстый слой вязкой пропитки.

В-пятых, использование пропиток, в том числе фторосодержащих ПАВ, обеспечивающих дополнительную защиту от коррозии и защиту теневых зон.

Каждый из вышеперечисленных методов для коррозионной защиты узлов УЭЦН имеет свои недостатки. Так, время действия ингибиторов коррозии ограничено. Замена материала узлов и корпусных деталей ЭЦН на новые является весьма дорогостоящим мероприятием и к тому же не решает проблему влияния коррозии на обсадные и насосно-компрессорные колонны труб. Пропитываемые материалы, используемые при защите покрытия, нанесенного методом электродуговой металлизации, действуют как тепловая защита узлов насоса, вызывая перегрев деталей.

Постоянные осложнения условий эксплуатации погружного насоса на нефтяных месторождениях обостряют проблемы от влияния коррозии, что требует совершенствование технологий способов и методов увеличения износостойкости узлов насоса и их антикоррозионных свойств.

Наиболее популярным и действенным средством борьбы с коррозионным воздействием является металлическое и протекторное покрытие. Актуальным

на сегодняшний день направлением в их совершенствовании выступает оптимизация технологии нанесения покрытия, его состава и структуры.

Наноструктурированные покрытия значительно превосходят микроструктурированные по показателям адгезии, прочности, коррозионно-, износо- и термостойкости [8]. При использовании нанопокровтий появляется возможность достичь минимальной пористости структуры покрытия, близкой к компактному состоянию исходного материала, а также увеличить прочностные характеристики покрытий по сравнению с характеристиками покрытий, получаемых стандартными методами. Их применение способно увеличить ресурс работы деталей за счет улучшения эксплуатационных свойств, повысить надежность изделий, снизить затраты на ремонт, сократить сроки простоя оборудования в ремонте [9].

На современном этапе нанопокровтий применяют в основном в атомной промышленности и авиастроении, тогда как в нефтяной отрасли их практически не применяют. Но, учитывая активность разработчиков технологий в этом направлении ситуация может меняться.

Совместная работа «РОСНАНО» и «ТСЗП» запускает производство наноструктурированных многофункциональных покрытий с применением для их нанесения метода газотермического напыления [10]. В рамках разрабатываемого проекта запланирован запуск сети производственных инновационных центров, по разработке и реализации комплексных решений по нанесению наноструктурированных многофункциональных с целью восстановить деятельность и продлить срок работы нефтедобывающего промыслового оборудования, а также машин различных отраслей промышленности.

Нанесение износостойкого покрытия позволит, во-первых, восстановить целостность подверженной износу и коррозии поверхности, во-вторых, придать ей свойства во многом превосходящие свойства поверхности новой детали.

Анализ испытаний на износостойкость деталей, упрочненных методом газотермического напыления, показал, что с увеличением действующей на поверхность детали нагрузки величина износа поверхности детали, выполненной из материала закаленная сталь ЭИ415 значительно снизилась, причем все покрытия имеют более высокую износостойкость и лучшее значение критической нагрузки схватывания, чем принятая за эталон сталь ЭИ415.

Результаты испытаний износостойких материалов на степень износа, полученные методом математического анализа представлены в таблице 1.

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать газотермические покрытия с содержанием твердых фаз – карбидов для узлов тяжело-нагруженных деталей агрегатов, особенно в случаях, когда необходима высокая стойкость против схватывания.

Таблица 1 – Результаты испытаний износостойких материалов

Состав покрытий, масс. %	Износ покрытий, мм ³ , при нагрузке, МПа					Критическая нагрузка схватывания, МПа
	400	800	1200	1600	2000	
Сталь ЭИ415 (эталон)	0,200	0,400	0,600	0,800	1,000	4750
Cr ₃ C ₂ -NiCr	0,035	0,045	0,060	0,070	0,080	5200
Al ₂ O ₃ +30% Ni	0,035	0,060	0,090	0,120	0,150	8250
ПГ-CP2	0,185	0,250	0,400	0,500	0,700	8250
WC+15%Ni	0,010	0,015	0,018	0,020	0,025	5750
CHГН-55	0,135	0,175	0,250	0,300	0,550	7750
CHГН- 55+5%Mo+5%Al	0,055	0,100	0,140	0,200	0,250	8100

С точки зрения возможностей использования наноструктурированных покрытий в нефтяной промышленности можно выделить несколько перспективных направлений.

Во-первых, пары трения с антифрикционными покрытиями. Их использование позволяет в 2–3 раза снизить коэффициенты трения, что способствует повышению КПД, снижению температуры, уменьшению отложения солей.

Во-вторых, замена нирезиста на тонкие покрытия, обеспечивающие высокую стойкость к гидроабразивному износу. Специальные покрытия предотвращают солеотложения.

В-третьих, защита от гидроабразивного износа гильзы газосепаратора УЭЦН.

Кроме того, нанопокрyтия могут использоваться для защиты буровых долот, винтов и валов винтовых забойных двигателей, деталей турбобуров и т.д.

Процессы газотермического напыления обладают существенными преимуществами в сравнении с другими методами нанесения покрытий. Имея широчайший спектр напыляемых материалов и подложек методом газотермического напыления возможно нанести покрытия на объекты практически любого размера и формы. Нанесение газотермических покрытий не вызывает значительного разогрева обрабатываемых поверхностей. При проведении напыления отсутствуют температурные деформации напыляемых деталей, нет структурных изменений в материале обрабатываемой детали. Данный метод является ресурсо- и энергосберегающим, поскольку экологичен и имеет высокую экономическую эффективность.

Описанные процессы увеличивают срок эксплуатации оборудования, позволяют восстанавливать изношенные узлы, а не заменять на новые.

Применение функциональных покрытий даст возможность сэкономить дорогостоящие материалы и при этом изготавливать основной объем детали из более дешевого металла. Внедрение в производство автоматизированного процесса газотермического напыления позволит выпускать продукцию с высокими эксплуатационными свойствами, отвечающими требованиям современных технологий.

Список использованных источников:

1. Мирсаетов, О.М. Пути повышения износо и коррозионной стойкости элементов УЭЦН при сложных геолого-технических условиях эксплуатации / В.М. Андрюшин, Г.П. Соболев, В.В. Тарасов, Е.Б. Думлер // Эффективность разработки трудноизвлекаемых запасов нефти. – Ижевск, 2012. – С.158-160.
2. Патент RU 2649194. Скважинная насосная установка / К.Р. Уразаков, Е.Б. Думлер, О.Ю. Думлер, Р.И. Вахитова, В.А. Молчанова; опубл. 30.03.2018.
3. Вахитова, Р.И. Энергопотребление погружных установок электроцентробежных насосов / Р.И. Вахитова, К.Р. Уразаков, Е.Б. Думлер, Л.Р. Загитова, Д.А. Сарачева // Альметьевский государственный нефтяной институт. Альметьевск, 2020. – 100 с.
4. Думлер, Е.Б. Эксплуатация погружных центробежных насосов в условиях повышенного содержания свободного газа / Е.Б. Думлер, Ф.З. Булюкова // В сборнике: Материалы 47-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. – 2020. – С.519-523.
5. Булчаев, Н.Д. Прогнозирование солеотложения в призабойной зоне пласта нефтедобывающих скважин / Н.Д. Булчаев, А.Ш. Халадов, Ф.З. Булюкова, Е.Б. Думлер // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 3. – С.220-230.
6. Уразаков, К.Р. Пути снижения интенсификации коррозионных процессов в нефтепроводах / К.Р. Уразаков, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – № 7. – С. 66-69.
7. Молчанова, В.А. Повышение эффективности дозирующего устройства для подачи реагентов / В.А. Молчанова, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – № 7. – С.62-65.
8. Вахитова, Р.И. Разрушение устойчивых эмульсий с применением нанодиспергированных фуллеренов / Р.И. Вахитова, Д.А. Сарачева, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов, Е.Б. Думлер // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2020. – Т. 63. – № 4. – С.74-80.
9. Никитас, Ю.В. Газотермическое напыление и его практическое применение для защиты оборудования от изнашивания // Химическая техника. – 2011. – №9. – С. 8.
10. Зайцев, К.В. Способ обработки поверхности под высокоскоростное газотермическое напыление // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 3. – С.350-355.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГЛУБИНОНАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МАЛОДЕБИТНЫХ И ОБВОДНЕННЫХ СКВАЖИНАХ

Магдеев Т.Р. (студент гр. 28476)¹, Макарова Т.Г. (к.т.н., доцент)¹

Зинатуллина Э.Я. (к.т.н., доцент)²

¹*Филиал ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ в г. Лениногорске, Российская Федерация*

²*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В работе рассматривается проблема, связанная с осложнениями при эксплуатации малодебитных скважин, оборудованных штанговыми скважинными насосными установками. Рассмотрены основные методы и технологически эффективные способы борьбы с пескопроявлением, отложением асфальтосмолопарафинов и влиянием коррозии.

Проанализирован практический опыт применения различных методов и приспособлений, позволяющих при тех или иных условиях повысить эффективность эксплуатации штанговых установок.

Ключевые слова: малодебитные скважины, штанговая скважинная насосная установка, асфальтосмолопарафиновые отложения, коррозия, пескопроявление

OPERATION OF DEPTH PUMPING EQUIPMENT IN SMALL AND WATER WELLS

Magdeev T.R., Makarova T.G., Zinatullina E.Ya.

Annotation. The paper deals with the problem associated with complications during the operation of marginal wells equipped with sucker rod pumping units. The main methods and technologically effective methods for combating sand production, asphalt-resin-paraffin deposition and the effect of corrosion are considered.

The practical experience of using various methods and devices is analyzed, which makes it possible, under certain conditions, to increase the efficiency of sucker rod installations.

Keywords: marginal wells, sucker rod pumping unit, asphalt-resin-paraffin deposits, corrosion, sand production

Для обеспечения безотказной и безаварийной работы внутрискважинного штангового насосного оборудования в скважинах с малым дебитом и высокой обводненностью необходимо своевременно выявить факторы, осложняющие работу узлов штанговой насосной установки (ШНУ) [1-3].

Таким фактором является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в призабойной зоне пласта и в стволе скважин [4, с. 43].

Основным методом и технологически эффективным способом борьбы с АСПО в скважинах, где зона отложений начинается выше насоса, являются насосные штанги со скребками в сочетании с канатной подвеской сальниковой

штока и штанговращателя. Как правило, в вертикальных скважинах применяют металлические скребки, а в наклонно-направленных – скребки-центраторы.

Практический опыт применения пластмассовых скребков-центраторов на скважинах ОАО «Татнефть» показал, что применение этих устройств позволило:

- в два раза увеличить межремонтный период оборудования установки (МРП),
- в пять раз повысить межочистительный период скважины (МОС), сократить износ стенок насосно-компрессорных труб (НКТ),
- снизить влияние динамических нагрузок на головку балансира привода в вертикальных скважинах за счет уменьшения сил трения «пластмасса – металл» (до 20 %),
- обеспечить центровку колонны штанг в скважинах с наклонно-направленным профилем,
- обеспечить максимально полное удаление АСПО с внутренней поверхности НКТ за счет комплексного воздействия (скребок-центратор +пластинчатый скребок).

В скважинах, где зона АСПО смещена на прием штангового насоса или расположена непосредственно над насосом, эффективен химический метод [5, с. 32].

Перспективным является направление применения футерованных труб с защитным покрытием. Правильный подбор защитного покрытия значительно снижает, а иногда, дает возможность полностью предотвратить запарафинивание оборудования.

В условиях ОАО «Татнефть» применяют НКТ с внутренним покрытием, выполненным из жидких полимерных материалов. Защитное покрытие наносится и распределяется по всей поверхности трубы, на торцовые части и первые 2-3 витка резьбовой части. Недостатком полимерных покрытий является не высокая термостойкость, поэтому применение в скважинах НКТ покрытых полимерами недопустимо проведение тепловых методов воздействия на пласт.

При всех способах эксплуатации скважин наблюдаются отложение солей, но наиболее отрицательные последствия от их отложений возникают при работе штанговых глубинных насосов и установок электропогружных центробежных насосов.

Межремонтный период работы механизированного фонда таких скважин очень низкий. Правильный подбор метода можно осуществить только, опираясь на исследование гидрохимической и термодинамической обстановки по эксплуатационным объектам. Значительный эффект по снижению интенсивности отложений солей даёт селективная изоляция обводнившихся пропластков послойно-неоднородного продуктивного пласта, поскольку при сокращении притока воды, перенасыщенной солями, уменьшается и отложение солей [6, с. 126].

Из известных способов предупреждения отложений неорганических солей при добыче нефти, наиболее эффективным и технологичным является

способ применения химических реагентов-ингибиторов [7, с. 220]. Реагенты препятствуют отложению солей на поверхности промышленного оборудования. Эффективная борьба с отложениями солей возможна при своевременном их обнаружении. Для этой цели рекомендуется регулярно проводить анализы добываемых вод. При высокой степени вероятности (95 %) скважины планируются к обработке ингибиторами отложений солей. Для обработки скважин рекомендуются следующие ингибиторы отечественного производства: ИС.Б-1, ДПФ, ПАФ-13А, инкредол.

Еще одним из факторов, негативно влияющим на работу ШСНУ является пескопроявление. Поток песка в скважину из несцементированных пластов может привести к различным проблемам [8, с. 79].

Наиболее очевидная проблема – это преждевременный выход из строя оборудования по механизированной эксплуатации в результате напряжений, которые вызывают в оборудовании захваченные твердые частицы.

Второй проблемой является потеря добычи в результате образования песчаных пробок. К прочим проблемам, вызываемых песком, относятся повреждение обсадных труб или хвостовиков в результате изменений в окружающих пластах и абразивный износ забойного и наземного оборудования.

Следует предусмотреть защитные мероприятия, предотвращающие поступление песка в скважину. Анализ эффективности методов борьбы с выносом песка, применяемых в ОАО «Татнефть» позволил подразделить их на две категории:

- методы предотвращения выноса песка из пласта;
- методы борьбы с последствиями выноса песка.

К первой категории можно отнести технологию вскрытия неоднородного слабосцементированного пласта; термохимическую обработку; закачку смеси песка и резиновой крошки.

Ко второй категории относятся промывка песчаных пробок, применение песочных фильтров и песочных якорей, применение насосов, позволяющих работать с выносом песка.

Коррозионное разрушение является одной из распространенных причин отказов оборудования скважин. В основном преобладает электрохимическая коррозия, представляющая собой самопроизвольный процесс разрушения металла при контакте с электролитической средой, каковой является пластовая вода. С увеличением содержания воды в продукции скважины происходит расслоение водонефтяной эмульсии и появление воды в качестве отдельной фазы. На металле образуется водная прослойка той или иной толщины, что обуславливает активизацию коррозионного процесса, интенсивность которого в значительной степени зависит от наличия в смеси таких агрессивных компонентов, как сероводород, углекислый газ, минеральные соли.

Совместное воздействие на оборудование повторно-переменных нагрузок и эксплуатационной среды вызывает его коррозионную циклическую усталость. Этому виду разрушения подвержены, прежде всего, колонны насосных штанг.

Наблюдение за характером обрывов насосных штанг на различных нефтяных месторождениях показало, что большинство обрывов происходит в результате коррозионно-усталостного разрушения.

К основным мерам по предотвращению и защите скважинного оборудования от коррозии можно отнести выбор исполнения оборудования в соответствии со свойствами скважинной среды, подачу в скважину ингибиторов коррозии глубинными или устьевыми дозаторами, катодную защиту эксплуатационных колонн скважин [9, с. 66, 10, с. 62].

Ингибиторы коррозии могут применяться для защиты оборудования добывающих скважин от коррозии. При выборе ингибитора должна учитываться плотность нефти, находящейся в межтрубном пространстве, при этом плотность ингибитора должна быть больше плотности нефти [11, с. 6].

Существуют несколько технологий подачи ингибиторов, например, задавливание реагента в призабойную зону пласта с последующим выносом его, непрерывная подача ингибитора с помощью различных дозаторов (электрифицированные, с приводом от станка-качалки, самотечные), периодическая заливка в межтрубное пространство и т.д.

Ассортимент применяемых ингибиторов для защиты внутрискважинного оборудования определяется свойствами добываемой жидкости. Так как коррозионной средой является водонефтяная эмульсия, то применять нефтерастворимые водонедиспергируемые ингибиторы нельзя, предпочтительно использование водорастворимых ингибиторов. Как и в случае защиты от коррозии трубопроводов, подбор ингибиторов производится индивидуально для каждой среды.

В результате проанализированы и изучены методы и выявлены наиболее эффективные способы предотвращения различных осложнений при эксплуатации скважин оборудованных штанговыми скважинными насосными установками на существующих объектах нефтедобычи.

Список использованных источников:

1. Архипов, К.И. Справочное пособие по глубиннонасосному оборудованию/ К.И. Архипов, Р.Н. Абзипаров, С.Х. Мотыгуллин, Ю.Н. Баров, Е.Б. Думлер. – Альметьевск: Изд-во ТатАСУнефть, 2008. – 276с.
2. Думлер, Е.Б. Глубинные штанговые насосы для добычи нефти (по АРІ): Учеб. пособие по дисциплине «Техника и технология добычи нефти и газа». – Альметьевск, 2007. – 120с.
3. Архипов, К.И. Скважинное штанговое насосное оборудование для добычи нефти/ К.И. Архипов, Е.Б. Думлер. – Альметьевский государственный нефтяной институт. Альметьевск, 2008. – 227с.
4. Муслимов, Т.М. Анализ и обоснование современных методов предотвращения и борьбы с АСПО, применимых для Ванкорского блока месторождений/ Т.М. Муслимов, Д.С. Островский, Л.В. Потылицына // Естественные и технические науки. – 2017. – №3 (105). – С.43-45.
5. Баландин, Л.Н. Проведение исследований по подбору эффективных реагентов для удаления и предотвращения образования АСПО [Текст] / Л.Н.

- Баландин, О.М. Елашева, Ю.А. Дубовицкая // Естественные и технические науки. – 2017. – №3 (105). – С.32-37.
6. Булчаев, Н.Д. Прогнозирование солеотложения в призабойной зоне пласта нефтедобывающих скважин [Текст] / Н.Д. Булчаев, А.Ш. Халадов, Ф.З. Булюкова, Е.Б. Думлер // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – №3. – С.220-230.
7. Бакраев, М.М. Исследование методов интенсификации добычи нефти из нижнемеловых отложений Горячеисточненского месторождения / М.М. Бакраев, Ф.З. Булюкова, Е.Б. Думлер, А.С. Дельбиев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т.332. – №3. – С.126-134.
8. Уразаков, К.Р. Пути снижения интенсификации коррозионных процессов в нефтепроводах/ К.Р. Уразаков, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – №7. – С.66-69.
9. Булюкова, Ф.З. Экономическая эффективность применения метода предотвращения образования песчаных пробок в водозаборных скважинах/ Ф.З. Булюкова, Н.Д. Булчаев, Е.Б. Думлер // В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. - Уфа: УГНТУ. – 2020. – С.79-85.
10. Молчанова, В.А. Повышение эффективности дозирующего устройства для подачи реагентов/ В.А. Молчанова, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – №7. – С.62-65.
11. Алаева, Н.Н. Давление и плотность смеси – параметры системы контроля и управления режимом работы нефтяной скважины/ Н.Н. Алаева, Ю.Б. Томус, Е.Б. Думлер // Нефтегазовое дело. – 2019. – Т.17. – №3. – С.6-14.

УДК 622.24.053

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННОЙ С НДС БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ ПРИ БУРЕНИИ НА ШЕЛЬФЕ

Мухаметов М.Г. (МГБ04-20-01), Ибрагимов Д.Ф. (МГБ04-20-01)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация,*

Аннотация. В практике бурения на шельфе при решении задач, связанных с напряженно-деформированным состоянием бурильной колонны, выявляются некоторые математические трудности, вследствие чего решение становится громоздким. В данной статье представлен упрощенный метод решения данной задачи, представляя, что поперечные силовые воздействия отсутствуют. Из-за своей простоты и достаточной точности представленный вариант решения соответствующей задачи рекомендуется к широкому применению.

Ключевые слова: бурильная колонна, шельф, переменная, дифференциальное уравнение, платформа, поперечные усилия

SIMPLIFIED METHOD FOR SOLVING PROBLEMS RELATED TO STATEMENT OF A DRILL STRING WHEN DRILLING ON THE SHELF

Mukhametov M.G., Ibragimov D.F.

Annotation. In the practice of offshore drilling, when solving problems associated with the stress-strain state of the drill string, some mathematical difficulties are revealed, as a result of which the solution becomes cumbersome. This article presents a simplified method for solving this problem, assuming that there are no transverse forces. Due to its simplicity and sufficient accuracy, the presented solution to the corresponding problem is recommended for widespread use.

Key words: drill string, shelf, variable, differential equation, platform, lateral forces

При бурении с буровой платформы на шельфе и любых других водных массивов напряженно-деформированное состояние бурильной колонны будет зависеть от следующих параметров: смещение по горизонтали платформы от забоя Δ ; угол перекоса платформы от волн α ; боковые силы, возникающие при течении воды q ; вес бурильной колонны g ; натяг колонны от работы продольной силы N_A , все это представлено на рисунке 1.

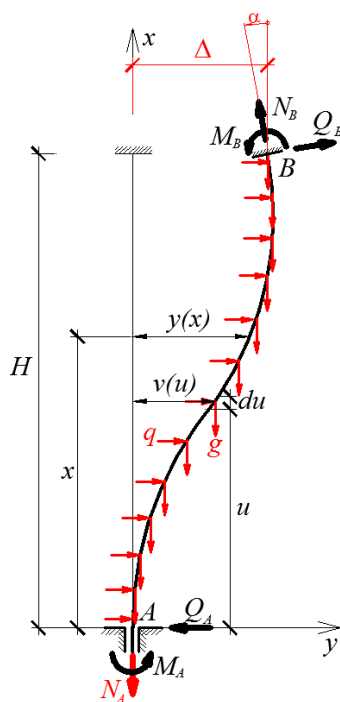


Рисунок 1 – Схема бурильной колонны для расчетов

На рисунке 1 черным цветом показаны реакции или реактивные силы, а красным силовые и кинематические воздействия, в совокупности данных сил возникает напряженное состояние в бурильной колонне. Максимальная

величина напряжении, что может выдержать колонна ограничивается условием её прочности, поэтому необходимо высчитать величины действующих в колонне усилий. Решение этой задачи [1-3] имеет определенные математические проблемы, и вследствие чего довольно громоздка.

В схеме бурильной колонны видно, что поперечная нагрузка равномерно распределяется по высоте, благодаря течению вод, но это не говорит о равномерности сил в зависимости от глубины места бурения [4]. Следовательно, возможно учитывать давление воды в отдельном расчёте, а в общем неравномерном варианте вообще исключить его. Тогда уравнение (2) с безразмерных параметров (1) будет выглядеть как (3):

$$\frac{N_A H^2}{EJ} \equiv \omega; \quad \frac{g H^3}{EJ} \equiv \kappa; \quad \frac{q H^3}{EJ} \equiv \lambda; \quad \frac{Q_A H^2}{EJ} \equiv \chi; \quad \frac{\Delta}{H} \equiv \delta, \quad (1)$$

$$\psi''(\xi) = (\omega + \kappa \xi) \psi(\xi) + \frac{\lambda}{\delta} \xi - \frac{\chi}{\delta}, \quad (2)$$

$$\psi''(\xi) = (\omega + \kappa \xi) \psi(\xi) - \frac{\chi}{\delta}, \quad (3)$$

По аналогии с работой [5], для облегчения переменную ξ со значениями от 0 до 1, заменим константой равной 0,5. Это сделано чтобы избавиться от непостоянного коэффициента в линейном дифференциальном (3). Как результат уравнение будет выглядеть:

$$\psi''(\xi) - (\omega + 0,5\kappa) \psi(\xi) = -\frac{\chi}{\delta}, \quad (4)$$

Данное неоднородное линейное уравнение решим стандартным методом. Отметим, что:

$$\omega + 0,5\kappa \equiv \beta^2, \quad (5)$$

Следовательно:

$$\psi''(\xi) - \beta^2 \psi(\xi) = -\frac{\chi}{\delta}, \quad (6)$$

Частное решение уравнения (6) высчитаем как константу A из условия $-\beta^2 A = -\frac{\chi}{\delta}$, которое принимая во внимание корни $k_{1,2} = \pm \beta$ характеристического уравнения $k^2 - \beta^2 = 0$ получит общее решение:

$$\psi = C_1 e^{\beta \xi} + C_2 e^{-\beta \xi} + A, \quad (7)$$

Определяем константы C_1 и C_2 из граничных условия (12). Получим следующие уравнения:

$$C_1 + C_2 + A = 0, \quad (8)$$

$$C_1 e^{\beta} + C_2 e^{-\beta} + A = \psi_1, \quad (9)$$

где

$$\psi_1 = -\frac{\alpha}{\delta}, \quad (10)$$

Поскольку через формулы (7) и (1) параметр A зависит от величины поперечного усилия в забое Q_A он будет не определён.

Уравнения изогнутой оси колонны $\eta(\xi)$ получим интегрированием формулы (7):

$$\eta(\xi) = \frac{C_1 e^{\beta \xi} - C_2 e^{-\beta \xi}}{\beta} + A\xi + C_3, \quad (11)$$

В данном случае для $\eta(\xi)$ должны выполняться граничные условия из которых следует $\eta|_{\xi=0} = 0$ и $\eta|_{\xi=1} = 1$:

$$\frac{C_1 e^{\beta} - C_2 e^{-\beta}}{\beta} + A + C_3 = 1 \text{ и } \frac{C_1 - C_2}{\beta} + C_3 = 0, \quad (12)$$

Решив уравнения (8), (9) и (12) относительно констант C_1 , C_2 , C_3 и A . Получим следующий результат:

$$\begin{aligned} A &= -C_1 - C_2, \\ C_3 &= -\frac{C_1 - C_2}{\beta}, \\ C_2 &= \frac{[2(e^{\beta} - 1) - \beta]C_1 - \beta - \psi_1}{\beta}, \\ C_1 &= \frac{\psi_1 \beta e^{\beta} - (\psi_1 + \beta)(e^{\beta} - 1)}{(e^{\beta} - 1)[(\beta - 2)e^{\beta} + \beta + 2]}, \end{aligned} \quad (13)$$

Собственно, подставив выражения (13) в уравнения (7) и (11), мы как раз получаем сложное и громоздкое решение. Чтобы этого избежать оставим из не изменяя, и решим, выполняя определенную последовательность действий [6].

Выражение изгибающего момента получим, дифференцированием уравнения (7) применительно к формуле (13):

$$\eta''(\xi) = \psi'(\xi) = \beta(C_1 e^{\beta \xi} - C_2 e^{-\beta \xi}), \quad (14)$$

$$M(\xi) = -\frac{\delta EJ}{H} \eta''(\xi), \quad (15)$$

Поперечное усилие получим, дифференцированием момента $M(\xi) = -i\delta \eta''(\xi)$:

$$Q(\xi) = -\frac{i\delta}{H} \eta'''(\xi), \quad (16)$$

Здесь

$$\eta'''(\xi) = \beta^2 (C_1 e^{\beta \xi} + C_2 e^{-\beta \xi}), \quad (17)$$

Откуда получаем, формулу продольного усилия:

$$N(\xi) = N_A + gH\xi, \quad (18)$$

Расчеты по графикам следующих функции $\psi(\xi)$, $\eta(\xi)$, $M(\xi)$, $Q(\xi)$ и $N(\xi)$ представлены графиками на рисунке 2[7]. По этому рисунку видно, что графики $\eta(\xi)$ и $M(\xi)$ полученные с приближенным решением остаются прямолинейными, но немного наклонными, а заметные искривления заметны только внебольших зонах забоя и у водной глади. Искривление колонны происходит из-за большой потенциальной энергии деформации бурильных труб, следовательно, значения изгибающих моментов получаются немного завышенными, таким образом эти расчеты могут быть соотнесены на запас прочности бурильной колонны. Однако, сравнивая рисунок 2 с результатами, полученными методом конечных разностей точного уравнения [8] видно, что результаты достаточно хорошо согласуются. Следовательно, данный аналитический вариант приближенного решения можно использовать при

проектировании компоновки буровых колонн в практических расчетах на шельфе.

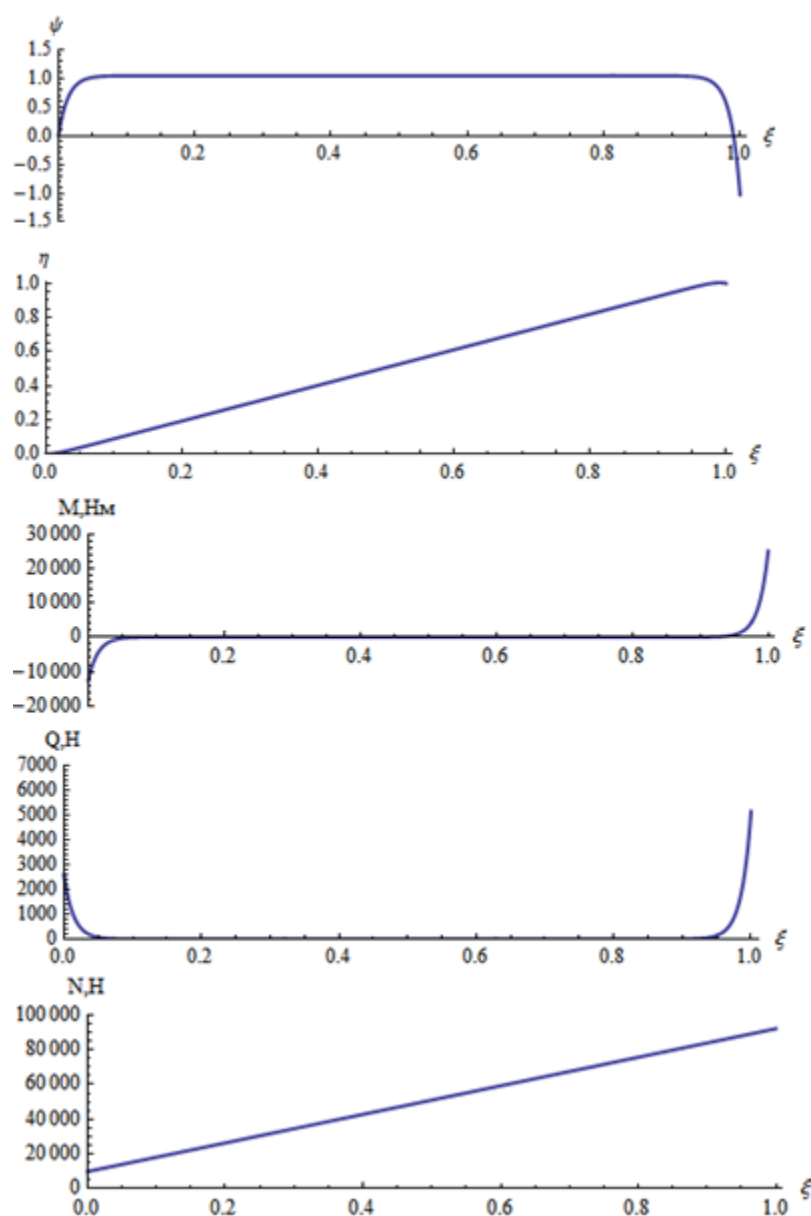


Рисунок 2 – Результаты полученных уравнений (4)

Обобщая все вышесказанное, при изгибе колонны с растяжением, можно решить задачу о внутренних усилиях буровой колонны следуя данной методики. Сначала по формулам (1), по значениям исходных данных, вычисляются δ , κ , и ω . После с помощью формулы (5) получить параметры β , и по (10) – ψ_1 . Далее следуя набору формул (13) определить константы C_1 и C_2 , с которыми и используя формулы (14) вычислить кривизну $\eta''(\xi)$. Следующее данную кривизну можно подставить в формулу (15) для изгибающего момента $M(\xi)$, согласно которой и строится эпюра моментов от кинематических воздействий Δ и α и от силовых воздействий g и N_A .

По формулам (16) поперечные усилия $Q(\xi)$, в практическом расчете можно пренебречь, это связано с тем, что в поперечном сечении колонны касательные напряжения ниже нежели связанных с действиями крутящих моментов касательных напряжений.

График продольных усилий $N(\xi)$ можно построить по формуле (18).

Список использованных источников:

1. Сароян, А.Е. Бурильные колонны в глубоком бурении. – М.: Недра, 1980. – 232 с.
2. Сароян, А.Е. Теория и практика работы бурильной колонны. – М.: Недра, 1990. – 263 с.
3. Матюшин, В.П. Некоторые аспекты методологии изучения процесса изнашивания нефтепромыслового оборудования / В.П. Матюшин, В.Г. Конесев, Р.А. Исмаков, Ф.Н. Янгиров // В книге: Инновационное нефтегазовое оборудование: проблемы и решения. Всероссийская научно-техническая конференция. - 2010. - С. 240-243.
4. Янгиров, Ф.Н. Системы компенсации вертикальной качки и их влияние на буровые работы в море / Ф.Н. Янгиров, Я.А. Попов, А.Р. Кашфуллин, М.П. Лукьянов // Поколение будущего. - СПб. ГНИИ Нацразвитие, 2020. – С. 42-44.
5. Котов, А.А. Расчет бурильной колонны для бурения на акватории/ А.А. Котов, Б.А. Коротаев // Известия ВУЗ. Арктический регион. – 2017. – Вып. 1. – С. 112-119.
6. Тимирханов, И.Ф. Исследование сварных соединений основной трубной конструкции бурового райзера АБР-Г / И.Ф. Тимирханов, Ф.Н. Янгиров, А.А. Альмухаметов, А.В. Греб // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – Уфа. УГНТУ, 2017. – №4. – С. 84-91.
7. Яхин, А.Р. Исследование износостойкости замков бурильных труб при трении о горную породу в различных средах / А.Р. Яхин, Г.В. Конесев, Ф.Н. Янгиров, А.М. Фролов // Территория нефтегаз. – М. Камелот Паблишинг, 2014. – №6. – С. 30-35.
8. Котов, А.А. Простые решения задачи о напряженно-деформированном состоянии бурильной колонны при бурении на акватории / А.А. Котов, Б.А. Коротобаев, Ф.Н. Янгиров // Нефтегазовое дело. – Уфа: УГНТУ, 2020. – №6. – С. 48-55.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПОЛОСТИ ТРУБОПРОВОДА С ВЫСОКИМИ СКОРОСТЯМИ ПОТОКА ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ СРЕДЫ

Нуриддинов Б.Б. (A1554-18-01)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматривается внутритрубная очистка и диагностика линейной части трубопроводов, для поддержания безопасной и эффективной работы трубопроводных систем.

Для оценки динамических параметров для расчетной математической модели промыслового трубопровода К-10 УЗА Ш-23, разработана математическая модель внутритрубного очистного устройства на основе поршня разделителя типа ПРВ без отверстий перепуска с площадью перекрытия потока очистным устройством.

Ключевые слова: эксплуатация, трубопровод, технологический процесс, перекачка, газоконденсат, высокие скорости, диагностика, очистка, транспорт, переработка

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF CLEANING THE PIPELINE CAVITY WITH HIGH FLOW RATES OF THE PUMPED MEDIUM

Nuriddinov B.B.

Annotation. The article deals with in-line cleaning and diagnostics of the linear part of pipelines, to maintain the safe and efficient operation of pipeline systems. To evaluate the dynamic parameters for the calculated mathematical model of the field pipeline K-10 UZA Sh-23, a mathematical model of an in-line cleaning device based on a PRV-type separator piston without bypass holes with an area of flow overlap by the cleaning device was developed.

Keywords: operation, pipeline, technological process, pumping, gas condensate, high speeds, diagnostics, cleaning, transport, processing

Очистка и диагностика линейной части магистральных, промысловых и технологических трубопроводов, является одними из главных операций для поддержания надежности, целостности и безопасной эксплуатации трубопроводной системы.

Проведение работ по очистке и диагностике, а именно пропуск внутритрубных устройств, для трубопроводов с высокими скоростями потока перекачиваемой среды вызывает некоторые трудности.

Дело в том, что скорость потока перекачиваемой среды таких трубопроводов настолько велика, что традиционная очистка и диагностика внутренней полости не только неэффективна, но и небезопасна.

Скорость потока может достигать до 25 м/с. Такие трубопроводы чаще всего встречаются на газовых промыслах, газоконденсатных, нефтегазовых месторождениях, а также в магистральном транспорте газа и в блоке переработке нефти и газа.

Характер загрязнения внутренней полости, может быть совершенно разнообразным и зависит от компонентного состава продукта перекачки, поэтому существует ошибочное мнение, что при таких скоростях загрязнения не успевают откладываться на стенках трубопровода.

Как и отмечалось ранее, традиционный способ очистки и диагностике при таких скоростях невозможен, ввиду высоких скоростей самих внутренних устройств.

По мнению экспертов, для безопасной и эффективной очистки и диагностике линейной части, скорость внутритрубных устройств не должна превышать 5 м/с.

Свыше 5 м/с, возрастает риск повреждения внутритрубного устройства и его дальнейшее застревание в полости трубопровода или отдельных его частей (запорной арматуры), что приведет к аварийной остановке и технологического процесса.

Одним из примеров таких трубопроводов, является промысловый трубопровод «К-10 УЗА – Ш-23», по которому перекачивается двухфазный продукт (газ и газовый конденсат, со степенью обводненности 10,2 %), протяженностью 7216 м диаметром 426 мм с толщиной стенки 9 мм. Коэффициент эквивалентной шероховатости стенки трубопровода 0,03 мм, суточная производительность 1597 тыс. м³/сут., плотность транспортируемой среды при нормальных условиях 0,839 кг/м³, скорость газа в трубопроводе до 20 м/с. Данный трубопровод имеет сложные участки, в том числе и подводные переходы через реки.

Для данного трубопровода, на основе формул гидравлического расчета, была построена математическая модель перекачки транспортируемого продукта.

Результатом разработки математической модели, является графическая зависимость, представленная на рисунке 1.

По мере увеличения расхода газа в трубопроводе, увеличивается и его скорость. При проектном (режимном) расходе 31,01 м³/с, начальная скорость продукта перекачки составляет 13,8 м/с, а конечная скорость имеет значение 16,64 м/с. Таким образом, данный трубопровод работает с высокими скоростями потока перекачиваемого продукта.

В качестве метода решения проблемы, предложено рассмотреть очистное устройство на основе поршня поршня-разделителя типа ПРВ, со следующими рабочими параметрами: масса очистного устройства 75 кг, длина 0,872 м, для математической модели действующего промыслового трубопровода К-10 УЗА Ш-23.

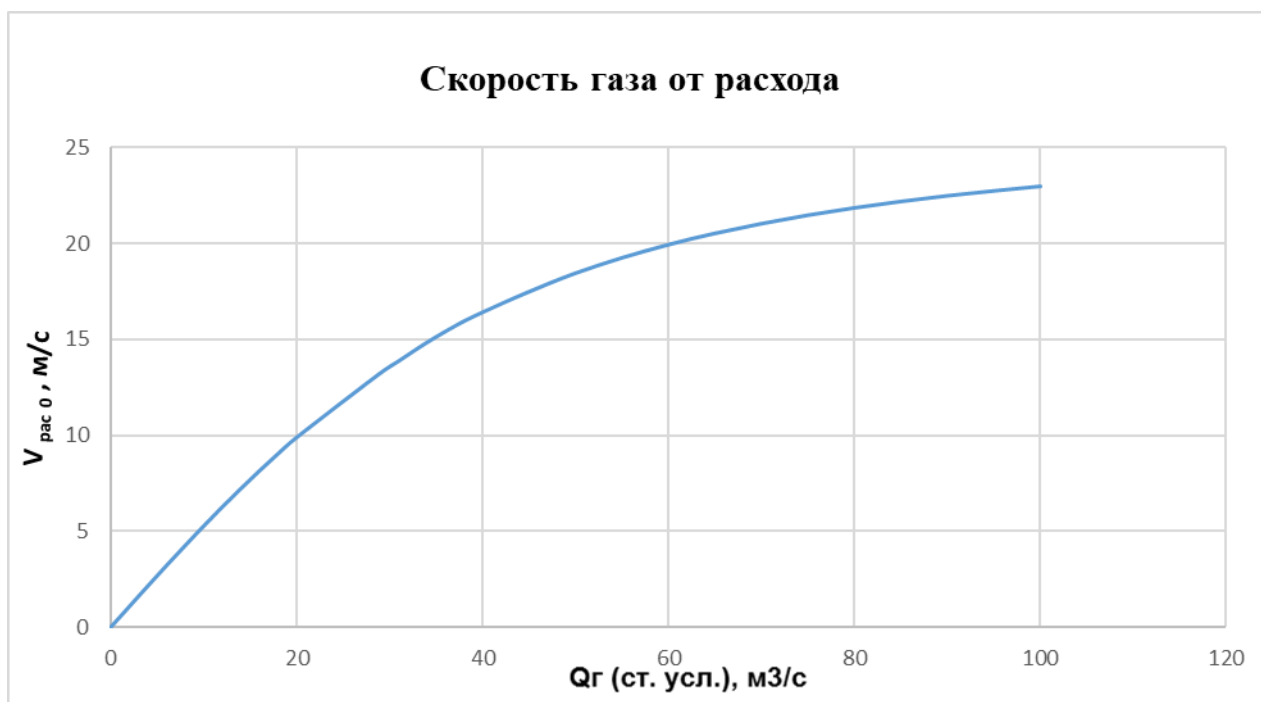


Рисунок 1 – Графическая зависимость изменения начальной скорости газа от расхода для трубопровода «К-10 УЗА – Ш-23»

Для оценки динамических параметров для расчетной математической модели промыслового трубопровода К-10 УЗА Ш-23, была разработана математическая модель внутритрубного очистного устройства на основе поршня разделителя типа ПРВ без отверстий перепуска с площадью перекрытия потока очистным устройством 0,1307 м².

В качестве результата расчетов разработанной математической модели очистного устройства без отверстий перепуска, была получена следующая графическая зависимость (рисунок 2) изменения скорости очистного устройства и потока газа от координаты времени. Как видно, из данной графической зависимости, наблюдается экспоненциальный рост амплитуды скорости очистного устройства по координате времени. Экспоненциальный рост амплитуды скорости движения очистного устройства происходит прямо пропорционально увеличению скорости газа.

Полученное значение скорости очистного устройства (исходя из графической зависимости, представленной на рисунке 2), которое получено расчетным путем, в ходе построения математической модели, не удовлетворяет и не входит в диапазон допустимых значений скоростей для очистного устройства.

В качестве исходных данных для разработки новой математической модели, принимаем очистное устройство со следующими характеристиками. Длина очистного устройства 0,872 м, масса 75 кг, диаметр корпуса 0,219 м, с площадью поперечного сечения корпуса 0,0376 м², общая площадь отверстий 0,06413 м².

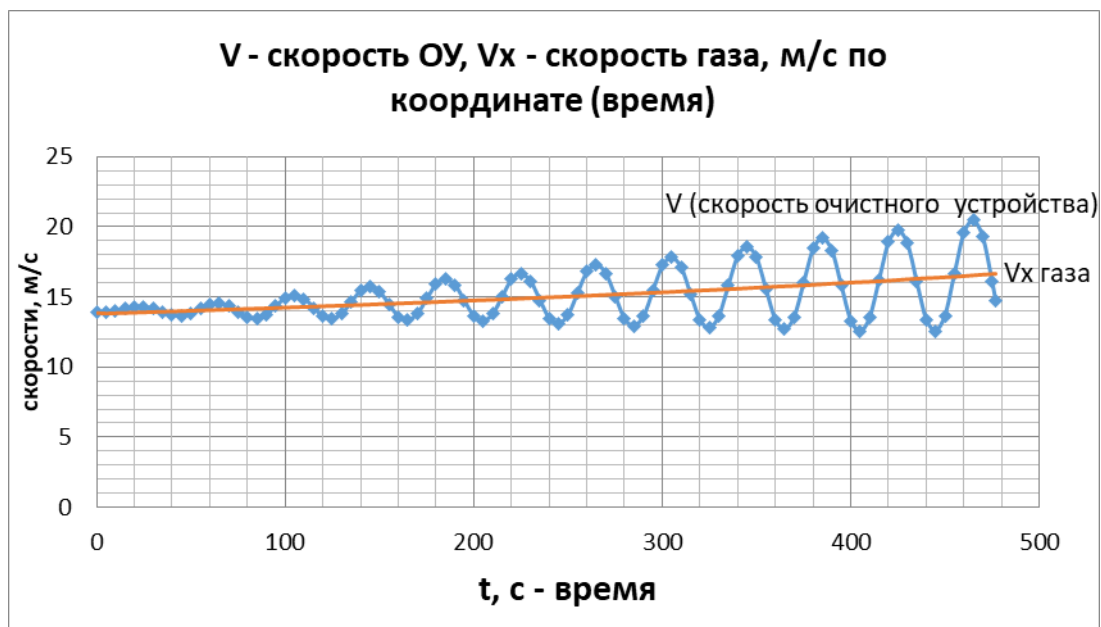


Рисунок 2 – Графическая зависимость скорости очистного устройства и потока газа от координаты времени

В качестве результата расчетов разработанной математической модели очистного устройства с общей площадью отверстий перепуска 0,06413 м², была получена следующая графическая зависимость (рисунок 3).

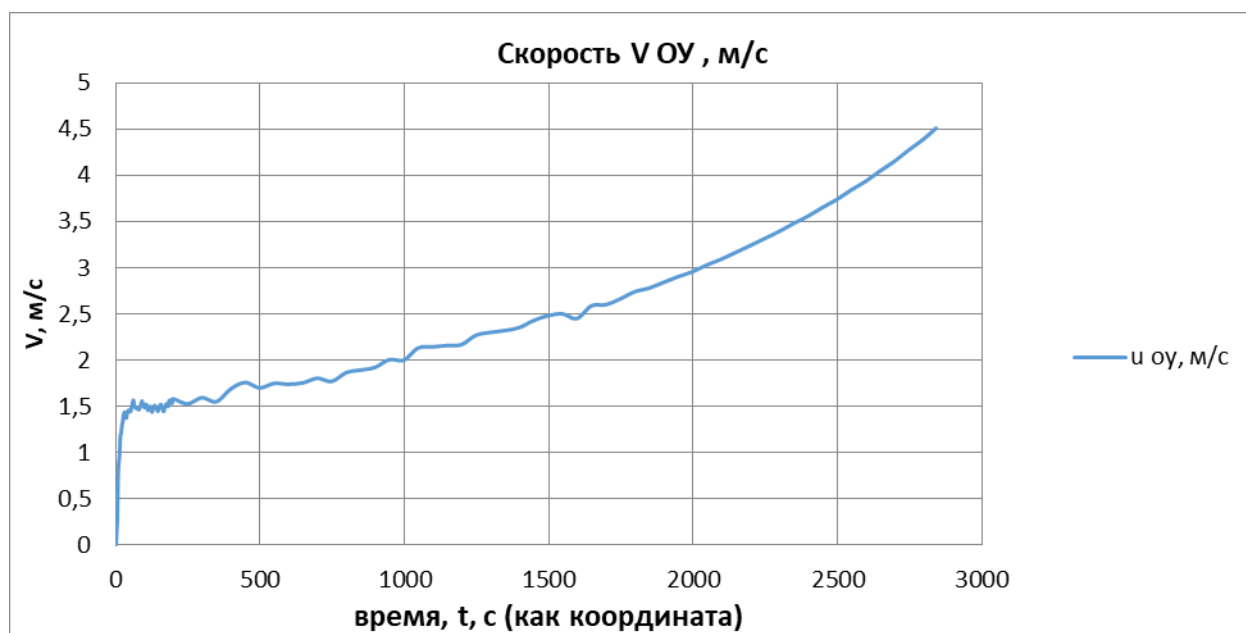


Рисунок 3 – Графическая зависимость скорости очистного устройства от времени

Исходя из графической зависимости, представленной на рисунке 3, можно сделать вывод, что наибольшие гармонические колебания скорости очистного устройства возникают в начале эксплуатационного участка, вследствие воздействия на него интенсивности действия силы потока газа. Скорость на протяжении всего участка плавно возрастает и в конце эксплуатационного участка увеличивается до 4,5 м/с.

Полученные скорости очистного устройства, при прохождении им эксплуатационного участка, полностью подтверждают теорию, которой придерживаются эксперты, эффективная и безопасная эксплуатация очистного устройства не должна превышать значению скорости очистного устройства 5 м/с.

Данную расчетную математическую модель, в соответствии с теорией экспертов о безопасной и эффективной очистке внутренней полости трубопровода (а именно, скорость очистного устройства не должна превышать 5 м/с) можно применять на производстве для решения поставленных задач о проведении внутритрубойной очистки трубопроводов с высокими скоростями потока.

Список использованных источников:

1. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела. Издание второе. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. – 544 с.
2. Электронный ресурс URL: <https://www.npcvtd.ru>.
3. Электронный ресурс URL: <https://diascan.transneft.ru>.
4. Мугаллимов, Ф.М. Анализ причин застреваний и повреждений очистных устройств в трубопроводах/ Ф.М. Мугаллимов// Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 8. – С.71.
5. Устройство для определения местоположения дефектов в трубопроводе. Кунафин Р.Н., Мугаллимов Ф.М. Патент на изобретение RU 2084757 C1, 20.07.1997. Заявка № 93057860/06 от 30.12.1993.
6. Патент на изобретение RU 2277983 C1. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопровода/ Мугаллимов Ф.М., Мугаллимов И.Ф., Сафонов В.А., Савельева Е.В., Мугаллимов А.Ф., Панкратьев С.А. - 20.06.2006. Заявка № 2004133622/12 от 17.11.2004.
7. Патент на изобретение RU 2400315 C1. Способ очистки внутренней поверхности трубопровода от асфальтосмолистых и парафиновых отложений/ Мугаллимов Ф.М., Мугаллимов И.Ф., Сафонов В.А., Мугаллимов А.Ф., Мугаллимов Б.Ф. - 27.09.2010. Заявка № 2009141033/12 от 05.11.2009.
8. Патент на изобретение RU 2088839 C1. Способ выявления и регистрации местонахождения выступающих вовнутрь дефектов и препятствий движению очистных и диагностических средств в трубопроводе и устройство для его осуществления/ Мугаллимов Ф.М., Кунафин Р.Н., Сабитов В.Я. - 27.08.1997. Заявка № 5045817/06 от 03.04.1992.
9. Патент на изобретение RU 2324550 C1. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопровода/ Мугаллимов Ф.М., Сафонов В.А., Мугаллимов И.Ф., Мугаллимов А.Ф., Савельева Е.В. - 20.05.2008. Заявка № 2006135281/12 от 05.10.2006.
10. Мугаллимов, Ф.М. Технология прогрессивной очистки нефтепроводов/ Ф.М. Мугаллимов // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 63-65.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА КОМПОНЕНТ ПРОЦЕССА КОМПАУНДИРОВАНИЯ БЕНЗИНОВ

Ремизов А.Л. (БНИ-18-01), Коледин С.Н. (к.ф.-м.н., доцент),

Чиглинцев Д.С. (А18633-19-01)

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. На сегодняшний день человечество во всех сферах своей деятельности старается уменьшить долю непосредственно человеческого труда и заменить его машинным, то есть автоматизировать этот труд. Одной из таких сфер является производство топлив, а именно процесс компаундирования бензинов, способы оптимизации расхода компонент которого и рассматриваются в данной статье.

Ключевые слова: компаундирование бензинов, обработка данных, нейронные сети, Python, объектно-ориентированное программирование

PETROL COMPOUNDING PROCESS COMPONENTS EXPENSE OPTIMIZATION

Remizov A.L., Koledin S.N., Chiglintsev D.S.

Annotation. At present mankind in all branches of its activities tries to decrease human labor amount and to substitute it for machine labor, so automatize it. One of that branches is fuel manufacturing, specifically petrol compounding process, optimization ways which have considered in this publication.

Keywords: petrol compounding, data processing, neural networks, Python, object-oriented programming

Введение

Человеческий прогресс не стоит на месте, постоянно появляются новые, более совершенные технологии, основной задачей которых является упрощение человеческой жизни. Активно развиваются компьютерные технологии, в том числе способы обработки значительных объемов данных и машинное обучение, а также совершенствуются способы автоматизации различных процессов, поскольку люди по своей природе не застрахованы от ошибок, некоторые из которых могут привести к серьезным последствиям. Более того, многие операции машина, в общем понимании этого слова, может выполнить в сотни, тысячи, а то и миллионы раз быстрее, поэтому вопрос их широкого внедрения как способа уменьшения доли и упрощения человеческого труда является актуальным.

Актуальным данный вопрос является и для процесса компаундирования бензинов. Данный процесс представляет собой переработку некоторых компонент, в результате которой получается бензин необходимой марки. Компонентный состав зависит, в основном, от марки бензина и определяется

набором технологических установок нефтеперерабатывающего завода [1]. Компонентный состав определяется необходимыми физико-химическими свойствами получаемых бензинов [2].

Эмпирическим путем в ходе различных исследовательских проектов созданы математические модели данного процесса, а также получены формулы для расчёта октанового числа смеси для различного состава компонент. Например, в отделении химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета были выведены следующие зависимости, учитывающие межмолекулярное взаимодействие, кинетические параметры, концентрацию углеводородов в смеси и другие:

$$\text{ОЧ}_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{97} (\text{ОЧ}_i \cdot c_i) + \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n B_i B_j c_i c_j,$$

где ОЧ_i – октановое число i -го компонента; c_i, c_j – концентрация углеводородов i -го компонента; B_i, B_j – величины, которые характеризуют склонность к межмолекулярному взаимодействию i -й и j -й молекул [3, 4].

На практике итоговое октановое число определяют по правилу аддитивности смеси, то есть путем вычисления суммы октанового числа отдельного компонента на долю его содержания в смеси, однако погрешность такого метода в большинстве случаев превышает допустимую согласно соответствующим стандартам качества продукции [5, 6].

Практическая часть

Для решения проблемы оптимального подбора компонент процесса компаундирования бензинов и их плана расхода предполагается создать систему, используя инструменты обработки больших данных и машинного обучения, в том числе и нейронных сетей, для более точного подбора и описания математической модели по исходным данным с дальнейшим развитием данного программного обеспечения.

Реализация системы происходит на языке программирования Python 3 с использованием библиотек для работы с большими объемами данных, сложных математических вычислений и машинного обучения Pandas, NumPy и sklearn соответственно.

Исходные данные по процессам компаундирования бензинов представлены в виде многолистового файла электронных таблиц Microsoft Excel, в котором отражены плановые и фактические рецептуры компонент, а также другие параметры компонент и готовой смеси. Однако для работы моделей машинного обучения количества исходных данных недостаточно, поскольку на практике такие модели обучаются на десятках или сотнях тысяч отдельных позиций, поэтому на основе предоставленной информации разработан генератор данных для проверки работы разрабатываемой модели.

Генератор исходных данных написан согласно принципам объектно-ориентированного программирования, то есть описан соответствующим

классом, для того чтобы в последующем его можно было использовать в качестве компонента полноценного клиентского приложения.

На основе предварительной обработки и анализа данных было выявлено, что наиболее используемыми компонентами процесса компаундирования являются:

1. гидроочищенный бензин с каталитического крекинга,
2. легкий бензин с каталитического крекинга,
3. стабильный изомеризат,
4. платформат,
5. высшая ароматика,
6. толуол,
7. фракция НК-62,
8. тяжелый платформат.

Все компоненты берутся в определенных пределах массовых долей, из чего были взяты конкретные их значения для генерации данных с заданными отклонениями как в одну, так и в другую сторону, описанные в конструкторе класса, представленном на рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

```
class Generator:
    """
    1 компонент - ГО бензин с кат. крекинга
    2 компонент - легкий бензин с кат. крекинга
    3 компонент - стабильный изомеризат
    4 компонент - платформат
    5 компонент - высшая ароматика
    6 компонент - толуол
    7 компонент - фракция НК-62
    8 компонент - тяжелый платформат
    """

    def __init__(self, rows: int):
        self.rows = rows
        self.RATIO = [30, 20, 10, 14, 8, 5, 4, 3]
        self.DEV = [4, 3, 2, 1]

        self.data = []
        drop = 0
        for i in range(rows):
            if drop >= 1:
                self.data.append(self.oil_92())
                drop = 0
            else:
                self.data.append(self.oil_rand())
                if self.data[i][len(self.data[i])-1] == 1:
                    drop = 0
                else:
                    drop += abs(rnd.random() - 0.2)

        self.data = pd.DataFrame(self.data, columns = ['comp{}'.format(i) for i in range(1, 9)] + ['Target'])
```

Рисунок 1 - Генератор данных. Конструктор

Также в конструкторе описывается возвращаемая структура данных, которая имеет тип датафрейма Pandas с десятью столбцами: первый используется в качестве индексирующего, последний – целевой столбец, показывающий, получается ли в результате смешения компонент в представленных массовых долях необходимый бензин или же нет, остальные – показывают массовую долю компонент в конкретном цикле компаундирования.

Все значения массовых долей генерируются случайным образом. Однако, для того чтобы избежать проблемы отсутствия позиций, для которых целевое значение будет истинным, то есть показывающим, что в результате получился бензин необходимой марки, генерация данных устроена по принципу «лутбоксов» с гарантированным получением бензина определенной марки. В

процессе генерации строк данных используется специальная переменная, отвечающая за момент срабатывания гаранта, значение которой изменяется в соответствии со значениями целевого столбца вновь сгенерированных позиций. Если целевая переменная вновь сгенерированной строки данных ложна, то значение специальной переменной увеличивается на некоторое количество в пределах 0-0,8, если истинно – сбрасывается до нуля. При переполнении переменной, то есть при достижении переменной значения единицы и более, следующая сгенерированная строка данных гарантировано будет соответствовать циклу компаундирования бензина, в результате которого был получен бензин необходимой марки. Методы, реализующие данную логику представлены на рисунке 1.

```
def belong(self, x, a, b):
    if a > b:
        a, b = b, a

    if x >= a and x <= b:
        return True
    return False

def oil_92(self):
    oil = []

    add = round(rnd.randint(-self.DEV[0], self.DEV[0]) + rnd.random(), 3)
    oil.extend([self.RATIO[0] + add, self.RATIO[1] - add])
    add = round(rnd.randint(-self.DEV[1], self.DEV[1]) + rnd.random(), 3)
    oil.extend([self.RATIO[2] + add, self.RATIO[3] - add])
    add = round(rnd.randint(-self.DEV[2], self.DEV[2]) + rnd.random(), 3)
    oil.extend([self.RATIO[4] + add, self.RATIO[5] - add])
    add = round(rnd.randint(-self.DEV[3], self.DEV[3]) + rnd.random(), 3)
    oil.extend([self.RATIO[6] + add, self.RATIO[7] - add])

    oil.append(1)
    return oil

def oil_rand(self):
    oil = rnd.rand(8)
    oil = np.around(oil / sum(oil) * 100, decimals=3)

    j = 0
    is92 = True
    for i in range(len(oil)):
        if not self.belong(oil[i], self.RATIO[i] - self.DEV[j], self.RATIO[i] + self.DEV[j]):
            is92 = False
            break
        if is92 == 0 and i != 0:
            j += 1

    oil = list(oil)
    oil.append(int(is92))
    return oil
```

Рисунок 1 - Генератор данных. Методы, реализующие генерацию данных

Из двадцати тысяч позиций, сгенерированных с помощью описанного алгоритма, представленных на рисунке 2, в среднем 21,2 % данных характеризуют циклы, в которых получился бензин необходимой марки.

```
In [51]: oil = Generator(20000)
oil.data.head(20)
```

	comp1	comp2	comp3	comp4	comp5	comp6	comp7	comp8	Target
0	20.449	2.805	12.274	22.119	1.033	18.269	2.448	20.602	0
1	12.342	7.833	12.779	15.300	17.649	17.678	9.510	6.908	0
2	2.895	5.074	16.175	20.720	13.353	7.115	19.610	15.059	0
3	18.191	0.385	7.528	1.151	19.702	15.137	19.515	18.391	0
4	10.337	2.796	23.558	5.215	19.137	3.513	9.072	26.385	0
5	31.382	18.618	18.728	11.272	8.766	4.234	3.946	3.054	1
6	19.396	8.182	5.868	14.332	15.695	16.321	16.671	3.505	0
7	16.669	16.847	9.755	15.216	3.477	5.172	19.430	13.435	0
8	7.941	12.764	21.078	9.950	12.235	16.153	6.467	12.512	0
9	8.796	16.116	19.354	15.337	11.039	9.094	20.118	0.148	0
10	2.706	29.319	10.418	19.288	5.329	28.155	4.166	0.619	0
11	17.295	3.548	15.786	0.296	21.564	17.581	14.170	9.759	0
12	33.417	10.583	13.927	16.073	7.605	5.395	4.416	2.584	1
13	14.367	19.450	6.876	13.116	4.997	15.685	17.313	8.195	0
14	10.019	6.729	12.889	3.914	18.498	12.544	20.232	15.186	0
15	12.690	12.111	18.702	19.062	9.924	5.363	10.213	11.935	0
16	33.746	16.254	15.130	14.870	8.983	4.017	4.282	2.718	1
17	1.382	9.588	2.071	14.950	4.781	22.665	20.145	24.408	0
18	2.115	16.428	18.807	7.817	23.832	7.581	5.996	17.424	0
19	10.708	1.803	25.103	24.945	2.789	15.822	4.035	14.795	0

Рисунок 2 - Сгенерированная структура данных

Достоинством представленной структуры данных является простота ее использования для алгоритмов машинного обучения по средством случайных лесов, модулей поиска уравнения регрессии и нейронных сетей.

Заключение

В результате анализа исходных материалов были получены полезные данные для создания генератора данных по процессу компаундирования бензинов, что решает проблему нехватки данных для дальнейшего проектирования и обучения нейронной сети, определяющей оптимальный план расхода компонент. Объектно-ориентированный подход также делает модель потенциально простой в интеграции с пользовательским приложением, необходимым для удобства использования описанного инструментария людьми.

Список использованных источников

1. Шишов Р.И., Григорьев Я.Ю. Оптимизация выбора рецептуры компонент для процесса компаундирования компонентов при производстве товарных бензинов // Материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов: в 2 частях. Из-во: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. 2018. - С. 260-262.
2. Николаев В.Ф., Табрисов И.И., Султанова Р.Б. Описание физико-химических свойств трехкомпонентных моделей товарных бензинов // Вестник Казанского технологического университета. №8. Из-во: Казанский технологический университет. – 2010. - С. 342-349.
3. Малецкий В.Ю. Математическое моделирование процесса компаундирования бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы Compounding / В. Ю. Малецкий, И. М. Долганов, И. О. Долганова; науч. рук. И. М. Долганов // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л. П. Кулёва студентов и молодых ученых, 20-23 мая 2019 г. Изд-во Томского политехнического университета, 2019. - С. 380-381.
4. Смышляева Ю.А., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В., Зыонг Ч.Т., Фан Ф. Разработка базы данных по октановым числам для математической модели процесса компаундирования товарных бензинов // Известия Томского политехнического университета. 2011. - №3. - С. 75-80.
5. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Смышляева Ю.А. Математическое моделирование процесса компаундирования товарных бензинов с учетом реакционной способности компонентов смеси // Известия Томского политехнического университета. 2009. - №3. - С. 81-85.
6. Смышляева Ю.А., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Зыонг Ч.Т. Учет интенсивности межмолекулярных взаимодействий компонентов смеси при математическом моделировании процесса компаундирования товарных бензинов // Нефтепереработка и нефтехимия. № 9. Изд-во Томского политехнического университета. – 2010. - С.9-14.

СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ПУТЕМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

*Салмияров И.Э. (ММП-19-01), Ишемгузин И.Е. (к.т.н., доцент)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Повышенная вибрация ускоряет усталостное разрушение вала, что может привести к аварии. Усталостному разрушению подвергается шлицевое соединение вала, особенно в скважинах сложного профиля. Предложен метод снижения вибрационных нагрузок подбором оптимальных конструкции.

Ключевые слова: вал электроцентробежного насоса, шлицевое соединение, усталостное разрушение, рекомендуемые посадки, длина шлицевой муфты, частота вращения вала электроцентробежного насоса

REDUCTION OF VIBRATION STRESS IN SPLINE CONNECTIONS OF THE ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP INSTALLATION BY SELECTING THE OPTIMAL DESIGN

Salmiyarov I.E., Ishemguzhin I.E.

Annotation. Increased vibration leads to accelerated fatigue failure of the shaft, which can lead to the pump unit falling to the bottom of the well. Due to fatigue failure, the spline joint of the shaft suffers from the greater part, since a large amount of stress is concentrated by reducing the area of the shaft. The proposed method for reducing vibration loads will be to select the optimal design parameters of the spline connection.

Keywords: ESP, shaft, spline connection, fatigue failure, selection of optimal fits, selection of optimal length

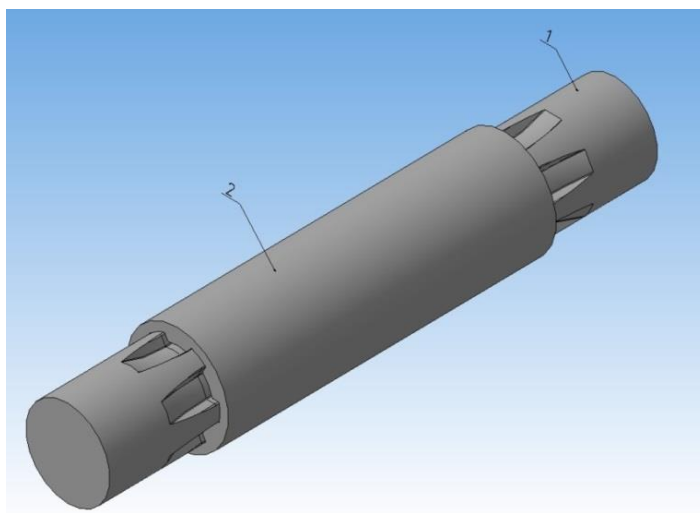
Установка электроцентробежного насоса на сегодняшний день является основным оборудованием в современной добыче нефти. Особенностью конструкции установки является то, что она состоит из нескольких модуль-секций, соединение валов данных секций осуществляется с помощью шлицевых соединений.

В последнее время ряд добывающих компаний столкнулся с резким ростом преждевременных отказов, связанных со сломом валов агрегата, вызванным усталостным излом вала [4]. Усталостный излом возникает под действием переменных нагрузок, а повышенная вибрация насосного агрегата способствует ускорению данного процесса. В подавляющем большинстве случаев разрушение валов по причине усталостного излома происходит в зоне шлицевого соединения, так как сечение вала снижается примерно в 2 раза, что способствует концентрации большого количества напряжений. Поэтому

снижение вибрации в шлицевом соединении установок электроцентробежного насоса, является актуальной темой.

В данной работе рассматривается метод снижения вибрации путем подбора оптимальных параметров шлицевого соединения. Для расчета выбран насос УЭЦНМ5А-30-1250, диаметр вала 22 мм, шлицевое соединение прямобочное средний серии 6х18х22х5, частота вращения 3000 об/мин, мощность двигателя 103 кВт. Расчет производится в AnsysWorkbench на вибрационную прочность при различных частотах вращения, результат определяется напряжением вызванных вибрацией.

На рисунке 1 представлена расчетная схема. Шлиц 3 задает вращение 3000 об/мин, муфта 2 закреплена. Результаты расчета представлены на рисунке 2, 3.



1- шлиц задающий вращение; 2- муфта закрепленная

Рисунок 1 - Расчетная схема

По ГОСТ1139-80 возможными посадками шлицевого соединения являются: D9/e8; D9/f8; D9/d9; D9/e9; D9/f9; D9/h8; D9/h9; F10/e8; F10/f8; F10/d9; F10/e9; F10/f9; F10/h8; F10/h9, из них D9/e8; D9/f8; F10/e8; F10/f8 рекомендованные. Был произведен расчет данных посадок на вибрационную прочность, который показал, что на протяжении всего диапазона вращения максимальные напряжения наблюдаются при посадках: D9/d9; F10/d9; D9/h9; F10/f8, минимальные напряжения при посадках: D9/f9; F10/h8. Таким образом можно рекомендовать использовать данные посадки для снижения напряжений вызванных вибрацией.

Так как было выяснено, что рекомендованные посадки для шлицевого соединения дают значительные напряжения, вызванные вибрацией, было предложено снизить данное напряжение путем подбора оптимальной длины муфты шлицевого соединения, для расчета была выбрана посадка D9/e8. Схема расчета представлена на рисунке 4, результаты расчета представлены на рисунке 5. Максимальное возможное удлинение 24 мм, шаг расчета 2 мм.

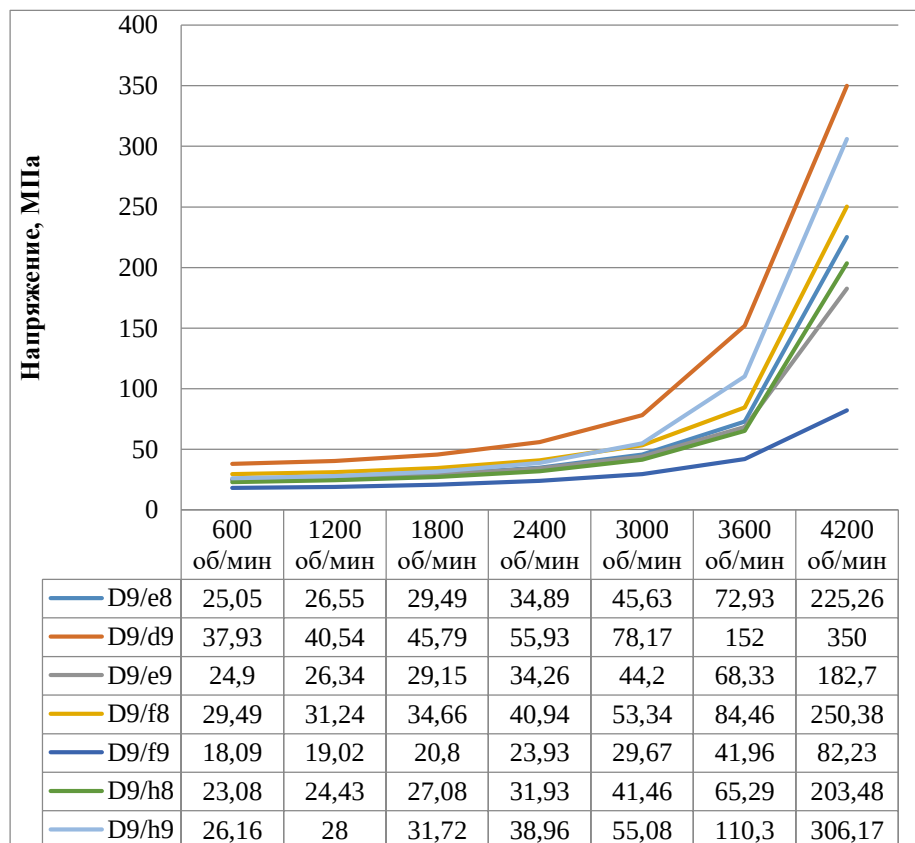


Рисунок 2 - Напряжений вызванные вибрацией для муфты с полем допуска D9

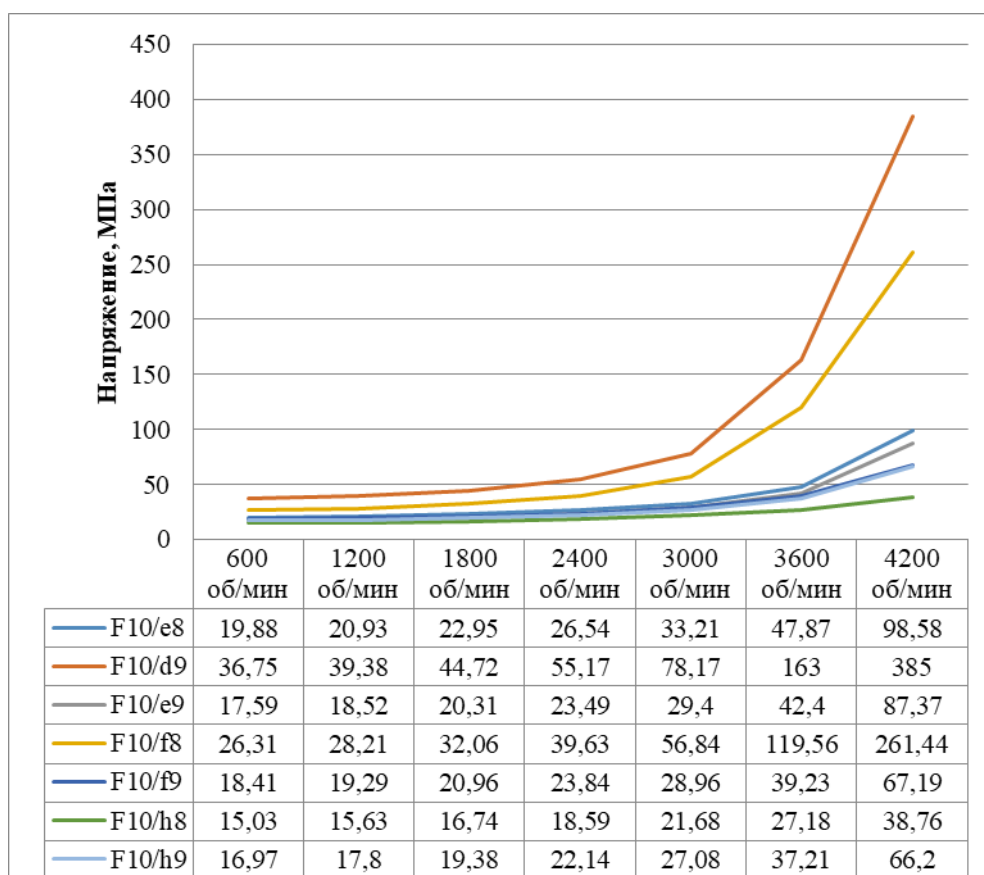


Рисунок 3- Напряжений вызванные вибрацией для муфты с посадкой F10

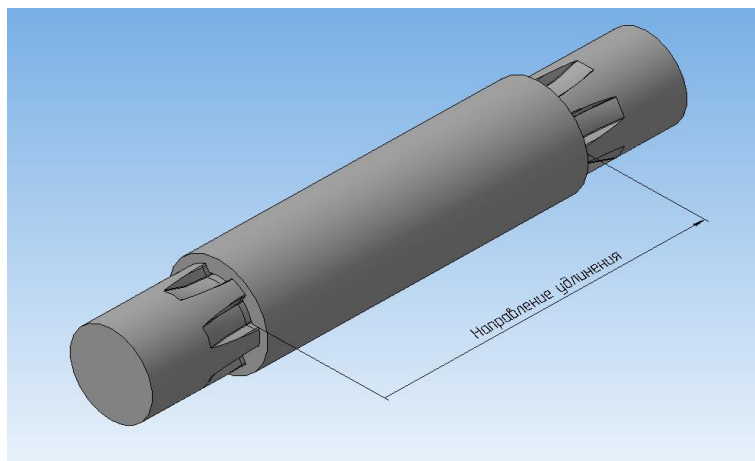


Рисунок 4- Схема удлинения муфты шлицевого соединения

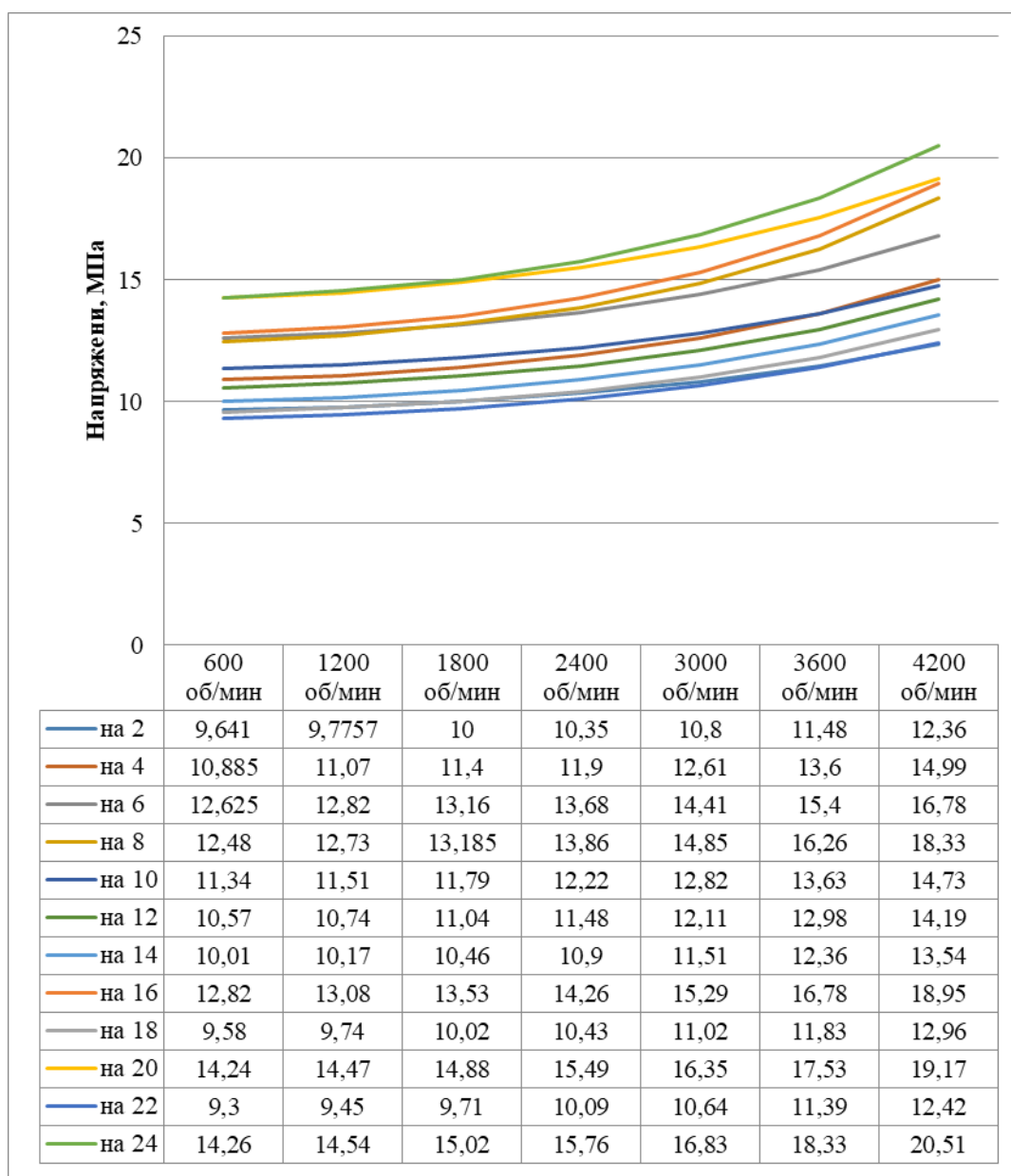


Рисунок 5- Напряжение вызванные вибрацией при различных длинах шлицевого соединения

Результат расчета представлен на рисунке 4. Из рисунка видно, что увеличение длины муфты снижает вибрационные нагрузки, поэтому данный способ можно использовать как метод борьбы с повешенной вибрацией. Минимальное напряжение при вращении наблюдается при удлинении муфты на 2 и 22 мм. Максимальные напряжение наблюдаются при увеличении длины на 20 и 24 мм.

Таким образом из проведенных расчетов можно сделать вывод, что с помощью подбора оптимальной конструкции шлицевого соединения, а именно подбора длины муфты соединения и посадок можно добиться снижения напряжений, вызванных вибрацией.

Список использованных источников:

1. Бочарников В.Ф., Пахаруков Ю.В. Вибрация и разрушения в погружных центробежных электронасосах для добычи нефти / В.Ф. Бочарников, Ю.В. Пахаруков // Научное издание. – Тюмень, 2005. –139 с.
2. Бочарников В.Ф. Классификация отказов в скважинах, эксплуатируемых погружными центробежными электронасосами // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море // НТЖ. – 2003. – №12. – С.19–22.
3. ГОСТ 1139-80. Соединение шлицевые прямобоочные. Размеры и допуски: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета по стандартам от 03.06.1980 №2516: дата введения 1982-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012261> (дата обращения 13.04.2021).
4. Деговцов А.В. Анализ причин усталостных сломов валов электроприводных центробежных насосов/ А.В. Деговцов, В.Н. Ивановский, С.В. Кривенков, И.В. Кузнецов, А.А. Лавриненко, А.Р. Мухаметшин, А.А. Сабиров // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2018.
5. Смирнов Н.И. О причинах сломов валов УЭЦН/ Н.И. Смирнов, Н.Н. Смирнов, С.Ф. Горланов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2012.
6. Обзор методов снижения уровня вибрации в ЭЦН/ Минигалиев Д.Р., Думлер Е.Б.// В книге: Иностранный язык в профессиональной коммуникации-
7. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов. – 2017. – С.406-408.
7. Прогнозирование наработки на отказ электроцентробежного насоса перед спуском в скважину и оценка его остаточного ресурса при эксплуатации/ Атнагулов А.Р., Ишемгужин И.Е.// Нефтяное хозяйство. – 2010. – №6. – С.102-105.
8. Параметрические колебания при смещении центра масс ротора электроцентробежного насоса/ Ишемгужин И.Е.// Нефтяное хозяйство. –2010. – №10. – С.152-154.
9. О релаксационных колебаниях погружного электроцентробежного насоса при подъеме его из скважины/ Ишемгужин И.Е.// Нефтегазовое дело. – 2009. – Т.7. – №2. – С.96-99.

10. УЭЦН: Погружные установки центробежных насосов. Учебное пособие по дисциплине «Машины и оборудование для добычи и подготовки нефти и газа»/ Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Уразаков К.Р. – Альметьевск: АГНИ, 2017.
11. Анализ влияния вибрации на межремонтный период погружных центробежных установок/ Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З., Вахитова Р.И.// В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы IV Международной научно-практической конференции. – 2019. – С.271-276.
12. Энергопотребление погружных установок электроцентробежных насосов/ Вахитова Р.И., Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Загитова Л.Р., Сарачева Д.А. – Альметьевск: АГНИ, 2020.
13. Исследование модели механизма виброизоляции УЭЦН/ Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. Материалы Международной научно-практической конференции. – УГНТУ, 2020. – С.106-112.
14. Защита УЭЦН от воздействия механических примесей/ Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Булюкова Ф.З., Сарачева Д.А.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. Материалы Международной научно-практической конференции. – УГНТУ, 2020. – С.112-116.
15. Эксплуатация погружных центробежных насосов в условиях повышенного содержания свободного газа/ Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З.// В сборнике: Материалы 47-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. – 2020. – С.519-523.

УДК 62-503.56

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙНОГО АППАРАТА В КОМПОНОВКЕ С ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ

*Саттаров А.Л. (ММП-19-01), Низаметдинова Е.А. (БМА-18-01)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматривается расчет технологических параметров струйного аппарата (эжектора) в компоновке с электроцентробежным насосом. Приведены графики зависимостей затрубного давления, устьевого давления скважины, расхода динамического уровня жидкости от места установки эжекторного устройства. Произведен численный расчёт перепада давления на сопле струйного аппарата, и установлены силы, влияющие на процесс отбора затрубного газа в скважинах, оборудованных УЭЦН.

Ключевые слова: струйный насос, электроцентробежный насос, расчет технологических параметров, эжектор, расчет струйного аппарата в Ansys

CALCULATION OF PROCESS PARAMETERS OF JET APPARATUS IN LAYOUT WITH ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP

Sattarov A.L., Nizametdinova E.A.

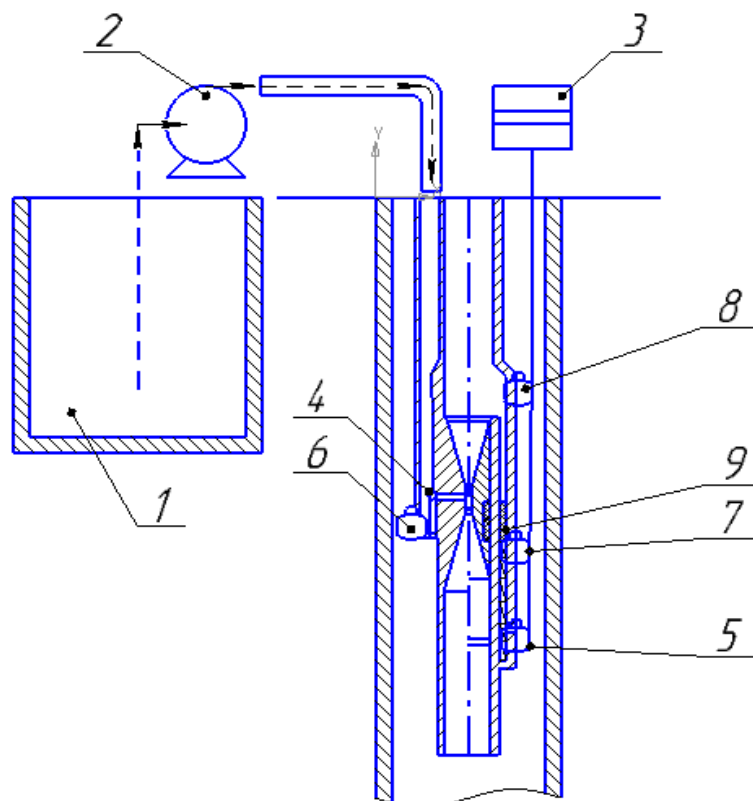
Annotation. The article discusses calculation of process parameters of the jet apparatus (ejector) in an arrangement with an electric centrifugal pump. The diagrams of annular pressure, wellhead pressure, flow rate of dynamic liquid level and place of ejector device installation are given. A numerical calculation of the pressure drop on the nozzle of the jet apparatus was made, and forces were established that affect the process of extracting annular gas in wells equipped with ECPU.

Keywords: jet pump, electric centrifugal pump, calculation of process parameters, ejector, calculation of jet apparatus in Ansys

Струйный аппарат для перепуска затрубного газа, состоит из двух симметричных половин – неподвижной, снабженной обратным клапаном, и подвижной, связанной через постоянные магниты с подпружиненным поршнем, размещенным в параллельном с осью колонны НКТ цилиндре, имеющем отверстие в нижней части для сообщения с затрубным пространством, образованным колонной НКТ и обсадной колонной. В верхней части указанного цилиндра имеется отверстие для сообщения его полости с внутренней полостью НКТ. Пластовая жидкость через струйный аппарат для перепуска затрубного газа перекачивается погружным электроцентробежным насосом.

Использование струйного аппарата для перепуска газа в колонну НКТ позволяет снизить давление газа в затрубном пространстве скважин, эксплуатируемых установками ЭЦН, повышая уровень пластовой жидкости над погружным электроцентробежным насосом, увеличить дебит скважины, избежать в затрубном пространстве образования гидратных пробок за счет снижения в этом пространстве давления газа.

Поиском является повышение оптимизации добычи и эффективности работы скважины. Оптимизация добычи достигается за счет того, что благодаря струйному аппарату газ накапливается не в затрубном пространстве (что создает высокое давление в нем), а уходит вместе с нефтью наверх, не нагружая ЭЦН. А также повышение эффективности работы ЭЦН достигается за счет дополнительного использования напорного устройства, выполненного с возможностью подачи напорного рабочего агента в струйный насос по колонне труб. На рисунке 1 изображена схема расположения струйного аппарата в затрубном пространстве.



- 1 – шурф; 2 - устьевое напорное устройство; 3 - станция управления и обмена информацией; 4 – обратный клапан струйного аппарата;
5-8 – контрольно измерительные приборы; 9 - поршень с магнитами струйного аппарата

Рисунок 1 – Схема расположения струйного аппарата для перепуска затрубного газа в скважине

Для обеспечения непрерывной добычи нефти основное предназначение эжекторов (в нефтедобыче) состоит в отводе свободного газа из затрубного пространства (предотвращение гидратообразования, стабилизация характеристик рабочих давлений и динамического уровня).

Будем считать, что с выкидной линией (закрытая задвижка) затрубное пространство скважины не сообщается. Тогда повышение динамического уровня D и монотонный рост его давления P_1 происходит по мере накопления свободного газа в затрубном пространстве. Впускной клапан, через который будет поступать газ из затрубного пространства в эжектор, сработает при превышении определенного максимального значения давления свободного газа P_{1cr} . Очевидно, что тогда установится режим, характеризующийся стабилизацией динамического уровня и прекращением роста давления газа P_1 : количество газа, уходящего в эжектор, уравнивается таким же количеством газа из затруба. При этом от места установки эжектора будут зависеть все основные параметры процесса.

На рисунке 2 представлена схема колонны НКТ с размещенным в нее эжектором.

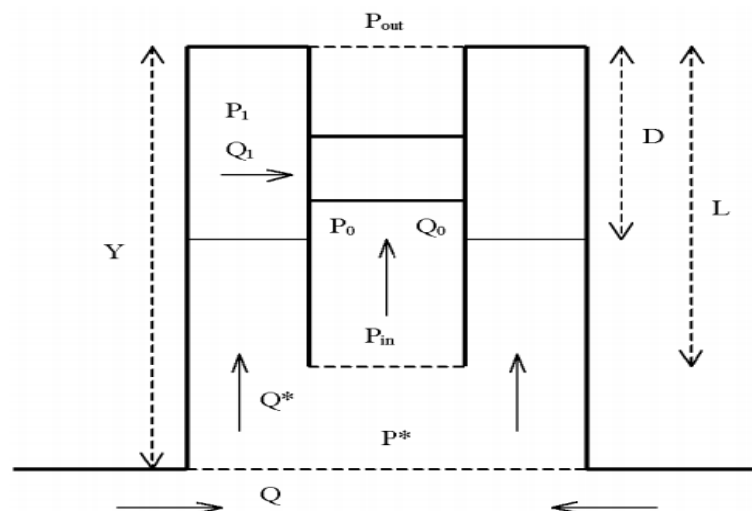


Рисунок 2 – Схема колонны НКТ с вмонтированным в нее эжектором

По методике для нахождения глубины погружения эжекторного устройства определяются зависимости затрубного, устьевого давления скважины, расхода относительного и динамического уровня от места установки эжекторного устройства рисунке 3. При этом можно найти соответствующее значение места установки эжектора для необходимого интервала значений динамического уровня (относительного расхода, устьевого давления).

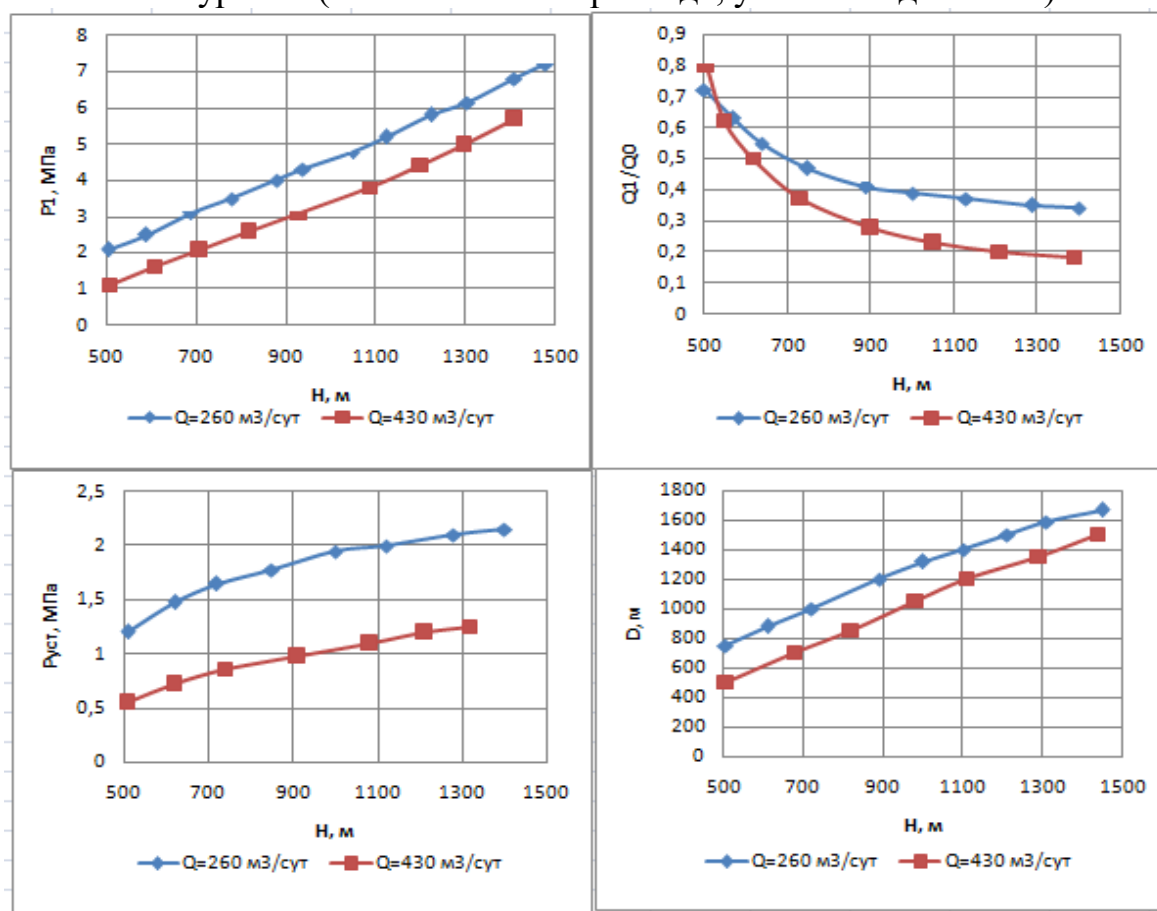


Рисунок 3 – Графики зависимостей затрубного давления (P_1), устьевого давления скважины (P_{out}), расхода относительного (Q_1/Q_0) и динамического уровня (D) от места установки эжекторного устройства для двух величин расхода по объему на забое: $Q=430$ м³/сут и $Q=260$ м³/сут

Определены зависимости давления на устье скважины (P_{out}), динамического уровня (D , относительного расхода (Q_1 / Q_0) и затрубного давления (P_1) от места установки эжектора для двух величин расхода по объему на забое: $Q=430$ м³/сут и $Q=260$ м³/сут.

Таким образом, данная методика позволяет рассчитать место установки эжектора по известным характеристикам нефтяной скважины, погружного насоса и эжектора, что обеспечивает интервал изменения или необходимые значения устьевого давления, динамического уровня, газосодержания и давления на приеме эжектора

Для численного расчёта перепада давления на сопле струйного аппарата, получение местных гидравлических сопротивлений и установление сил, влияющих на процесс перепуска затрубного газа в скважинах, оборудованных УЭЦН и струйным аппаратом был выбран программный комплекс Ansys. Задача решалась в симметричной постановке. Работа агрегата рассматривалась в закрытом и открытом положении.

Расчет велся для двумерной расчётной области. Для упрощения решения, было принято решение о построении пары расчётных моделей, когда подвижная половина резьбы находится в нижней части и, соответственно, струйный насос не функционирует, и ситуации, когда подвижный элемент поднят пружиной – в этом случае струйный аппарат находится в режиме функционирования, остальные элементы, не влияющие на расчет, упрощены. На рисунке 4 показано векторное поле скоростей в случае, не функционирующего струйного аппарата. А на рисунке 5 изображено векторное поле скоростей при рабочем аппарате.

В закрытом положении: сила, действующая на подвижную часть аппарата, составляет 1783,15 Н.

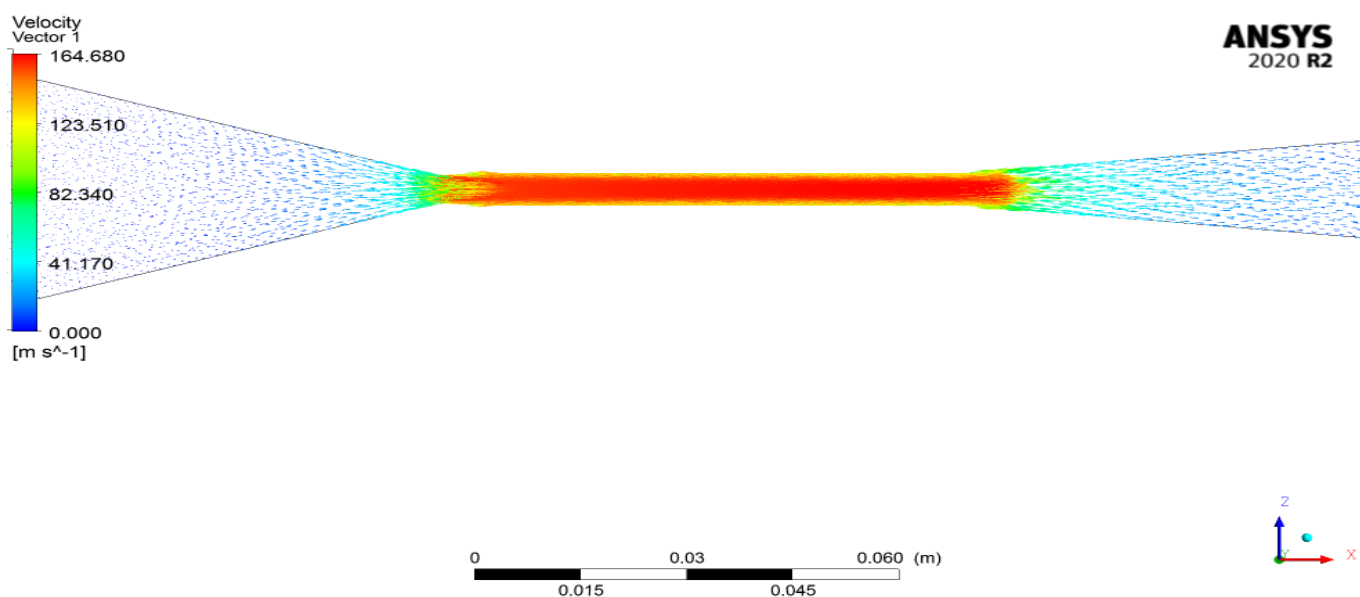


Рисунок 4 – Векторное поле скоростей

В открытом положении: сила, действующая на подвижную часть аппарата, составляет 3621,24 Н.

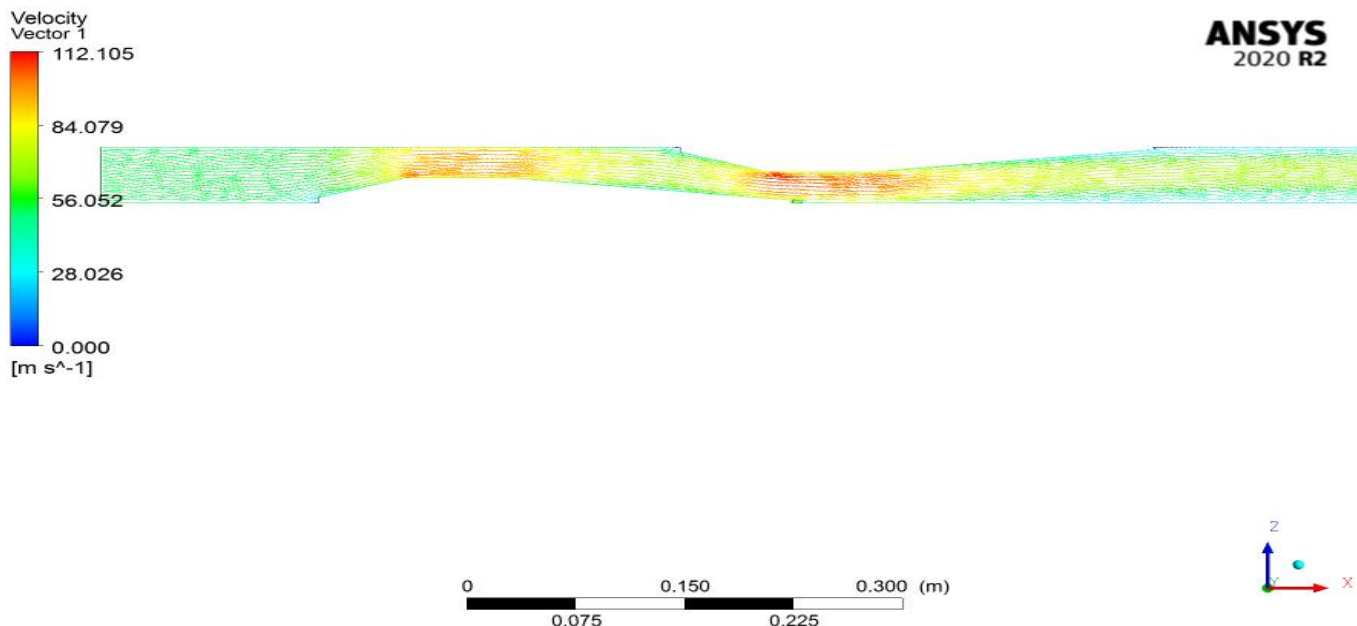


Рисунок 5 – Векторное поле скоростей

При моделировании однофазного потока наблюдалось резкое падение давления в области диффузора, что в свою очередь может означать наличие развитой области кавитации.

Искомая результирующая величина $F_{сдвига}$ - сила, действующая на подвижную часть струйного насоса:

$$F_{сдвига} = (F_{полная(фронт)} - F_{mg} + F_{п} - F_{полная(тыльная)}),$$

где $F_{полная(фронт)}$ – полная сила, действующая на подвижную часть струйного насоса в направлении движения жидкости (фронтальная), рисунок 6

F_{mg} – сила, развиваемая весом подвижной части с утяжелителем;

$F_{п}$ – сила, развиваемая пружиной;

$F_{полная(тыльная)}$ – полная сила, действующая на подвижную часть струйного насоса в направлении, противоположном движению жидкости (тыльная), как результат падения давления жидкости в диффузоре.

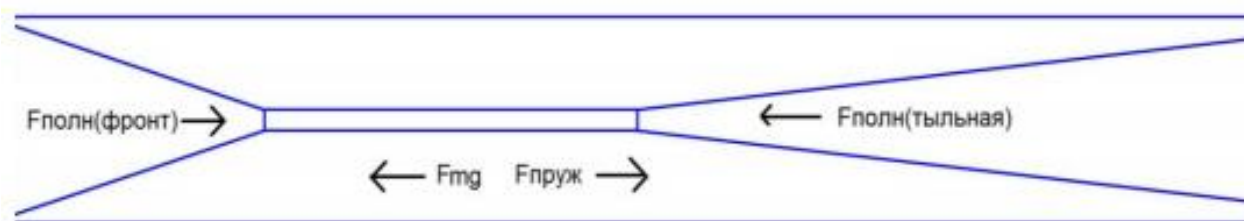


Рисунок 6 – Схема распределения сил на подвижную часть струйного насоса

В результате произведенных расчетов в программе Ansys и построений векторных полей скоростей были получены распределения сил на подвижную часть струйного насоса. Определено максимальное давление флюида на внутреннюю часть стенки струйного аппарата в рабочем положении 2,5 МПа, на стенки в закрытом положении аппарата 0,8 МПа. В закрытом положении: полная сила, действующая на подвижную часть струйного насоса в направлении движения жидкости, составляет 1783,15 Н. В открытом

положении полная сила, действующая на подвижную часть аппарата, составляет 3621,24 Н. Что обеспечивает значительный прирост в эффективности работы ЭЦН и в свою очередь добыче большего объема нефтепродуктов. Использование струйного аппарата совместно с ЭЦН значительно снижает затрубное давление, что повышает надежность и долговечность внутрискважинного оборудования.

Список использованных источников:

1. Агеев, Ш.Р. Конический насос как средство повышения эффективности работы и надёжности ЭЦН при откачке газожидкостной смеси / Ш.Р. Агеев // Доклады XI Всероссийской технической конференции ОАО «АЛНАС». – 2002. – С. 15–19.
2. Атнабаев З.М. Скважинный эжектор для предотвращения повышения затрубного давления и срыва подачи УЭЦН // Нефтяное хозяйство. – 2001. – №4. – С.72–74.
3. Вербицкий, В.С. Промысловые исследования насосно-эжекторных систем «Тандем» в ОАО «Юганскнефтегаз» / В.С. Вербицкий, А.Н. Дроздов, А.В. Деньгаев // Нефтяное хозяйство. – 2005. – №2. – С.96–99.
4. Дроздов, А.Н. Методы исследования характеристик жидкостно-газовых эжекторов // Нефтяное хозяйство. – 2001. – №1. – С. 62–65.
5. Павлихина, А.Ю. Экспертный подход к механизированной добыче / А.Ю. Павлихина // Нефтесервис. – 2019. – № 4. – С. 92–96.
6. Обзор методов снижения уровня вибрации в ЭЦН/ Минигалиев Д.Р., Думлер Е.Б. // В книге: Иностранный язык в профессиональной коммуникации-
7. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов. – 2017. – С.406-408.
7. Прогнозирование наработки на отказ электроцентробежного насоса перед спуском в скважину и оценка его остаточного ресурса при эксплуатации/ Атнагулов А.Р., Ишемгужин И.Е. // Нефтяное хозяйство. – 2010. – №6. – С.102-105.
8. Параметрические колебания при смещении центра масс ротора электроцентробежного насоса/ Ишемгужин И.Е. // Нефтяное хозяйство. – 2010. – №10. – С.152-154.
9. О релаксационных колебаниях погружного электроцентробежного насоса при подъеме его из скважины/ Ишемгужин И.Е. // Нефтегазовое дело. – 2009. – Т.7. – №2. – С. 96-99.
10. УЭЦН: Погружные установки центробежных насосов. Учебное пособие по дисциплине «Машины и оборудование для добычи и подготовки нефти и газа»/ Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Уразаков К.Р. – Альметьевск: АГНИ, 2017.
11. Анализ влияния вибрации на межремонтный период погружных центробежных установок/ Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З., Вахитова Р.И. // В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы IV Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 271-276.

12. Энергопотребление погружных установок электроцентробежных насосов/ Вахитова Р.И., Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Загитова Л.Р., Сарачева Д.А. – Альметьевск: АГНИ, 2020.
13. Исследование модели механизма виброизоляции УЭЦН/ Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. Материалы Международной научно-практической конференции. Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2020. – С.106-112.
14. Защита УЭЦН от воздействия механических примесей/ Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Булюкова Ф.З., Сарачева Д.А.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. Материалы Международной научно-практической конференции. Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2020. – С.112-116.
15. Эксплуатация погружных центробежных насосов в условиях повышенного содержания свободного газа/ Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З.// В сборнике: Материалы 47-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. – 2020. – С.519-523.

УДК 62-932.2

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО ГАЗОСОДЕРЖАНИЯ

*Саттаров А.Л. (ММП-19-01), Молчанова В.А. (к.т.н., доцент)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Статья посвящена современным способам борьбы с повышенным газосодержанием в скважинах, которые эксплуатируются с помощью УЭЦН. Рассмотрены преимущества и недостатки существующих технологий, направленных на поддержание эффективной работы УЭЦН в условиях повышенного газосодержания в скважине.

Ключевые слова: эффективность УЭЦН, высокий газовый фактор, осложнения УЭЦН, струйный насос

ANALYSIS OF METHODS OF IMPROVING EFFICIENCY OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMPS IN CONDITIONS OF HIGH GAS CONTENT

Sattarov A.L., Molchanova V.A.

Annotation. The article is devoted to modern methods of control against increased gas content in wells, which are operated with the help of ECPU. Advantages and disadvantages of existing technologies aimed at maintaining the

effective operation of ECPU in conditions of high gas content in the well are considered.

Keywords: electric centrifugal pump units efficiency, high gas factor, UCPU complications, jet pump

Современные условия деятельности нефтегазодобывающей отрасли характеризуются тенденцией уменьшения объемов добычи нефти из длительно эксплуатируемых месторождений, эксплуатация скважин в таких условиях сопровождается многочисленными осложнениями.

При росте количества газа в затрубном пространстве (между колонной НКТ и обсадной колонной) происходит увеличение температуры корпуса насоса, образование газогидратов, снижение полезного объема жидкости в ступенях насоса, блокирование потока жидкости и снижение динамического уровня в скважине. При достижении динамическим уровнем своего критического значения по причине превышения допустимого входного газосодержания на приёме насоса происходит срыв подачи и остановка добычи нефти. На рисунке 1 представлены осложнения, возникающие при работе насосного оборудования в скважинах с высоким газовым фактором.



Рисунок 1 - Осложнения, возникающие при работе насосного оборудования

При работе насоса на газожидкостной смеси(ГЖС) наличие большого количества свободного газа в ней негативно сказывается на его напорно-расходных и энергетических характеристиках, вследствие смещения режима работы насосы от оптимальной области влево по напорной кривой, приводя к снижению напора, мощности, подачи и КПД. На рисунке 2 показан характерный вид напорно-расходных кривых при различном газосодержании на входе насоса.

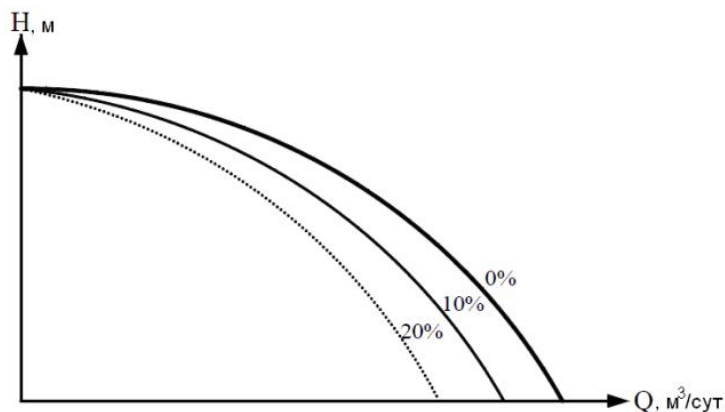


Рисунок 2

Для минимизации количества отказов оборудования, увеличения коэффициента извлечения нефти и стабилизации работы УЭЦН в осложненных газовым фактором условиях активно разрабатываются и внедряются новые технологии и оборудование.

Эксплуатация скважин при помощи традиционных насосных систем УЭЦН становится малоэффективной, для повышения эффективности работы УЭЦН, одним из вариантов предлагается их эксплуатация совместно со струйными аппаратами.

На сегодняшний день существует несколько способов борьбы с повышенным газосодержанием в скважинах, которые эксплуатируются с помощью УЭЦН [5]:

- спуск насоса под динамический уровень жидкости в скважине, где давление на приеме будет обеспечивать его бесперебойную, устойчивую работу на оптимальных параметрах;
- подлив дегазированной жидкости;
- использование комбинированных насосов (конусных или ступенчатых);
- оснащение насоса газосепаратором, отличающимся конструктивными особенностями;
- установка диспергаторов на приеме насоса;
- применение мультифазных насосов.

Ранее метод спуска насоса под динамический уровень жидкости в скважине активно применялся на промыслах, но из-за политики интенсификации добычи нефти, которую в настоящее время ведут большинство ведущих нефтедобывающих компаний в России, связанной со значительным снижением давлений на забое, он является не эффективным, так как даже при значительном заглублении насоса и спуске его до кровли пласта входное газосодержание не удастся уменьшить до оптимальных величин.

Были проведены несколько испытаний метода борьбы с пагубным влиянием газа на УЭЦН при помощи подлива дегазированной жидкости в скважинах, оборудованных УЭЦН, где обводненность продукции достигала от 60 до 80 %. Он показал небольшую эффективность, так как производительность насоса по жидкости и нефти изменилась незначительно (прирост — $5-8 \text{ м}^3/\text{сут}$ и $1-2 \text{ м}^3/\text{сут}$ соответственно) [2].

Этот метод не получил широко распространения вследствие ряда недостатков:

- при подливе дегазированной жидкости в затрубное пространство увеличивается противодействие на пласт (добычные возможности скважины не реализуются в полной мере);
- снижение надежности ПЭД из-за худших условий охлаждения;
- дополнительные затраты электроэнергии вследствие необходимости подъема подлитой жидкости на поверхность.

Так называемые конические насосы применяются на нефтегазодобывающих промыслах уже довольно давно.

Преимущества данного типа насоса по сравнению с серийным ЭЦН:

- большее допустимое газосодержание на входе в насос, т.к. его ступени в нижней части, имеющие наибольшую производительность, способны пропускать больший объем свободного газа;
- меньшая потребляемая мощность, а вследствие этого меньшая температура ПЭД и большая надежность работы.

Также отмечается, что использование ступеней различной производительности в «конических» насосах обеспечивает соблюдение требования эксплуатации всех ступеней в диапазонах рабочей части характеристик применяемых ЭЦН.

В применении данного метода существует ряд существенных ограничений:

- положительный эффект достигается только при относительно небольшом газосодержании на входе насоса;
- трудности при установке из-за разных диаметральных габаритов ступеней;
- трудоёмкий расчет оптимальной «конической сборки», пренебрежение которым на производстве ведет к низкому эффекту от применения;
- ступени ЭЦН большей номинальной подачи не всегда испытывают меньшее влияние свободного газа по сравнению со ступенями меньшей производительности (влияние газа может быть сильнее чем на обычный серийный ЭЦН).

Несмотря на данные недостатки метод применения «конической» схемы насоса имеет некоторые перспективы, связанные с созданием насосов специальных конструкций, менее подверженных влиянию свободного газа.

Применение диспергаторов.

В настоящее время вновь наблюдается рост интереса к диспергаторам, который связан с все более усложняющимися условиями эксплуатации ЭЦН. Зачастую газосодержание на приеме насоса так велико, что даже самые эффективные на сегодняшний день газосепараторы не могут обеспечить достаточно полного отделения газа. По-видимому, наилучшим решением при этом может стать комбинация газосепаратора и диспергатора. Однако сейчас серийно выпускаются и отдельные модули – диспергаторы, которые применяют с погружными насосами без газосепараторов.

Установка диспергатора вместе с газосепаратором приводит к стабилизации работы УЭЦН с сокращением рестартов по причине отключения по недогрузке (скопление газа). Это улучшает производительность и надежность установки. На рисунке 3 представлены токовые диаграммы работы ПЭД в скважине с одним лишь сепаратором (левый) и при использовании комбинации газосепаратора и диспергатора (правый).

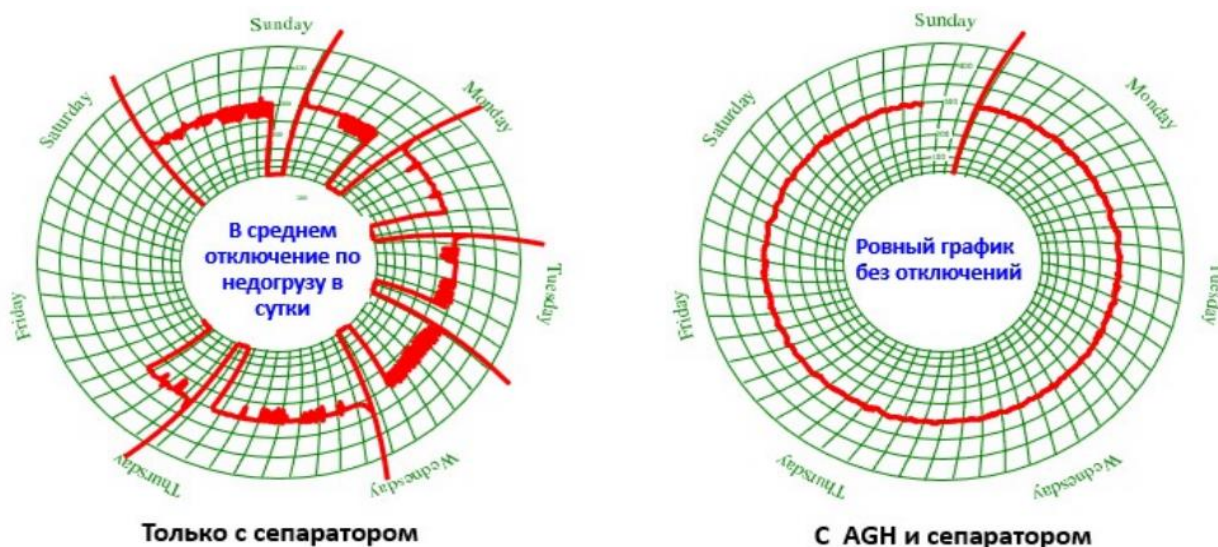


Рисунок 3 - Токовые диаграммы ПЭД

Преимущества использования диспергаторов:

- меньшая вибрация и пульсация потока в НКТ;
- использование диспергатора позволяет эксплуатировать ЭЦН с входным газосодержанием до 55 %;
- при использовании диспергатора свободный газ не выбрасывается в–затрубное пространство, а растворяется в жидкости, вследствие чего он выделяется после прохождения всех ступеней насоса в НКТ, где совершает дополнительную работу по подъему жидкости.

Диспергатор позволяет эксплуатировать УЭЦН с максимально допустимым содержанием свободного газа на входе – 55 %, а при установке его вместе с газосепаратором входное газосодержание может достигать 68 %.

Применение мультифазных насосов.

Давление, создаваемое в мультифазном насосе, намного меньше, чем давление в ЭЦН. Благодаря этому сжатия газа в нем практически не происходит и весь свободный газ проходит через основной насос, снижая развиваемое им давление. Это частично компенсируется создаваемым газлифт-эффектом выделяющегося из нефти газа в НКТ. Несмотря на газлифт-эффект, полной компенсации потерянного давления в основном насосе не происходит, что требует дополнительного увеличения количества его ступеней.

Мультифазный насос имеет следующие преимущества:

- повышает производительность УЭЦН, в условиях высокого газосодержания;

- при его использовании, по аналогии с диспергатором, газ не выбрасывается в затрубное пространство, а совершает дополнительную работу, выделяясь в НКТ;

- предотвращает образование газовых пробок в рабочих колесах ЭЦН, благодаря особой конструкции рабочих органов;

- стабилизирует токовую диаграмму ПЭД, обеспечивая стабильную– работу установки;

- применяется там, где использование газосепаратора ограничено– либо невозможно (наличие пакера, наклонные и горизонтальные участки и др.).

Наиболее предпочтительным является такое решение, при котором снижение вредного влияния свободного газа не приводило бы к снижению КПД установки за счет роста потерь энергии, связанных с глубиной спуска установки.

Для работы в осложненных условиях эксплуатации, в том числе при высоком газосодержании откачиваемой продукции была разработана погружная насосно-эжекторная система, включающая струйный аппарат в компоновке с ЭЦН и газосепаратором. В данной системе, получившей название «Тандем», струйный аппарат монтируется в напорной колонне между головкой ЭЦН и обратным клапаном. Для снижения противодавления жидкости в колонне НКТ на работу струйного аппарата возможна установка последнего на несколько метров выше ЭЦН [9].

Струйные аппараты имеют: простую конструкцию, отсутствие движущих частей, отличаются хорошей надежностью и способностью работать в очень сложных условиях: при высоком содержании в откачиваемой жидкости механических примесей и свободного газа, в условиях повышенных температур и агрессивности инжектируемой продукции.

Струйный насос имеет устойчивую работу при любом объемном расходе содержания фаз в приемной камере или перед входом в нее.

Из всего выше изложенного, а также из опыта применения технологии совместного использования УЭЦН и струйного насоса, можно сделать следующие выводы:

- установки совместной эксплуатации двух насосов успешно адаптируются к условиям существенного изменения добывных возможностей скважин при выводе на режим и нестационарной фильтрации флюидов в пласте;

- сочетание двух насосов дает возможность надежно эксплуатировать скважины при значительном падении пластового давления, а также при очень высоких входных газосодержаниях;

- простая конструкция и компактность оборудования (позволяет вести длительную эксплуатацию без подъема подземного оборудования, а это в свою очередь предотвращает снижение коэффициента продуктивности ПЗП);

- большой межремонтный период работ, высокая надежность (безремонтный период эксплуатации сокращает затраты на подземные ремонты, сокращает простой до минимума, что позволяет получить дополнительную абсолютную добычу);

- простое регулирование отбора продукции скважины;
 - реагенты можно подавать в скважину вместе с рабочей жидкостью;
 - производить добычу нефти из скважин, дебит которых менее 10 м³/сут.;
 - производить добычу нефти в осложненных условиях (нестабильный приток жидкости из пласта, высокий газовый фактор, высокая температура, высокое давление насыщения нефти газом, большая вязкость откачиваемой продукции, большая глубина, низкая проницаемость коллектора, высокое содержание песка, большая кривизна скважины);
 - средний показатель наработки на отказ гидроструйной насосной установки превышает аналогичный показатель УЭЦН;
- Есть и отрицательные стороны при применении гидроструйных насосов:
- низкий КПД (не более 30 %), однако он соизмерим с КПД УЭЦН и УСШН при добыче скважинной продукции с малыми дебитами (до 20 м³/сут.);
 - цена оборудования дороже чем по отдельности УСШН или УЭЦН, при прочих равных условиях;
 - для обслуживания требуются специалисты высокой квалификации.

Список использованных источников:

1. Агеев, Ш.Р. Конический насос как средство повышения эффективности работы и надёжности ЭЦН при откачке газожидкостной смеси / Ш.Р. Агеев // Доклады XI Всероссийской технической конференции ОАО «АЛНАС». – 2002. – С. 15–19.
2. Атнабаев З.М. Скважинный эжектор для предотвращения повышения затрубного давления и срыва подачи УЭЦН // Нефтяное хозяйство. – 2001. – №4. – С.72–74.
3. Вербицкий, В.С. Промысловые исследования насосно-эжекторных систем «Тандем» в ОАО «Юганскнефтегаз» / В.С. Вербицкий, А.Н. Дроздов, А.В. Деньгаев // Нефтяное хозяйство. – 2005. – №2. – С.96–99.
4. Дроздов, А.Н. Методы исследования характеристик жидкостно-газовых эжекторов // Нефтяное хозяйство. – 2001. – №1. – С.62–65.
5. Павлихина, А.Ю. Экспертный подход к механизированной добыче / А.Ю. Павлихина // Нефтесервис. – 2019. – № 4. – С.92–96.
6. Обзор методов снижения уровня вибрации в ЭЦН/ Минигалиев Д.Р., Думлер Е.Б.// В книге: Иностранный язык в профессиональной коммуникации-
7. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов. – 2017. – С.406-408.
7. Прогнозирование наработки на отказ электроцентробежного насоса перед спуском в скважину и оценка его остаточного ресурса при эксплуатации/ Атнагулов А.Р., Ишемгузин И.Е.// Нефтяное хозяйство. – 2010. – №6. – С.102-105.
8. Параметрические колебания при смещении центра масс ротора электроцентробежного насоса/ Ишемгузин И.Е.// Нефтяное хозяйство. – 2010. – №10. – С.152-154.
9. О релаксационных колебаниях погружного электроцентробежного насоса при подъеме его из скважины/ Ишемгузин И.Е.// Нефтегазовое дело. – 2009. –

Т.7. – №2. – С.96-99.

10. УЭЦН: Погружные установки центробежных насосов/ Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Уразаков К.Р.// Учебное пособие по дисциплине «Машины и оборудование для добычи и подготовки нефти и газа». – Альметьевск: АГНИ, 2017.

11. Анализ влияния вибрации на межремонтный период погружных центробежных установок/ Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З., Вахитова Р.И.// В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы IV Международной научно-практической конференции. – 2019. – С.271-276.

12. Энергопотребление погружных установок электроцентробежных насосов/ Вахитова Р.И., Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Загитова Л.Р., Сарачева Д.А. – Альметьевск: АГНИ, 2020.

13. Исследование модели механизма виброизоляции УЭЦН/ Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. Материалы Международной научно-практической конференции. – УГНТУ, 2020. – С.106-112.

14. Защита УЭЦН от воздействия механических примесей/ Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Булюкова Ф.З., Сарачева Д.А.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. Материалы Международной научно-практической конференции. – УГНТУ, 2020. – С.112-116.

15. Эксплуатация погружных центробежных насосов в условиях повышенного содержания свободного газа/ Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З.// В сборнике: Материалы 47-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. – 2020. – С.519-523.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАРЕЗКОЙ БОКОВЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

*Севастьянова Р.М.¹, Николаев А.В.¹, Шашков М.В.¹,
Думлер Е.Б. (к.т.н., доцент)²*

*¹Лениногорский филиал Казанского национального исследовательского
технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ,
г. Лениногорск, Российская Федерация*

*²Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. Статья посвящена проблеме снижения удельных затрат на добычу, разработку конкурентной техники и технологии при поздней стадии разработки месторождений. Основная задача исследования - решение проблемы извлечения запасов месторождения и восстановление бездействующих скважин. Рассмотрены теоретические возможности восстановления скважин сооружением боковых стволов. Приведены примеры эффективного повышения рентабельности восстановленных скважин на существующих объектах.

Ключевые слова: месторождение, скважина, бурение, боковой ствол, добыча нефти, опытно-промышленные работы

INCREASING THE EFFICIENCY OF DEVELOPMENT OF OIL DEPOSITS BY ZAREZZH OF LATERAL HORIZONTAL STREAMS

Sevastyanova R.M., Nikolaev A.V., Shashkov M.V., Dumler E.B.

Annotation. The article is devoted to the problem of reducing the unit costs of production, the development of competitive equipment and technology at a late stage of field development. The main objective of the study is to solve the problem of recovering field reserves and restoring idle wells. The theoretical possibilities of well restoration by the construction of sidetracks are considered. Examples of effective increase in the profitability of rehabilitated wells at existing facilities are given.

Key words: field, well, drilling, sidetrack, oil production, pilot work

В связи с введением основных нефтяных месторождений нашей страны в позднюю стадию разработки и естественным ограничением возможностей вторичных методов разработки каждый год вырастает число нерентабельных скважин. В то же время в продуктивных пластах остается еще значительное количество невыработанных запасов углеводородов в застойных зонах и в «линзах».

Решением проблемы извлечения запасов месторождения и восстановление бездействующих скважин является восстановление таких скважин сооружением боковых стволов. Объем бездействующих и

нерентабельных скважин составляет свыше 15,0 % от фонда добывающих скважин. Потенциальная добыча нефти может составлять свыше миллиона тонн в год. Восстановление бездействующего фонда скважин с помощью бурения бокового ствола стоит во много раз меньше (на 45%, чем бурение новых скважин).

В процессе бурения боковых стволов при освоении неустойчивых глиносодержащих пород всегда начинаются осложнения, связанные с разбуханием глин (особенно при прохождении кыновских глин малым диаметром), в последствии это приводит к лишним затратам средств и времени. Существует несколько вариантов решения данной проблемы:

- 1 Утяжеление бурового раствора;
- 2 Изменение конструкции скважины;
- 3 Применение ингибированных буровых растворов низкой плотности.

Тем не менее, на практике часто используется лишь утяжеление бурового раствора. В итоге, в процессе бурения осложнений с прихватом оборудования нет, но уже после освоения скважины продуктивность скважины уменьшается на 17,5 %. Если применить последние из двух предлагаемых решений, то это приведет к повышению стоимости бурения более чем на 10 %.

Восстановление скважин из бездействия фонда таким методом как, зарезка и бурение второго ствола, в последние годы завоевало только немаловажно значение для доразработки залежей. Объем бездействующих и нерентабельных скважин составляет более 15 % от фонда добывающих. Причины низкого коэффициента извлечения: устаревшее оборудование, технология бурения и заканчивания скважин, отсутствие качественного подхода к методике разбуривания месторождения и увеличения зоны фильтрации, сложные горно-геологические условия.

Бурение БГС позволяет вовлечь в разработку недренируемые, изолированные запасы нефти на участках залежей с послойной и зональной неоднородностью. К тому же преимуществом использования геометрически криволинейно-разветвленных в горизонтальной плоскости ГС появляется возможность наиболее широко обхватить локальную залежь воздействием и почти сразу уменьшать, и восстанавливать пластовое давление на всей залежи. Также траектория бокового ствола осваивается в непосредственной близости прежней скважины, где продуктивная зона уже охарактеризована керновыми и каротажными данными. Перспективы горизонтальной технологии в том, что на значительных месторождениях добыча усложняется большой плотностью заселения территории и так же присутствием значительных санитарно-защитных зон (СЗЗ). В таких условиях как бурение независимой сетки скважин проектной плотности является невозможным.

Рассмотрим применение БГС на примере 2-х скважин № 101 и 102. Опытный участок по применению технологии методом забуривания БГС на скважине №101 представлен на графике разработки (рисунок 1).

Надо отметить, что в НГДУ «Лениногорскнефть» большое внимание уделяется работе с фондом скважин с горизонтальным окончанием. Так, скважина №101 в рамках опытно-промышленных работ (ОПР) была исправлена

методом БГС. На данной скважине благополучно провели действия по вырезке «окна» и установке «клин-отклонителя».

Из графика разработки скв. №101 БГС Залежи №1 следует, что скважина в период с декабря 2013 по ноябрь 2014 года работает в режиме. Добыча жидкости (годовая) колеблется в районе 132 т/год. Годовая добыча нефти колебалась в районе 26 т/год. Надо отметить, что данные показатели по скважине являются низкими, а значит, скважина является не рентабельной в дальнейшей эксплуатации. В ноябре 2014 г скважину останавливают. В связи с этим, геологической службой НГДУ было предложено на данной скважине провести зарезку методом БГС. Первым делом изучили (заранее) геологию данного района, ее ФЕС свойства, остаточные запасы.

На залежи №1 бобриковский горизонт представлен пластами коллекторами терригенного типа. В пределах бобриковского горизонта представлены пласты: С1664, С1663, С1662, С1661. Все они представляют собой единую гидродинамическую систему. Пласт С1664 на данном участке, в районе скважины №101 представлен алевролитами. Пласты С1663 и С1662 – представлены песчаником. Пласт С1661 – является неколлектором.

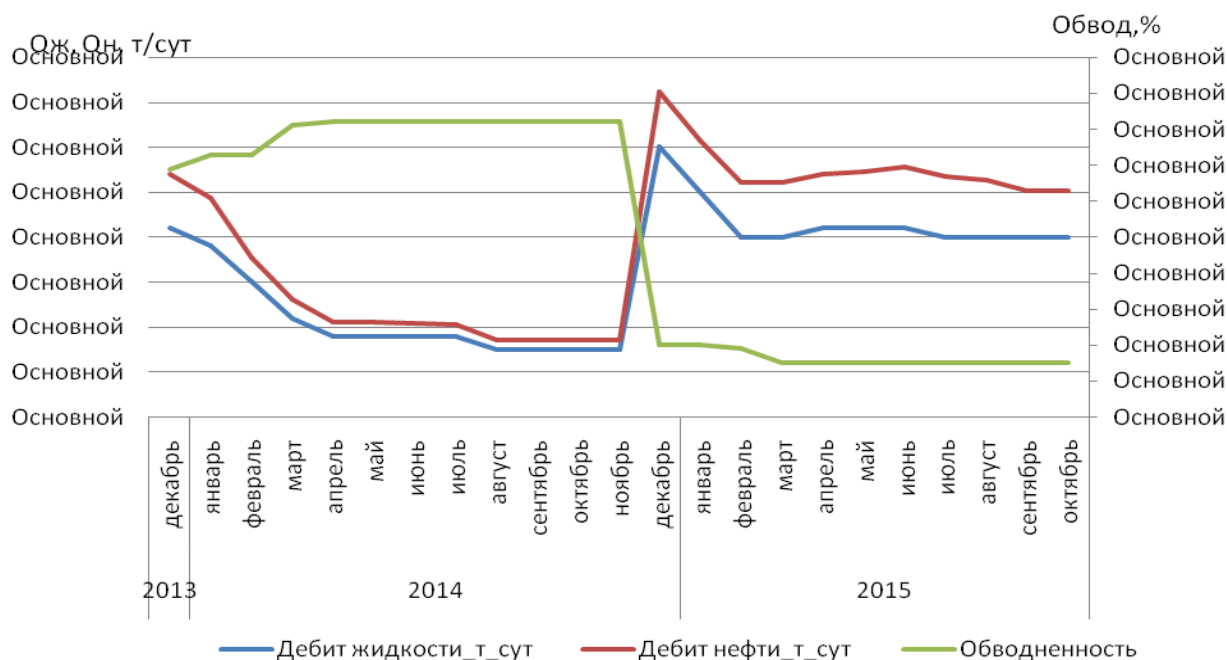


Рисунок 1 – Динамика показателей работы скважины №101

Из графика видно, что после ввода в эксплуатацию в декабре 2014г вырос дебит нефти (с 2,01 т/сут. до 6,15 т/сут.), упала обводненность (с 82 до 20 %). Т.е с момента ввода мы наблюдаем положительную динамику. Это объясняется в первую очередь тем, что изначально скважина была вертикальной. После зарезки и проводки ствола методом БГС у нас увеличился коэффициент нефтеотдачи, т.е увеличение произошло за счет горизонтальной части, а именно за счет большего охвата дренированием и низкой обводненности. Проанализировав данные после зарезки, можно сказать, что на данной скважине (скв. №101) метод применения БГС является успешным.

Следующая скважина, на которой применили БГС, является №102. График разработки (рисунок 2) данной скважины показывает, что в период с ноября 2013 г по октябрь 2014 г – скважина обводнена на 87-93 %, при дебите нефти 0,5-0,7 т/сут. В ноябре 2014 г – на скважине произвели зарезку. Надо отметить, что данная скважина проходила в рамках ОПР (разворот по азимуту в другую сторону) и была пробурена скважина методом БГС. Из графика (рисунок 2) видно, что после зарезки, наблюдается рост дебита нефти до 17 т/сут., и снижение обводненности до 5-38%. Особенностью данного разреза является то, что на данной скважине ВНК находится в 5 м от продуктивной части пласта. Пласт С1664 заглинизирован, пласт С1663 – представлен песчаником. Пласт С1662-С1661 – находится в линзе. На сегодняшний день, скважина работает с дебитом нефти 7 т/сут., что является положительным результатом в рентабельности скважины.

Для анализа эффективности проводки боковых горизонтальных стволов на залежи № 1 рассмотрим такие показатели работы четырех скважин, как дебит по жидкости, дебит по нефти, обводненность.

Анализируя значения динамики скважины №1, заметны существенные их приросты. Наибольший прирост дебита жидкости – до 63 т/сут. Обводненность уменьшилась на 44,3 %.

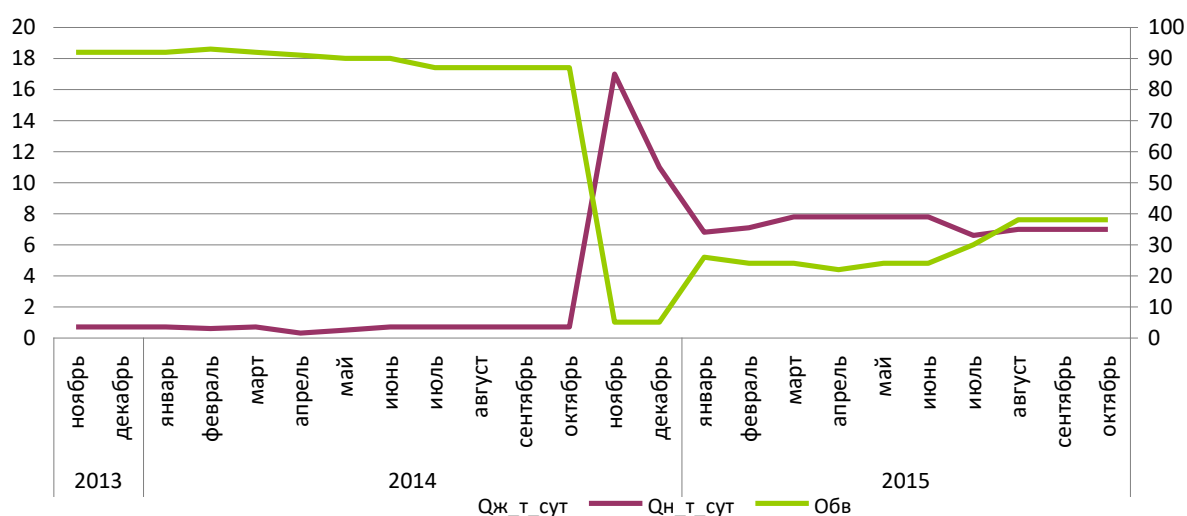


Рисунок 2 – Динамика показателей работы скважины №102

В анализируемой скважине отмечается существенный прирост дебита по нефти. Средний прирост дебита по нефти равен 7,9 т/сут. на одну скважину.

Таким образом, в связи с представленными показателями разработки после проведения БГС можно сказать, что данная технология является высокоэффективной.

Список использованных источников:

1. Фасхутдинов Р.Р. Опыт применения технологии бурения боковых стволов на объектах разработки НГДУ «Альметьевнефть» ОАО «Татнефть», 2007 – 57с.

2. Хакимзянова И.Н. Особенности разработки локальных участков залежей Ромашкинского месторождения// Нефтепромысловое дело. – 2012. – № 3. – С.15.
3. Вафин Р.Ф. Пути повышения эффективности разработки// Труды 9-го международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск, 2007. – С.383-385.
4. Хакимзянов И.Н. Теория и практика разработки нефтяных месторождений скважинами с горизонтальными окончаниями. – Бугульма, 2012. – 16 с.
5. Гилязов Р.М. Совершенствование техники и технологии боковых горизонтальных стволов. – Уфа, 2005. – 29 с.
6. Разработка гидравлического нагружателя КНБК для перфобурения боковых стволов/ Лягова М.А., Зинатуллина Э.Я., Лягов И.А.// В книге: Инновационное нефтегазовое оборудование: проблемы и решения. Всероссийская научно-техническая конференция. – 2010. – С.33-37.
7. Колтюбинговое бурение боковых стволов/ Шайдаков В.В., Лягов А.В., Зинатуллина Э.Я., Лягов И.А., Грогуленко В.В.// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 8. – С.21-25.
8. Расчет упругого деформирования сечения ствола наклонной скважины/ Булюкова Ф.З., Попов А.Н., Попов М.А.// В сборнике: Повышение качества строительства скважин. II Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти Мавлютова М.Р. Сборник научных трудов. – 2010. – С.74-81.
9. Трение и износ насосного оборудования в скважинах с повышенным содержанием механических примесей/ Газаров А.Г., Жулаев В.П., Агамалов Г.Б., Уразаков З.К., Саттаров И.Р.// Нефтегазовое дело. – 2011. – Т.9. – №1. – С.25-30.
10. Прогнозирование и предупреждение осложнений, обусловленных упругим смещением стенок скважины/ Булюкова Ф.З.// автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2011.
11. Испытатель пластов для скважин сложной конфигурации/ Тихонов А.Е., Булюкова Ф.З., Копейкин И.С., Замараев А.Н.// В сборнике: Инновационное нефтегазовое оборудование: проблемы и решения. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции. – 2014. – С.84-85.
12. Классификация источников возникновения вибрации по частоте спектра/ Зотов А.Н., Булюкова Ф.З., Зинатуллина Э.Я., Зайнаглина Л.З.// В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы IV Международной научно-практической конференции. – 2019. – С.227-231.
13. Методика расчета скорости разрушения горной породы забойным инструментом при бурении скважин/ Матвеев Ю.Г., Фаткуллин Н.Ю., Могучев А.И., Булюкова Ф.З.// Нефтегазовое дело. – 2011. – Т.9. – №3. – С.36-39.
14. Прогнозирование солеотложения в призабойной зоне пласта нефтедобывающих скважин/ Булчаев Н.Д., Халадов А.Ш., Булюкова Ф.З.,

Думлер Е.Б.// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – №3. – С.220-230.

15. Выбор способа вторичного вскрытия пластов с учетом влияния их на герметичность заколонного пространства/ Булюкова Ф.З., Янтурин А.Ш.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста. Материалы Международной научно-практической конференции. – 2019. – С.7-10.

УДК 622.276.72

КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕХАНИЗМОВ ОСАЖДЕНИЯ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

*Тищенко А.И. (ММП-19-01), Ишмурзин А.А. (д.т.н., профессор)
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В статье проводится обзор механизмов осаждения асфальтосмолопарафиновых веществ (АСПВ), рассматриваемых за последние десятилетия, а также современные взгляды на состояние этой проблемы в нефтепромысле. В настоящее время принято считать, что молекулярная диффузия (МД) является ключевым механизмом отложений, однако это не так. В статье приведены свидетельства того, что только моделирование МД не позволяет предсказать поведение асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) и есть и другие механизмы, которые также могут влиять на характер отложений.

Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые вещества (АСПВ), механизм осаждения, молекулярная диффузия, термодиффузия, температура появления парафина (WAT)

A CRITICAL REVIEW OF THE MAIN MECHANISMS OF DEPOSITION OF ASPHALT-RESIN-PARAFFINIC SUBSTANCES

Tishchenko A.I., Ishmurzin A.A.

Annotation. The article provides an overview of the mechanisms of sedimentation of asphalt-resin-paraffinic substances (ASPV), considered over the past decades, as well as modern views on the state of this problem in the oil field. It is now generally accepted that molecular diffusion (MD) is a key deposition mechanism, but this is not the case. The article provides evidence that only MD modeling does not allow predicting the behavior of asphalt-resin-paraffin deposits (ARPD) and there are other mechanisms that can also affect the character of deposits.

Keywords: asphalt-resin-paraffin substances, settling mechanism, molecular diffusion, thermal diffusion, wax appearance temperature (WAT)

Когда температура внутри скважины снижается ниже точки помутнения или температуры появления парафина (WAT), происходит образование осадка на стенках насосно-компрессорных труб (НКТ). Это явление ограничивает поток, вызывая неньютоновское поведение и увеличивая эффективную вязкость [1]. Около стенки НКТ или границ скважины образуется неоднородный слой липких свежесосажденных асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО). Со временем кристаллизованные частицы АСПВ объединяются друг с другом и образуют осадок, который может продолжать расти, что приводит к уменьшению сечения доступного потока [8].

Рассмотрим механизмы, влияющие на осаждение АСПО.

1) Молекулярная диффузия

Молекулярная диффузия происходит из-за градиента концентрации, и она ответственна за миграцию АСПВ из массы (которая имеет более высокую концентрацию растворенных веществ) к стенке (которая имеет более низкую концентрацию).

По мере того, как флюид продолжает течь по трубам, молекулярная диффузия в направлении отложения не прекращается, что приводит к накоплению АСПО. Однако не все эти воскообразные молекулы образуют новый слой отложений. Некоторые из них продолжают диффундировать в глубокие слои отложений, что приводит к увеличению содержания парафина в АСПО, что приводит к явлению, известному как старение отложения [6].

Скорость переноса АСПВ, в частности парафина, определяется уравнением (1), уравнением диффузии Фика [8]:

$$W_m = \rho_w \cdot A \cdot D_m \cdot dC/dT \cdot dT/dr \quad (1)$$

где W_m - скорость осаждения парафина (кг/с^{-1}), ρ_w - плотность парафина ($\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$), A - площадь поверхности, доступная для осаждения (м^2), D_m - коэффициент диффузии или коэффициент диффузии парафина в нефти ($\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$), dC/dT - это изменение концентрации растворенного парафина в зависимости от температуры ($^{\circ}\text{C}^{-1}$), dT/dr - радиальный градиент температуры ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$).

Для оценки коэффициента молекулярной диффузии, D_m ($\text{см}^2\cdot\text{с}^{-1}$), используется уравнение:

$$D_m = 7,4 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(\chi \cdot MW_{\text{solvent}})^{1/2} T}{\mu_{\text{solution}} \cdot V_{\text{solute}}^{0.6}} \quad (2)$$

где T - абсолютная температура (К), MW_{solvent} - молекулярная масса растворителя ($\text{г}\cdot\text{моль}^{-1}$), χ - параметр ассоциации Уилке и Чанга ($\chi = 1$ для несвязанных растворителей и $\chi = 2,6$ для воды), μ_{solution} - динамическая вязкость раствора (сР), а V_{solute} - молярный объем растворенного вещества при нормальной температуре кипения ($\text{см}^3\cdot\text{моль}^{-1}$).

Коэффициент диффузии парафиновых компонентов в нефти обычно равен $10^{-9} \text{ м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ [4,10].

2) Броуновская диффузия

Броуновская диффузия в механизме, с помощью которого твердые кристаллы АСПВ во взвешенном состоянии в флюиде сталкиваются с термически перемешанными молекулами нефти [4]. В результате этих столкновений возникают случайные броуновские движения взвешенных частиц парафина. Учитывая градиент концентрации АСПВ, возможно, что чистый эффект броуновского движения приводит к переносу кристаллов веществ в сторону уменьшения концентрации.

Для сферических не взаимодействующих частиц коэффициент броуновской диффузии (m^2s^{-1}) определяется выражением (3) [4]:

$$D_b = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\pi\mu_{\text{solvent}}r} \quad (3)$$

где R - газовая постоянная ($8.314 \text{ Дж}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$), T - температура (К), r - радиус молекулы (м), μ_{solvent} - динамическая вязкость растворителя ($\text{Па}\cdot\text{с}^{-1}$), N - величина Авогадро ($6,022\cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$).

3) Дисперсия при сдвиге

Из-за эффекта сдвига вблизи стенки трубы происходит боковое движение частиц из области с более высокой скоростью в область с более низкой скоростью [8]. Дисперсия при сдвиге может способствовать отложению АСПО из-за этого бокового движения частиц, погруженных в поток.

Коэффициент сдвиговой дисперсии D_s ($\text{см}^2\cdot\text{с}^{-1}$) был экспериментально определен в источнике [8], как линейная зависимость между $D_s/r^2\omega$, где r - радиус частицы (см), и ω - средняя скорость сдвига суспендированной жидкости (с^{-1}), и объемной концентрацией взвешенных частиц парафина $\varnothing$, $\text{м}^3/\text{м}^3$ для $0 < \varnothing < 0,20$:

$$D_s = r^2 \omega \varnothing / 10 \quad (4)$$

Однако при $\varnothing > 0,20$ однозначно установить связь не удалось.

4) Снятие сдвига, снятие сдвига или шелушение сдвигом

Зачистка при сдвиге - это механизм удаления АСПО со стенок труб из-за напряжения сдвига, вызванного течением потока на слой отложений. Приток может сбивать частицы АСПВ с отложений, действуя как механизм удаления.

Моделирование эффекта отделения слоя АСПВ за счет сил сдвига может помочь в разработке текучих химических улучшителей, поскольку некоторые из них могут действовать, как размягчители гелевых структур, которые более склонны к удалению под действием сдвигающих сил.

Некоторые исследователи [5,9] пытались включить этот эффект вскрытия в имитационные модели, чтобы снизить скорость образования отложений, в то же время стремясь повысить уровень точности реального физического поведения. Выражают скорость сдвига АСПВ, J , как:

$$J = c \cdot \frac{\delta\tau}{\varnothing_m^{2.3}} \quad (5)$$

где c - постоянная сдвига (-), δ - толщина слоя АСПО (м), $\varnothing_m$ - массовая доля парафина в гелевом слое (-), τ - напряжение сдвига (Н/м²),

5) Гравитационное осаждение

Скорость оседания V_g может быть вычислена как баланс плавучести и вязких сил [7], как представлено в уравнении. (7):

$$V_g = \frac{d^2(p_p - p)g}{18\mu} \quad (6)$$

где V_g - скорость осаждения (м/с), d - диаметр частицы (м), p_p - плотность частиц (кг/м³), p - плотность жидкости (кг/м³), μ - жидкостная вязкость (Па·с).

Как правило, считалось, что осаждение под действием силы тяжести не имеет отношения к АСПО, поскольку не было работ, в которых утверждалось бы, что АСПО более массивные на дне, а не наверху стенки НКТ.

6) Термодиффузия

Термическая диффузия названа в честь температурного градиента как движущей силы осаждения. Частицы АСПВ могут диффундировать под действием температурного градиента, а термофоретическая скорость (м / с) вычисляется по формуле [7]:

$$V_T = -\beta \frac{\mu \nabla T}{\rho T} \quad (7)$$

Отрицательный знак означает, что частицы перемещаются из более горячей зоны в более холодную, где коэффициент пропорциональности можно определить по формуле (9), которая является функцией теплопроводности жидкости, k (Вт/(мК)), и теплопроводности частиц парафина, k_p (Вт / (мК)):

$$\beta = 0.26 \frac{k}{2k + k_p} \quad (8)$$

Исследователи [21] утверждают, что учет термодиффузии в моделях осаждения АСПВ необходим для правильной оценки физического явления.

Чтобы оценить относительную важность каждого механизма осаждения, сравнение ведется по времени, которое требуется асфальтосмолопарафиновым частицам сырой нефти, чтобы диффундировать на длину, равную ее диаметру, под действием каждого механизма. Механизм, который вызывает движение частиц в течение более короткого периода времени, будет считаться преобладающим механизмом [2]. Сравнения устанавливаем между каждым двумя формулами механизма.

Чтобы сравнить наиболее известные механизмы отложения АСПВ, была составлена таблица 1, в которой выделены входные параметры для определения

времени, которое затрачивает частица на диффузию на длину, равную ее диаметру за счет диффузии или диспергирования.

При анализе молекулярной диффузии и параметров броуновской диффузии время, которое частица тратит на перемещение по коэффициенту диффузии, обратно пропорционально зависит от температуры. Напротив, он напрямую зависит от термодиффузии. Более высокие температуры приводят к более низкой вязкости, что означает более высокий коэффициент диффузии и, следовательно, более низкое время диффузии [3].

Более крупные частицы будут тратить больше времени на диффузию с помощью теплового, молекулярного и броуновского механизмов, как показано в таблице 1. И наоборот, осаждение под действием силы тяжести будет запускать движение более эффективно для более крупных частиц.

Таблица 1 – Входные параметры механизмов отложения АСПВ

Механизм	Входные данные											
	Выражение времени (с)	d	T	∇T	MW	μ	V	ω	ϕ	k	k_p	p_p
Молекулярная диффузия	$\frac{d^2}{D_m}$	d^2	T^{-1}		$MW^{-0.5}$	μ	$V^{0.6}$					
Броуновская диффузия	$\frac{d^2}{D_b}$	d^3	T^{-1}			μ						
Дисперсия сдвига	$\frac{d^2}{D_s}$							ω^{-1}	ϕ^{-1}			
Гравитационное осаждение	$\frac{d}{V_g}$	d^{-1}				μ						p^{-1}
Термодиффузия	$\frac{d}{V_T}$	d	T	∇T^{-1}		μ^{-1}				k^{-1}	k_p	p

Чтобы сравнить диапазон, в котором каждый механизм преобладает, с другим, было выполнено сравнение по одному, представленное в таблице 2.

Таблица 2 синтезирует сравнения преобладания, которые получают дальнейшее развитие.

Таблица 2 – Сравнение преобладания механизмов образования АСПО

Механизм	Броуновская диффузия $\frac{d^2}{D_b}$	Дисперсия сдвига $\frac{d^2}{D_s}$	Гравитационное осаждение $\frac{d}{V_g}$	Термодиффузия $\frac{d}{V_T}$
Молекулярная диффузия $\frac{d^2}{D_m}$	$\left(\frac{d^2}{D_m} < \frac{d^2}{D_b} \right)$	$\left(\frac{d^2}{D_m} < \frac{d^2}{D_s} \right)$	$\left(\frac{d^2}{D_m} < \frac{d}{V_g} \right)$	$\left(\frac{d^2}{D_m} < \frac{d}{V_T} \right)$
Броуновская диффузия $\frac{d^2}{D_b}$	-	$\left(\frac{d^2}{D_b} < \frac{d^2}{D_s} \right)$	$\left(\frac{d^2}{D_b} < \frac{d}{V_g} \right)$	$\left(\frac{d^2}{D_b} < \frac{d}{V_T} \right)$
Дисперсия сдвига $\frac{d^2}{D_s}$		-	$\left(\frac{d^2}{D_s} < \frac{d}{V_g} \right)$	$\left(\frac{d^2}{D_s} < \frac{d}{V_T} \right)$
Гравитационное осаждение $\frac{d}{V_g}$			-	$\left(\frac{d}{V_g} < \frac{d}{V_T} \right)$

По результатам обзора можно сделать вывод, что никакие конкретные условия потока не связаны с преобладанием каждого из вышеупомянутых механизмов отложения парафина. Единственное исключение можно рассматривать в механизме сдвиговой дисперсии. Действительно, если тепловые потоки умеренные, а температуры значительно ниже точки помутнения, для моделирования осаждения парафина следует учитывать дисперсию сдвига, наряду с молекулярной диффузией. Тем не менее, эта рекомендация не подтверждается всеми доступными исследованиями.

Список использованных источников:

1. Иванова, Л.В. Исследование состава асфальтосмолопарафиновых отложений различной природы и пути их использования / Л.В. Иванова, В.Н. Кошелев, О.А. Стоколос // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 2. – С. 250 – 256.
2. Каюмов М.Ш. Учет особенностей образования асфальтосмолопарафиновых отложений на поздней стадии разработки нефтяных месторождений / М.Ш. Каюмов// Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 3. – С. 48–49.
3. Люшин, С.Ф. О влиянии скорости потока на интенсивность отложения парафина в трубах/ С.Ф. Люшин, Н.Н. Репин// Борьба с отложениями парафина. – М.: Недра, 1965. – С. 157–166.
4. Сорокин С.А., Хавкин С.А. Особенности физико-химического механизма образования АСПО в скважинах // Бурение и нефть. – 2007. – №10. – С. 30-31.
5. Сюняев, З.И. Нефтяные дисперсные системы / З.И. Сюняев, Р.З. Сафиева, Р.З. Сюняев. – М.: Химия, 1990. – 226 с.
6. Туманян, Б.П. Устойчивость фракций асфальтенов нефти в модельных углеводородных системах/ Б.П. Туманян, Н.Н. Петрухина, К.О. Аллогулова// Химия и технология топлив и масел. – 2014. – № 1. – С.19–26.
7. Тронов В.П. Механизм образования смолопарафиновых отложений и борьба с ними. – М.: Недра, 1970. – 192 с.
8. Хасаев, А.М. О влиянии режима потока на интенсивность отложения парафина в трубах/ А.М. Хасаев, А.Т. Рзаев// Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. – 1970. – Вып. 10. – С.13–15.
9. Шарифуллин А.В. Особенности состава и строения нефтяных отложений/ А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова // Технология нефти и газа. – М., 2006. – №6.
10. Шарифуллин, А.В. Состав и структура асфальтено-смоло-парафиновых отложений Татарстана / А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, Р.Ф. Хамидуллин// Технологии нефти и газа. – 2006. – № 4. – С. 34–41.
11. Применение растворителей и пав для удаления асфальтоносмолопарафиновых отложений (АСПО) с технологического оборудования в условиях Ванкорского месторождения/ Булчаев Н.Д., Рубцов И.Н., Орловская Н.Ф., Безбородов Ю.Н.// Бурение и нефть. – 2015. – №7-8. – С.54-57.
12. Прогнозирование солеотложения в призабойной зоне пласта нефтедобывающих скважин/ Булчаев Н.Д., Халадов А.Ш., Булюкова Ф.З.,

Думлер Е.Б.// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 3. – С. 220-230.

13. Причины нарушения первичной гидродинамической связи «пласт-скважина» и технологические недостатки методов очистки, основанных на принципе откачки жидкости/ Власов В.В., Ишмурзин А.А.// Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2003. – № 2. – С. 9.

14. Механика дисперсных систем в нефтегазовом производстве/ Ишмурзин А.А., Ишмурзина Н.М. – Уфа, 2012.

15. Борьба с отложениями парафиновых, асфальтосмолистых компонентов нефти/ Акрамов Т.Ф., Яркеева Н.Р.// Нефтегазовое дело. – 2017. – Т.15. – №4. – С.67-72.

16. Повышение эффективности предотвращения солеотложений в скважинах на поздней стадии разработки залежей/ Яркеева Н.Р.// диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2003.

УДК 622.692.4.054

СПОСОБЫ КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Хайруллин Р.Р. (студент гр. 28476)¹

Думлер Е.Б. (к.т.н., доцент)^{1,2}, Вахитова Р.И. (к.т.н., доцент)³

¹*Филиал ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ в г. Лениногорске, Российская Федерация*

²*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

³*Альметьевский государственный нефтяной институт,
г. Альметьевск, Российская Федерация*

Аннотация. Потеря герметичности в нефтепроводах и в водопроводных системах будет иметь значительные, эксплуатационные и финансовые последствия и способна создать серьезный риск для экологической безопасности. В работе рассмотрены вопросы защиты от внешней коррозии фланцевых соединений промысловых трубопроводов. Основная задача исследования – выявить менее трудоемкий и затратный способ защиты фланцевых соединений от внешней коррозии. Рассмотрен способ антикоррозийной защиты фланцевых соединений полимерными материалами.

Ключевые слова: фланцевое соединение, щелевая коррозия, нефтепромысловый трубопровод, полимерные материалы

METHODS FOR CORROSION PROTECTION OF FLANGE CONNECTIONS OF FIELD PIPELINES

Khairullin R.R., Dumler E.B., Vakhitova R.I.

Annotation. Loss of tightness in oil pipelines and water supply systems will have significant operational and financial consequences and can pose a serious risk to environmental safety. The paper deals with the issues of protection against external corrosion of flanged joints of field pipelines. The main objective of the study is to identify a less laborious and costly method of protecting flange connections from external corrosion. A method of anti-corrosion protection of flange joints with polymeric materials is considered.

Key words: flange connection, crevice corrosion, oil field pipeline, polymeric materials

В трубопроводах для химических сред, таких как углеводороды и газ, и в водопроводных системах потеря герметичности будет иметь значительные экологические, эксплуатационные и финансовые последствия и может создать серьезный риск для безопасности. Целостность фланцевых соединений критически важна для обеспечения герметичности трубопроводов.

Коррозионные повреждения фланцев. Щелевая коррозия – это распространенный механизм разрушения, обусловленный повышенной концентрацией коррозионноактивных веществ на локализованном участке. Действительно, скорость коррозии увеличивается при возрастании концентрации коррозионно-активных веществ в ограниченном пространстве. Зазор между двумя опорными поверхностями фланцев – идеальная среда для щелевой коррозии. Опорная поверхность фланца особенно подвержена щелевой коррозии, если фланцы используются в средах с высокой коррозионной активностью. Со временем коррозия, начавшаяся в зазоре внутренней поверхности фланцевого соединения, может распространиться на область прокладки. Увеличение концентрации коррозионно-активных веществ в промежутке между уплотнительной поверхностью и материалом прокладки может повлиять на скорость коррозии поверхности фланца. Прокладка фланца служит в качестве уплотнения, закрывающего лицевую сторону от начала фаски до края обработанной поверхности. Коррозия уплотнительной поверхности может привести к потере герметичности и утечке продукта с потенциально катастрофическими последствиями для окружающей среды.

Из-за недостаточной внешней защиты на этих участках площадь повреждения фланцев и крепежа может быстро увеличиться, что ускорит процесс снижения целостности системы. Последствия такой ситуации предсказать нелегко, так как они зависят от преобладающих условий. В зависимости от степени агрессивности окружающей среды разрушение материала может происходить медленно и постепенно или же, в экстремальных условиях, процесс наружной коррозии может быстро привести к нарушению конструкционной целостности системы и стать причиной катастрофической утечки содержимого.

Фланцевые соединения являются критическим компонентом трубопроводных систем, поэтому для сведения к минимуму потерь из-за внеплановых остановок в результате протечек необходимо применять эффективные методы мониторинга и инспектирования для удовлетворения постоянно растущих производственных требований. Поскольку визуальный осмотр уплотнительных поверхностей фланцевых соединений может производиться только в период остановки системы, необходимо, чтобы этот процесс был максимально простым, а значит, устранение наружной коррозии должно быть приоритетным вопросом. Если остановка оборудования невозможна, альтернативным способом инспектирования может стать ультразвуковой метод, но опять-таки это процесс может оказаться гораздо более сложным, а результаты менее точными, если не удастся контролировать наружную коррозию. Таким образом, защита фланцев и крепежа от наружной коррозии критически важна как для мониторинга состояния системы, так и для обеспечения более эффективных и точных процедур контроля качества и инспектирования.

Одним из способов защиты фланцевых соединений от наружной коррозии и эрозии является применение полимерных покрытий.

Двухкомпонентное гибридное полимерное покрытие для защиты фланцев любой формы, размера и конфигурации, предотвращающее образование влаги и коррозии посредством их полной герметизации. Этот жидкообразный материал не требует горячей обработки или специальных инструментов для нанесения, а также при отверждении образует прочный и эластичный защитный барьер.

В сочетании с базовым слоем ингибитора коррозии, система обеспечивает отличную защиту от коррозии, в то же время покрытие может быть легко разрезано ножом, что обеспечивает легкий доступ к крепежным соединениям. После завершения инспекции надрезанный соединительный может быть легко восстановлен.

Основные преимущества:

- отличная защита от коррозии;
- покрытие обеспечивает легкий доступ к крепежным соединениям в случае необходимости инспекции;
- быстрое и легкое нанесение без необходимости в огнеопасных работах;
- быстрое отверждение для проведения быстрого ремонта;
- отличная адгезия к подготовленным вручную поверхностям;
- защита от УФ излучения и атмосферных воздействий;
- теплоустойчивый и не поддерживающий горения материал;
- безопасен в использовании - классифицирован как малоопасный материал.

Сложная геометрия фланцевых соединений облегчает возникновение таких проблем, как щелевая коррозия в пустоте между двумя торцами фланцев и гальваническая коррозия, где использование различных металлов может привести к серьезным последствиям.

Технология выполнения полимерного покрытия состоит из нескольких этапов. На примере фланцевого соединения одного из нефтеперекачивающих трубопроводов рассмотрим технологию нанесения полимерного покрытия.



Рисунок 1 – Исходный ржавый фланец

Подготовка поверхности проводится вручную наждачной тканью по стандарту SSPC SP2/SP3, эквивалентному St2/St3.

После подготовки и очистки поверхности, стыки между торцами фланцев заделываются лентой и затем наносится ингибитор коррозии.



Рисунок 2 – Нанесение ингибитора коррозии

Далее производят защиту болтов колпачками наносится полимерное покрытие в два слоя.



Рисунок 3 – Нанесение полимерного покрытия

Для подтверждения коррозионной стойкости полимерного покрытия были проведены испытания методом распыления соли, который применяется для оценки способности покрытия противостоять длительному воздействию соляного тумана. В соляной камере 5 % раствор хлористого натрия при температуре 35 °С превращается в нагретый туман.

После воздействия соляного тумана в течении 1000 часов признаков коррозии под изолирующим покрытием отмечено не было, ана открытой стальной поверхности не защищенного участка на конце фланца наблюдалась сильная коррозия в отличии от защищенного.

Проведенные испытания методом распыления соли подтвердили коррозионную стойкость двухкомпонентного гибридного полимерного покрытия. Для обеспечения долговечности герметизирующих покрытий в экстремальных условиях эксплуатации, покрытия должны обладать хорошей адгезией, особенно к поверхностям, подготовленным вручную. Предлагаемое покрытие не требует горячей обработки или специальных инструментов для нанесения.

Список использованных источников:

1. Хайдерсбах Р. Защита от коррозии и металловедение оборудования для добычи нефти и газа. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. – 416 с.
2. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М.: Физматлит, 2010. – 416 с
3. Мустафин Ф.М. Защита трубопроводов от коррозии. В 2-х книгах. Том 2 / Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков и др. – М.: Недра, 2007. – 708 с.
4. Мустафин Ф.М. Защита трубопроводов от коррозии. В 2-х книгах. Т 1 / Ф.М. Мустафин, М.В. Кузнецов и др. – М.: Недра, 2005. – 620 с.
5. Прочность полимерных армированных трубопроводов малого диаметра/ Шайдаков В.В., Чернова К.В., Шайдаков Е.В., Робин А.В., Стефамиров А.В., Паливода Р.Б., Пензин А.В.// Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2011. – № 3. – С. 310-317.

6. Коррозионно-эрозионное разрушение внутренней поверхности трубопроводов ОАО «БЕЛКАМНЕФТЬ»/ Емельянов А.В., Бугай Д.Е., Лаптев А.Б., Шайдаков В.В.// Башкирский химический журнал. – 2002. – Т.9. – №3. – С.49-52.
7. Упруго-прочностные свойства полимерных армированных трубопроводов, используемых в нефтегазовом оборудовании/ Людвиницкая А.Р., Шайдаков В.В., Паливода Р.Б., Чернова К.В., Халилов А.А.// Территория Нефтегаз. – 2012. – №9. – С.56-59.
8. Полимерные армированные трубопроводы для подачи химических реагентов и отвода газа/ Шайдаков В.В., Робин А.В., Джафаров Р.Д., Пензин А.В.// Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 10 (189). – С.65-69.
9. Патент на изобретение RU 2277983 C1. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопровода/ Мугаллимов Ф.М., Мугаллимов И.Ф., Сафонов В.А., Савельева Е.В., Мугаллимов А.Ф., Панкратьев С.А. – 20.06.2006. Заявка № 2004133622/12 от 17.11.2004.
10. Патент на изобретение RU 2400315 C1. Способ очистки внутренней поверхности трубопровода от асфальтосмолистых и парафиновых отложений/ Мугаллимов Ф.М., Мугаллимов И.Ф., Сафонов В.А., Мугаллимов А.Ф., Мугаллимов Б.Ф. – 27.09.2010. Заявка № 2009141033/12 от 05.11.2009.
11. Трубопроводная арматура: учебное пособие для вузов/ Мустафин Ф.М., Гумеров А.Г., Мугалимов Ф.М.– Уфа, 2010. Сер. Сооружение трубопроводов (3-е издание, переработанное и дополненное).
12. Система унифон для непрерывного контроля герметичности подводных переходов трубопроводов/ Шаммазов А.М., Мугаллимов Ф.М., Кунафин Р.Н., Абдулаев А.А.// Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – №3. – С.58-61.
13. Технология прогрессивной очистки нефтепроводов/ Мугаллимов Ф.М.// Нефтяное хозяйство. – 2000. – №5. – С.63-65.
14. Технология врезки катушек в магистральный газопровод при помощи опорно-центрирующих устройств/ Гареев А.С., Мухамадиев А.А., Коннов Ю.Д.// В сборнике: АШИРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. Труды Международной научно-практической конференции. – 2015. – С.383-384.
15. Механизация трудоемких процессов при ремонте магистральных трубопроводов/ Коннов Ю.Д., Ямалиев В.У., Булюкова Ф.З.// В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан. Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2016. – С.376-381.

ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА НЕФТЯНЫХ ПРОМЫСЛАХ

*Шигабиев Д.Г. (студент гр. 28476)¹, Думлер Е.Б. (к.т.н., доцент)^{1,2},
Вахитова Р.И. (к.т.н., доцент)³*

¹*Филиал ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ в г. Лениногорске, Российская Федерация*

²*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

³*Альметьевский государственный нефтяной институт,
г. Альметьевск, Российская Федерация*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы модернизации центробежных насосов для нефтяных промыслов. Основной задачей исследования является изучение основных причин снижения работоспособности и выхода из строя центробежных насосов. Рассмотрены способы повышения прочностных характеристик и увеличения надежности насосных агрегатов.

Ключевые слова: нефтяной промысел, центробежный насос, прочность, долговечность

REASONS OF REDUCED OPERATION OF CENTRIFUGAL PUMP UNITS IN OIL FIELDS

Shigabiev D.G., Dumler E.B., Vakhitova R.I.

Annotation. The paper deals with the issues of modernization of centrifugal pumps for oil fields. The main objective of the study is to study the main reasons for the decline in performance and failure of centrifugal pumps. The ways of increasing the strength characteristics and increasing the reliability of pumping units are considered.

Key words: oil field, centrifugal pump, strength, durability

Для современной нефтедобычи в России характерна следующая геолого-технологическая структура запасов нефти, в которой доля освоенных запасов нефти составляет всего 35-40 %. К остальным запасам относятся низкопроницаемые и трудноизвлекаемые пласты, остаточные запасы, глубоко залегаемые горизонты, высоковязкие и битумные пласты, подгазовые зоны. Основные крупные месторождения Урала и Западной Сибири значительно истощены и обводнены – до 90 %, коэффициент извлечения нефти близок к максимальному значению. Добыча нефти значительно осложняется выносом песка, отложением солей, парафинистыми отложениями, выделением сероводорода. Следствием ухудшения структуры запасов становится постоянное снижение среднего суточного дебита нефтедобывающих скважин. Однако конъюнктура мирового рынка в период с 2015 до 2020 года диктует условия об увеличении нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти.

Для увеличения и ускорения добычи нефти большое количество скважин в эти годы было оборудовано высокопроизводительными погружными нефтяными насосами, преимущественно центробежными, были созданы новые технологии изготовления насосов, отработана их конструкция, технологии эксплуатации и ремонта. При всех достоинствах установок ЭЦН – высокая надежность, коррозионостойкость, износостойкость существуют и непреодолимые недостатки, такие как:

- нестабильность и невозможность работы в диапазоне малых подач (до $25 \text{ м}^3/\text{сут.}$);
- низкий КПД;
- регулирование производительности происходит с потерей либо напорной характеристики, либо падением КПД;
- срывы подачи при большом газосодержании.

Оборудование скважин погружными нефтяными насосами и не правильный их подбор, зачастую приводит к превышению предельно допустимой депрессии на пласт, снижению динамического уровня жидкости в скважине и выделению свободного газа в затрубное пространство, образованию воронок депрессии.

Следствием не правильной эксплуатации нефтяных месторождений, неправильным подбором насосов стало предъявление повышенных требований к насосному оборудованию:

- высокая коррозионо- и износостойкость,
- длительный ресурс работы скважинных нефтяных насосов,
- высокая производительность,
- возможность работы на мультифазных жидкостях.

Все это обуславливает возникновение следующих проблем эксплуатации погружного насосного оборудования:

- коррозия и эрозия элементов насосов, имеющих непосредственный контакт с перекачиваемой средой. Наиболее серьезные повреждения наблюдаются на рабочих колесах, валах, подшипниках и корпусах насосов, как на максимально нагруженных элементах оборудования. Влияние агрессивной среды приводит к уменьшению толщины стенок и ухудшению параметров работы всего агрегата;

- кавитационные процессы вызывают появление ударов во время работы, повышение вибрации всего агрегата, сокращают срок работы подшипников, увеличивают износ внутрикорпусных элементов и приводят к утончению стенок корпуса;

- наличие в перекачиваемой среде твердых включений, что приводит к абразивному изнашиванию проточной части и так же снижает срок службы насоса;

- работа насосных агрегатов на недогруженных ($0,5 \dots 0,7 Q_{\text{опт}}$) и нерасчетных режимах (ниже $0,5 Q_{\text{опт}}$). В результате существенно ухудшаются вибродинамические характеристики центробежных насосов и, соответственно, снижается их работоспособность;

– работа насоса на не оптимальных режимах приводит к неравномерному нагреву вала и стенок корпуса из-за разных коэффициентов расширения используемых материалов и способов крепления оборудования, что приводит к уменьшению нормированных зазоров в насосе и увеличению нагрузок на него.

Рассмотрим некоторые решения по улучшению эксплуатационных характеристик центробежных насосов.

Во-первых, модернизация опорно-уплотнительных узлов. Модернизацию опорно-уплотнительных узлов проводят с целью перевода насосного оборудования из открытого типа (с выносными опорами) в закрытый тип (со встроенными опорами) или перевода из закрытого типа в открытый.

Перевод насосного оборудования из открытого типа в закрытый позволяет сделать насос полностью герметичным, с одной стороны. В этом случае опоры подшипника располагаются внутри корпуса насоса, и тогда маслосистема не требуется, так как смазка и охлаждение подшипников происходит при помощи перекачиваемой жидкости.

Во-вторых, перевод подшипниковых узлов на картерное исполнение. Модернизация насосов типа НЦС и электродвигателей к ним с заменой опорных узлов на картерное исполнение. Модернизация может быть проведена как для всего насосного агрегата, так и отдельно для насоса или электродвигателя. Основным преимуществом является то, что при переходе на картерное исполнение не требуется наличие отдельной маслосистемы, поскольку смазка и охлаждение подшипниковых узлов осуществляется за счет картера. Благодаря этому полностью отсутствуют такие элементы, как маслонасосы, маслобак и радиаторы охлаждения.

Преимущества использования картерного опорного узла: повышение энергоэффективности за счет исключения маслонасосов, маслобака и радиаторов охлаждения; снижение затрат на обслуживание системы; увеличение полезной площади машинного зала; простота монтажа и продолжительный срок службы.

Картерный опорный узел насоса имеет ряд особенностей конструкции:

- картерная опора представляет собой отдельную замкнутую систему;
- конструкция вкладыша подшипника представляет собой сферическую самоцентрирующуюся опору, которая позволяет устранить перекосы в установке;
- более развитая наружная поверхность, что улучшает теплоотдачу;
- увеличенная опорная поверхность, что повышает нагрузочную способность подшипника;
- полностью независимая смазка обеспечивается с помощью свободного смазочного кольца;
- конструкция отличается простотой монтажа и продолжительным сроком службы;
- картерная опора устанавливается на стандартное место выносной опоры с принудительной маслосистемой, что позволяет произвести замену без вмешательства в конструкцию в условиях промысла.

В-третьих, изменение рабочих параметров насоса. Модернизация насосов типа ЦНС с целью изменения расходно-напорных характеристик (H , Q). Изменение расходно-напорных характеристик насоса достигается за счет замены деталей проточной части (колес, аппаратов, колец). Модернизация обеспечивает необходимые расходно-напорные характеристики и оптимальный, для требуемого расхода, режим КПД. При проведении модернизации возможно изменить как характеристику расход-напор, так и характеристики расход или напор отдельно. Габаритно-присоединительные размеры могут сохраняться или быть изменены в соответствии с требованиями.

Неэффективное регулирование рабочих параметров (регулирование задвижкой и пр.) приведет к эксплуатации оборудования вне рабочих зон и существенной потере КПД, что соответственно, увеличит затраты на электроэнергию. Например, потеря КПД на 5 % приведет к тому, что затраты на электроэнергию возрастут на 2,5 млн. ежегодно. Обеспечение необходимых значений расходно-напорных характеристик насосного оборудования позволит эксплуатировать насос в режиме максимального КПД.

В-четвертых, повышение общей жесткости конструкции и снижение вибрации. Увеличение жесткости конструкции непосредственно связано с надежностью и виброустойчивостью всего агрегата. В химических и нефтяных насосах стараются усилить не только внешние элементы конструкции, такие как корпус, крышка, шпильки главного разъема, но и внутренние элементы. Вал и подшипниковые узлы отвечают за низкий уровень вибрации, поэтому их, как правило, делают усиленными по сравнению со стандартными исполнениями. Более того, низкий уровень вибрации снижает воздействие на торцовое уплотнение и позволяет уменьшать зазоры между элементами проточной части. В связи с этим к подшипникам предъявляются специальные требования для обеспечения их длительного ресурса.

Жесткости конструкции также возможно достигнуть усилением конструкции фланцев. В отличие от зарубежных практик, где запрещено передавать нагрузку от трубопроводов на фланцевые соединения насосов, в России зачастую приходится встречаться с тем, что насосы являются опорами для трубопроводов. Увеличенная толщина фланцев насосных агрегатов позволяет выдерживать данные нагрузки.

Отдельно следует отметить и требования к жесткости рамы. Жесткость рамы и всей фундаментной плиты – один из основополагающих факторов низкого уровня вибрации.

В-пятых, модернизация с изменением материального исполнения насоса.

Модернизация с изменением материального исполнения насоса повышает срок службы и среднюю наработку до капитального ремонта. Снижает скорость падения расходно-напорных характеристик и КПД в год. В рамках модернизации проходит замена существующей проточной части на новую проточную часть соответствующего материального исполнения.

Постоянный анализ показателей агрегата может помочь заметить повреждение элементов проточной части насоса или подшипников агрегата на

начальной стадии и вовремя устранить его, что позволит избежать замены элементов оборудования.

Идеального оборудования не бывает и в каждом отдельном случае необходимо учитывать все требования современных стандартов производства и развивать существующие стандарты. Постоянное развитие технологий обуславливает успешную и надежную эксплуатацию насосных агрегатов.

Список использованных источников:

1. Деньгаев, А.В. Повышение эффективности эксплуатации скважин погружными центробежными насосами при откачке газожидкостных смесей – Дис. канд. техн. наук. – М., 2006. – 194 с.
2. Шиян, А. Модернизация центробежных процессных насосов для нефтепереработки серий НПС и НК до соответствия требованиям стандарта API 610 – ИСО 13709 / А. Шиян, Е. Князева, А. Михайличенко // Насосы и оборудование. – 2014. – № 2-3. – С. 54-57.
3. Гримитлин, А.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании: учеб. пособие / А. М. Гримитлин, О. П. Иванов, В. А. Пухкал. – СПб: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2006. – 213 с.
4. Влияние технологических факторов на аварийность установок погружных центробежных насосов/ Ишмурзин А.А., Пономарев Р.Н., Ишмурина Н.М.// Нефтяное хозяйство. 2006. № 7. С. 102-104.
5. Зависимость аварийных отказов установок погружных центробежных насосов от времени работы в скважине/ Ишмурзин А.А., Пономарев Р.Н.// Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2006. – № 2. – С. 59.
6. Анализ влияния вибрации на межремонтный период погружных центробежных установок/ Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З., Вахитова Р.И.// В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы IV Международной научно-практической конференции, 2019. – С. 271-276.
7. Параметрические колебания при смещении центра масс ротора электроцентробежного насоса/ Ишемгузин И.Е.// Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 10. – С.152-154.
8. О релаксационных колебаниях погружного электроцентробежного насоса при подъеме его из скважины/ Ишемгузин И.Е.// Нефтегазовое дело. – 2009. – Т.7. – № 2. – С.96-99.
9. Автоматический перепуск затрубного газа в скважинах, оборудованных погружными электроцентробежными насосами/ Сарачева Д.А., Вахитова Р.И., Молчанова В.А.// В сборнике: Современные технологии в нефтегазовом деле-2015. – 2015. – С.212-217.
10. Струйный аппарат для перепуска затрубного газа в скважинах, оборудованных УЭЦН/ Сарачева Д.А., Молчанова В.А., Вахитова Р.И.// В сборнике: Инновационное нефтегазовое оборудование: проблемы и решения. – 2014. – С.129-132.
11. Эксплуатация погружных центробежных насосов в условиях повышенного содержания свободного газа/ Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З.// В сборнике:

- Материалы 47-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. 2020. – С.519-523.
12. Энергопотребление погружных установок электроцентробежных насосов/ Вахитова Р.И., Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Загитова Л.Р., Сарачева Д.А.// Альметьевский государственный нефтяной институт. Альметьевск, 2020.
13. Исследование модели механизма виброизоляции УЭЦН/ Думлер Е.Б., Булюкова Ф.З.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. – 2020. – С.106-112.
14. Защита УЭЦН от воздействия механических примесей/ Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Булюкова Ф.З., Сарачева Д.А.// В сборнике: Роль математики в становлении специалиста-2020. Материалы Международной научно-практической конференции. УГНТУ. – 2020. – С.112-116.

Научное издание

**РОЛЬ МАТЕМАТИКИ
В СТАНОВЛЕНИИ СПЕЦИАЛИСТА - 2021**

**Материалы
Международной научно-методической конференции**

Материалы публикуются в авторской редакции