

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Ухтинский государственный технический университет»  
(УГТУ)

**XX МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ–2019**

20–22 марта 2019 года

Материалы конференции

Часть II

Ухта  
УГТУ  
2020

*Научное издание*

СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2019  
МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ  
(20–22 марта 2019 г.)

УДК [5+6](061.3)

ББК 94

К 65

**XX Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех- 2019» :**  
К 65 материалы конференции (20–22 марта 2019 г.). Ч. 2. – Ухта : УГТУ, 2020. – 297 с. – Текст :  
электронный.

ISBN 978-5-88179-841-3 (серия)

ISBN 978-5-906991-95-9

Представлены доклады XX Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2019», проведенной Ухтинским государственным техническим университетом 20–22 марта 2019 г.

Рассмотрены актуальные проблемы, отражающие широкий спектр научных направлений. В первой части настоящего сборника представлены доклады следующих тематик: автоматика и электротехника, компьютерные технологии, математическое моделирование, механика и современные информационные технологии.

Для научных работников, профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов, инженерно-технического персонала.

**УДК [5+6](061.3)**

**ББК 94**

Материалы, помещенные в настоящий сборник, даны в авторской редакции с минимальными правками.

Компьютерная верстка: Р. Т. Мавлютов

© Ухтинский государственный технический университет, 2020

План 2019 г., позиция 002.2(н).

Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 17,4. Уч.-изд. л.15,7. Заказ № 355.

Ухтинский государственный технический университет.  
169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.

ISBN 978-5-88179-841-3 (серия)

ISBN 978-5-906991-95-9

УДК .004.94

**Построение теней в ортогональных проекциях при помощи трехмерного моделирования**

Галиахметова А. В.

Научный руководитель – Дейнега С.А.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Для наглядного представления объектов на архитектурно-строительных чертежах планов и фасадов зданий выполняется построение собственных и падающих теней. Данные построения обычно выполняются вручную в ортогональных проекциях, используя комплексный чертеж объекта. Все построения выполняются в соответствии с теорией построения теней, основной геометрической задачей которой является решение задачи на пересечение прямой с плоскостью. При этом изначально необходимо определить контуры собственной тени каждого из элементов объекта и построить по ним падающие тени.

При построении теней лучи света направляют параллельно диагоналям куба, грани которого параллельны плоскостям проекций, как показано на рисунке 1. Проекции светового луча на плоскости  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$  составляют угол  $45^\circ$  с соответствующими координатными осями X, Y, Z (рисунок 1).

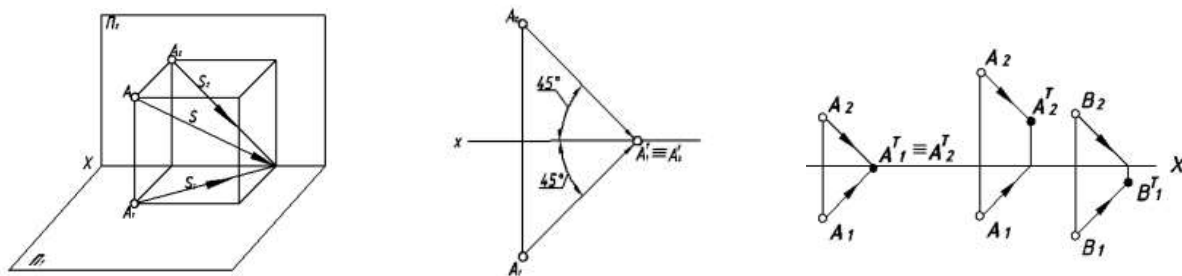


Рисунок 1. Направление лучей света в ортогональных проекциях

Более детальное представление о природе теней, а также проверка правильности ортогональных построений этих теней, даст трехмерная модель объекта. В данном представлении объекта тени от него формируются автоматически и зависят только от источника освещения и направления световых лучей (рисунок 2).

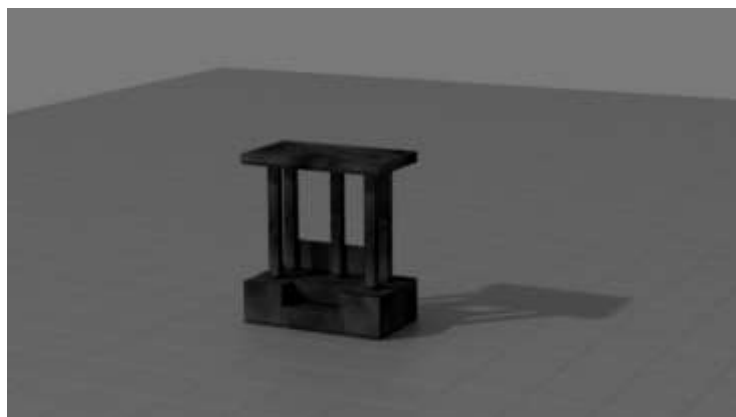


Рисунок 2. Формирование тени трехмерного объекта

Цель нашей работы заключается в рассмотрении возможностей автоматического построения теней в ортогональных проекциях при помощи трехмерного моделирования объектов. В этом случае возникает проблема, связанная с тем, что в ортогональных

проекциях направление световых лучей от источника освещения постоянна, т.е. направлена в одном направлении и под одним углом. В трехмерных построениях формирование теней носит произвольный характер. Решение этой проблемы состоит в выборе определенного типа источника освещения, его определенного расположения относительно объекта и в фиксированном направлении светового луча при трехмерном моделировании.

Процесс построения теней в ортогональных проекциях с помощью трехмерного моделирования можно разбить на следующие этапы:

1 этап – построение трехмерного геометрического объекта.

2 этап – визуализация объекта (присвоение материала, расстановка источников света, настройка теневой карты).

3 этап – создание пространственных плоскостей, имитирующих плоскости проецирования  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ .

4 этап – формирование видовых окон для каждого ортогонального изображения.

5 этап – выполнение качественной фотореалистичной визуализации в каждом видовом окне и сохранение результатов в формате растрового файла.

6 этап – формирование ортогонального изображения тени объекта с помощью растровых изображений.

На первом этапе был построен трехмерный геометрический объект, показанный на рисунке 3, по ортогональным проекциям с помощью команды создания твердотельных объектов ЯЩИК и логической операции ОБЪЕДИНЕНИЕ.

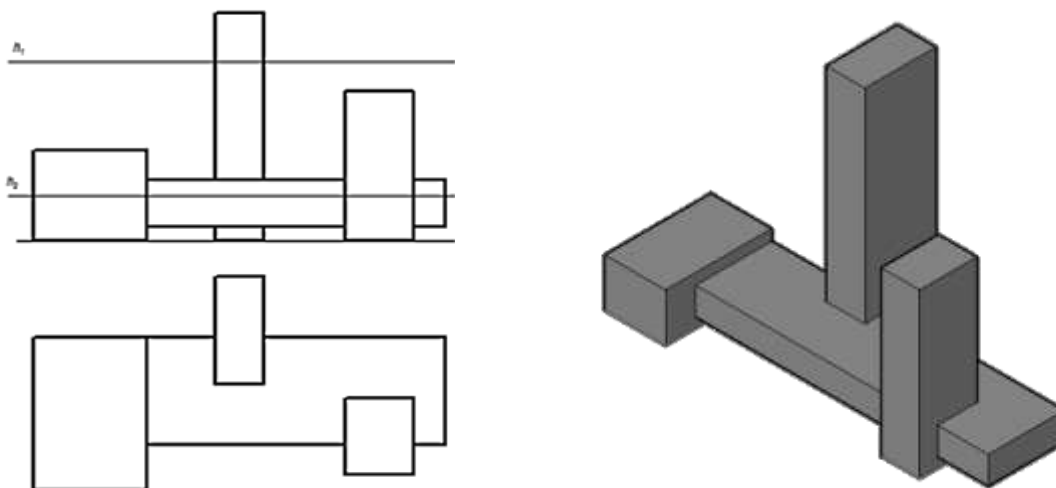


Рисунок 3. Построение трехмерного объекта по ортогональным проекциям

Второй этап направлен на визуализацию созданного трехмерного объекта. Этап визуализации объекта включает в себя действия по наложению на трехмерный объект материалов и текстур, расстановки источников света, настройки теневой карты. Процесс наложения материалов и текстур осуществляется с помощью команды МАТБРАУЗЕРОТКРЫТЬ, которая открывает библиотеку с материалами и позволяет настроить их физические свойства.

Выбираем источник освещения, который более равномерно освещает созданный трехмерный объект – удаленный. Для формирования светового луча удаленного источника, соответствующего направлению диагонали куба в соответствии с теорией построения теней в ортогональных проекциях, необходимо откорректировать вектор его направления. Для этого в свойствах удаленного источника света задаем вектор лучей координатами: начало –  $0,0,0$ ; конец  $1,1,-1$ .

Для отображения падающих теней от геометрического трехмерного объекта

необходимо создать пространственные плоскости, имитирующие плоскости проецирования  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ . На данных плоскостях при итоговой визуализации объекта получим полную картину теней. Для их отображения в реалистичном визуальном стиле у источника освещения необходимо настроить карту полных теней в реальном времени. Итоги второго и третьего этапов визуализации объекта показаны на рисунке 4.

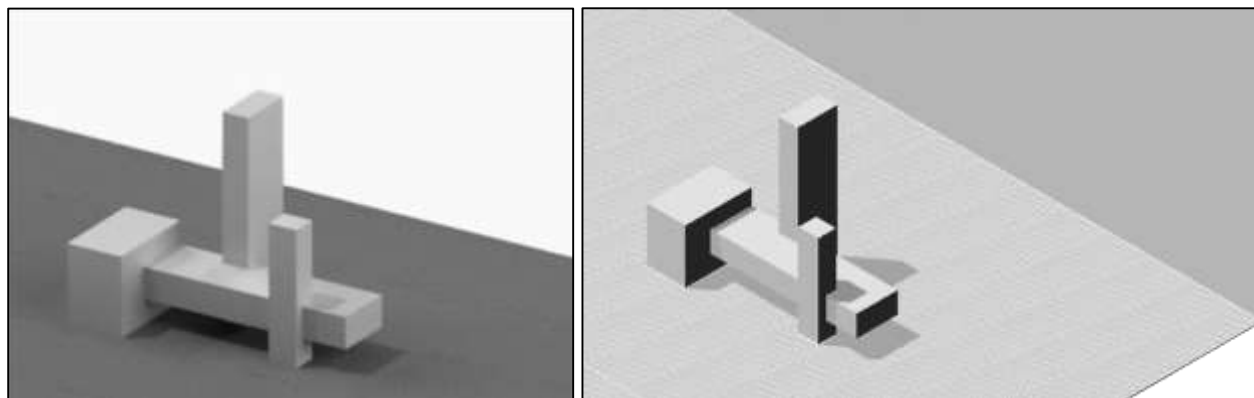


Рисунок 4. Варианты визуализации трехмерного объекта

Следующий этап – формирование видовых окон для ортогонального изображения трехмерного объекта, где будут визуализироваться тени объекта. Формируются видовые окна в пространстве Листа с помощью команды СВВД. В нашем примере были созданы два видовых окна, в одном из которых настроен вид объекта спереди, а в другом, в проекционной связи с первым окном – вид объекта сверху. Помимо сохранения проекционной связи видов объекта в видовых окнах, необходимо в каждом видовом окне установить одинаковый масштаб. Пример сформированных видовых окон в пространстве листа показан на рисунке 5.

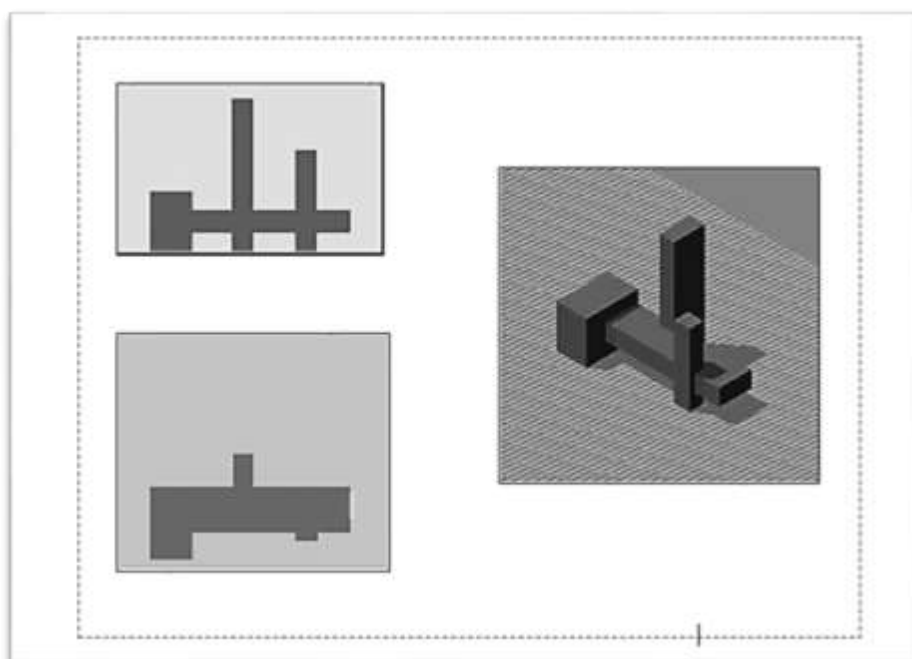


Рисунок 5. Формирование видовых окон и настройка ортогональных видов

При формировании изображений основных видов трехмерного объекта в видовых окнах нет отображения падающих теней (рисунок 5). Поскольку тень объекта является растровым изображением, созданным в векторном чертеже, то для просмотра отображения тени необходимо сформировать растровое изображение с помощью фотореалистичной визуализации плоского представления трехмерного объекта в каждом видовом окне. Для этого используется команда ТОНИРОВАТЬ.

Визуализацию следует проводить с наивысшим разрешением ( $1024 \times 768$ ) для получения наилучшего качества изображения. Результат визуализации в каждом видовом окне необходимо сохранить в формате растрового изображения, например jpeg. Пример фотореалистичной визуализации плоского представления трехмерного объекта с отображением падающих теней в растровом формате показан на рисунке 6.

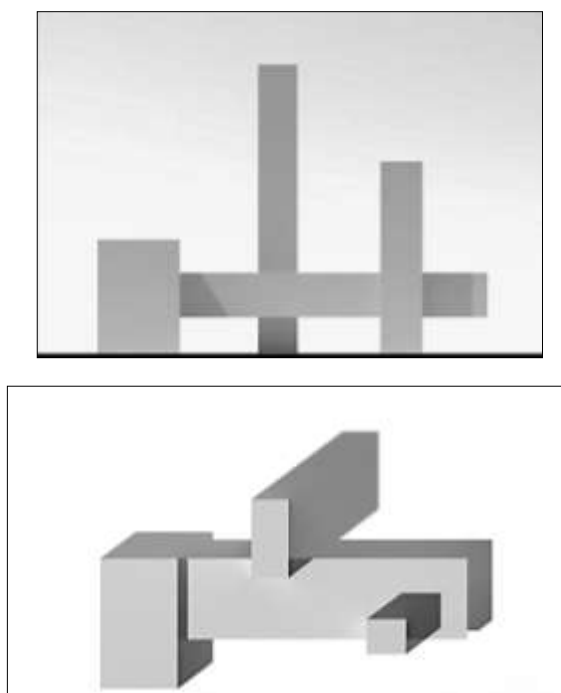


Рисунок 6. Пример фотореалистичной визуализации

На последнем этапе окончательно формируем ортогональное изображение теней объекта с помощью сохраненных растровых изображений в пространстве Листа. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- настраиваем лист на стандартный формат, например А3, используя Диспетчер параметров листов;
- вставляем готовый шаблон рамки формата и основную надпись;
- вставляем сохраненные при визуализации растровые изображение теней объекта на формат листа с помощью команды ИЗОБВСТАВИТЬ;
- заполняем основную надпись чертежа.

Итоговый вариант ортогонального изображения теней объекта, сформированного по трехмерному объекту, показан на рисунке 7.

Рассмотренный алгоритм построения ортогонального изображения объекта с тенями при помощи трехмерного моделирования позволяет решить поставленную задачу полностью в соответствии с теорией построения теней в ортогональных проекциях. Можно отметить, что рассмотренный алгоритм несложен, требует минимальных знаний по использованию команд построения и визуализации трехмерных объектов AutoCAD. При этом, все этапы построения не требуют больших временных затрат.

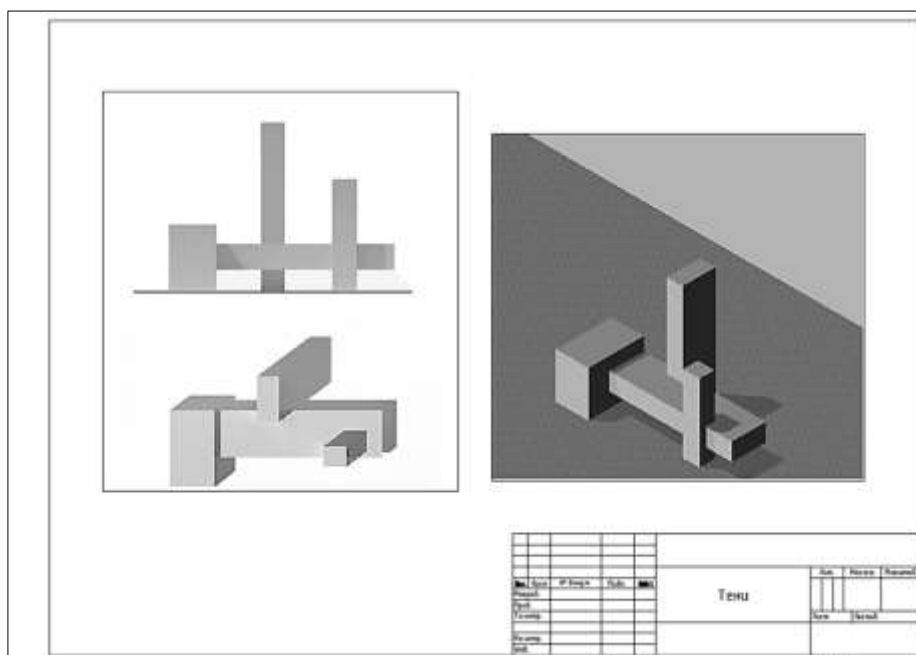


Рисунок 7. Формирование ортогонального изображения теней объекта

Следуя данному алгоритму можно строить тени более сложных трехмерных объектов в ортогональных проекциях (рисунок 8), проверяя правильность их построения традиционными методами.

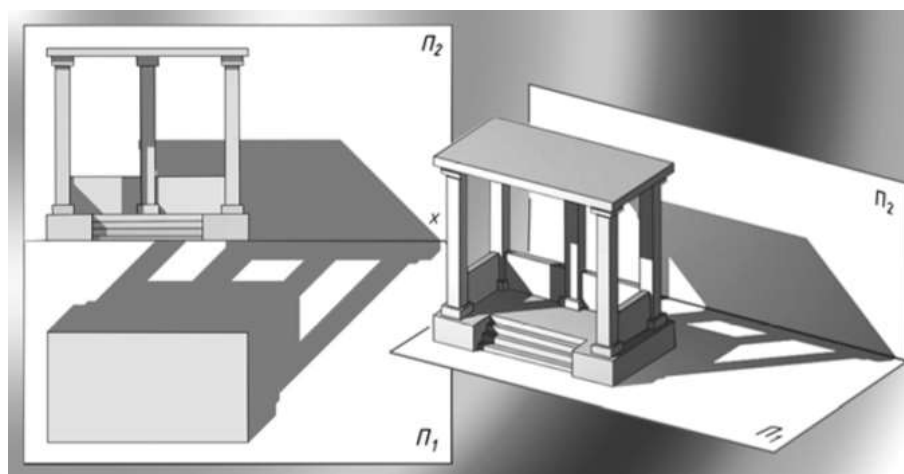


Рисунок 8. Компонировка ортогонального изображения теней объекта

Таким образом, трехмерная модель геометрического объекта дает представление о природе теней и позволяет проверить правильность их построений в ортогональных проекциях.

**Библиографический список:**

1. Летин А.С. Архитектурная графика: краткий курс лекций, ч.1 /А.С.Летин, Н.А.Комаров, О.С.Летина.– М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010, – 34 с.
2. Инженерная 3D-компьютерная графика: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева; под ред. А.Л. Хейфеца. – 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во Юрайт, 2015. – 602 с.

УДК 681.322:517.444

### Технология виртуальной реальности в промышленности

Казарин И.О., Поляков А.Д.

Научный руководитель - Серкова В.И.

*Ухтинский государственный университет г. Ухта*

До 80 процентов информации, человек усваивает визуально. Поэтому, чтобы при разработке месторождения нефти и газа результат был положительным необходимо использовать центры виртуального проектирования и макетирования. Погрузимся не на долго в историю создания виртуальной реальности.

В 1956 году американский изобретатель Мортон Хейлиг изобрел некую машину под названием «Сенсорам». Машина по форме напоминала медицинский аппарат по исследованию глазного дна, но на самом деле это был первый в мире 3D-дисплей. Машина была построена с целью изменить привычное всем в то время кино. Поэтому началом развития виртуальной реальности можно считать 50-е годы 20-го века. Позже в 1961 году компания Philco изобрела первую в мире стереоскопическую гарнитуру (головной дисплей). Шло активное развитие технологий, и вскоре, в 1984 году были изобретены очки виртуальной реальности – RB2. они сильно отличались от того, что было ранее, т.к. имели специальные контроллеры. С их помощью человек мог взаимодействовать с ЭВМ.

Виртуальная реальность — это технология, с помощью которой человек может войти в искусственный мир и действовать в нем с помощью специальных устройств, которые связывают его движения с аудиовизуальными эффектами. Это новое поколение человеко-машинного интерфейса. Оно используется при работе с трехмерной информацией. При этом основные ощущения (зрительные, слуховые, осязательные и моторные) пользователя заменяются их моделью, воссоздаваемые компьютером.



Рисунок 1. Виртуальная реальность.

Чтобы человеку было удобно работать в виртуальной реальности, был создан центр виртуального макетирования и прототипирования. Центр виртуального макетирования и прототипирования – это система визуализации с генератором изображения, со специальным ПО, системами коммутации, управления и звука, а также с устройствами интерактивного взаимодействия и обратной связи, составляющая комплексное решение.

Для погружения в виртуальную реальность используются различные технические приспособления. Они позволяют увидеть перед собой модель чего-либо, существующего пока только на бумаге. В качестве примера можно рассмотреть четыре типа систем виртуальной реальности от компании VE Groupe: VE HMD, VE CADWall, VE CAVE и VE Rapogama.

VE HMD — это полноценное решение на базе шлема виртуальной реальности, имеющее всё необходимое как для создания продукта, так и для его изменения. Как правило, компании используют данную систему для обучения персонала.



VE CADWall — данная проекционная стереоскопическая система виртуальной реальности оснащена одним широким экраном. Она способна обеспечить высокий уровень погружения и интерактивности для совместной работы группы различных экспертов из разных областей знаний (Рисунок 2).

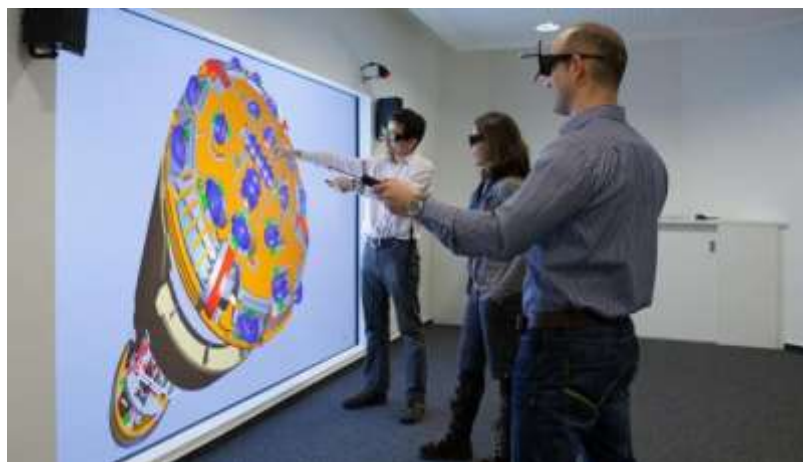


Рисунок 2 .VE CADWall

VE CAVE — комната виртуальной реальности — представляет собой многогранную (от трех до шести экранов) проекционную систему 3D-визуализации, которая даёт возможность, одновременно, нескольким пользователям, совместно работать со сложными 3D-моделями в масштабе 1:1, и обеспечивает максимальный эффект погружения (Рисунок 3).



Рисунок 3. VE CAVE

VE Panorama — панорамная система визуализации, имеющая цилиндрический экран (до 180 градусов) и разрешение в несколько миллионов пикселей. Всё это идеально подходит для конструкторской деятельности. Данная система, как и VE CADWall, обеспечивает экспертам неплохую реалистичность и достаточный уровень интерактивности. Также с помощью данной системы можно составить впечатляющие презентации (Рисунок 4).



Рисунок 4. VE Panorama

Как правило, центр виртуального прототипирования используется для принятия решений специалистами из разных областей знания в процессе коллективного обсуждения сложных изделий и технологий.

При помощи центра виртуального прототипирования можно не только создавать модель объекта, но и отрабатывать процессы его создания. Также система может дать данные о его эксплуатации и ремонте. В результате это дает возможность оптимизировать все технологические процессы, что в итоге существенно отразится на эффективности производства, а виртуальное моделирование эксплуатации и ремонта продукта позволяет отработать всевозможные виды поломок изделий и снизить вероятность их появления при эксплуатации. Но всё же основной целью применения центра виртуального макетирования и прототипирования является принятие серьезных решений главного конструктора сложного проекта при взаимодействии с собственными подразделениями. Кроме того, виртуальные прототипы помогают значительно ускорить процесс создания реальных макетов, поскольку большинство моментов отрабатывается на компьютерной модели.

#### **Задачи центра виртуального прототипирования.**

Компании используют технологии виртуальной реальности, чтобы проводить презентации для лиц не имеющих технических знаний для чтения «чертежей». Наглядное изображение объекта позволит им понять все тонкости и нюансы объекта. Однако главное предназначение центра виртуального прототипирования — обеспечить эффективное принятие решений главного конструктора при общении с подразделениями, на всех стадиях производства продукта для увеличения долговечности продукта и повышения качества производства.

#### **Предварительное проектирование.**

Виртуальное прототипирование изделия, процесса его производства, процесса эксплуатации (максимально реалистичная работа с цифровым макетом, отказ от физических макетов на ранней стадии разработки).

Анализ ремонтпригодности (сборки, разборки), виртуальный анализ эргономики в реальном времени (нет необходимости делать натурные макеты). Визуальные коммуникации с субподрядчиками, заказчиками и т. д., презентации для потенциальных заказчиков и клиентов.

#### **Планирование производства**

Максимально реалистичное представление данных. Быстрые симуляторы отработки процессов (симулятор сварки, заклепки, покраски и т. д.). Визуальные коммуникации по общей компоновке процесса производства. Быстрое прототипирование ручных операций и создание обучающих видеороликов.

### **Эксплуатация**

Повышение эксплуатационных характеристик за счет тестирования продукта в различных средах. Обучение сложным процессам эксплуатации (процедурные тренажеры). Обучающие видеоролики работы экспертов.

### **Заключение**

За последние годы, центры и лаборатории виртуального прототипирования широко используются в автомобилестроительных и авиакосмических компаниях мира, а также в тех, которые занимаются созданием сложных изделий, таких как корабли, электростанции, буровые платформы и т.д. Центры виртуального прототипирования различных видов есть у таких компаний как: NASA, Boeing, United Technologies Corporation, Lockheed Martin Corp., Airbus/EADS, Dassault Aviation, AVIC1 (Китай), AVIC2 (Китай), «Автоваз», Ford, AREVA и др. Из этого следует, что центры виртуального прототипирования отлично зарекомендовали себя. С их помощью:

- 1) снизился срок разработки изделия (от 15 до 30%);
- 2) снизилось количество ошибок при разработке как внутри фирмы, так и среди субподрядчиков;
- 3) повысилось качество изделия;
- 4) повысилось удовлетворенность клиента изделием т.к. он оказывается привлечен к его процессу компоновки;
- 5) снизились ремонтные и эксплуатационные издержки за счет проработки и прототипирования не только самого изделия, но и процессов его производства и последующей эксплуатации [2].

### **Библиографический список:**

- 1) История развития виртуальной реальности. Режим доступа: <https://trashbox.ru/topics/118301/istoriya-razvitiya-virtualnoj-realnosti>
- 2) Виртуальная реальность в промышленности. Режим доступа: [https://controlengrussia.com/perspektiva/virtual\\_reality/](https://controlengrussia.com/perspektiva/virtual_reality/)

УДК 004.946:130.2

### **Применение нечеткой логики для оценки риска нефтедобывающих предприятий.**

Лаврентьева А.В.

Научный руководитель – Смирнов Ю. Г.

*Ухтинский государственный технический университет*

Нефть и нефтепродукты – самый опасный загрязнитель.

Усинская катастрофа 1994 года на промысловом нефтепроводе Возей — Головные сооружения стала самым масштабным в мире разливом сырой нефти на суше. Это печальное достижение отмечено даже в Книге рекордов Гиннеса. Еще бы, ведь негативные последствия разлива нефти ощутила на себе не только Республика Коми, где разразилась катастрофа, но и Скандинавские страны, и даже США с Канадой. На землю по неофициальным данным попало от 100 до 120 тысяч тонн. Власти уверяют, что в два раза меньше.

Злостные нарушения компанией АО «Коминнефть» правил и превышения сроков эксплуатации нефтепровода, непринятие своевременных мер по вводу в эксплуатацию новых ниток нефтепровода взамен изношенных, отсутствие необходимого контроля за состоянием нефтепровода – все эти причины приводили к многолетним утечкам нефти еще до 1994 года, когда произошел самый крупный разлив нефти.

69-летний Валерий Попов коптит в небольшом сарае выловленную рыбу. Говорит, что сейчас поймать хорошую рыбу — редкость. Чаще попадается больная. Он винит в этом аварию 1994 года, после которой рыба стала пахнуть соляжкой, а скотина болеть.

Выделенный при однократном разгазировании глубинных проб нефти среднедевонской залежи растворенный газ характеризуется следующим содержанием компонентов: метан 50,1%, этан 15,2%, пропан 16,5%, бутан 9,5%, пентан 4,1%, гексан 1,5, азот + редкие 2,5%, углекислый газ 0,6%. Плотность газа составляет 1,229 г/см<sup>3</sup>.

Основные элементы нефти: углерод, водород, кислород, азот, сера.

### **Применение нечёткого моделирования**

Методы нечёткого моделирования активно используются в задачах принятия решений. Этими методами удобно пользоваться, когда «традиционные методы» приводят к неоправданно сложным затратам, в особенности, когда затруднено полное описание задачи. Учитывая многозначность влияния структуры на свойства металла, нечеткий анализ вполне может быть применён для оценки состояние и качества металла. Известно, например, что для выбора оптимальной стали при изготовлении многих изделий нужно знать твёрдость и ударную вязкость материала. С этой точки зрения, задачи оценки качества материала по совокупности механических свойств является типичной задачей для прикладного нечёткого анализа.

Во-первых, система безопасности предприятия является комплексной, состоящей из ряда элементов (научно технической, информационной, пожарной и др.) безопасностей. Однако основополагающей в этой системе является экономическая. В дальнейшем для удобства изложения термины: «безопасность предприятия», «экономическая безопасность предприятия», система обеспечения безопасности предприятия будут употребляться как синонимы.

Во-вторых, система безопасности предприятия не может быть шаблонной. Она уникальна на каждом предприятии, так как зависит, например, от региона, где находится предприятие, уровня технической оснащённости, квалификации кадров, производственных связей предприятия, конкурентной среды и др.

В-третьих, создание системы безопасности предприятия и организация её успешного функционирования должны опираться на методологические основы научной теории безопасности и теории социального управления, поскольку система безопасности является элементом системы управления предприятием.

Целью системы безопасности предприятий нефтегазовой отрасли является достижение состояния защищённости, т. е. обеспечение стабильности и бесперебойной работы объектов добычи, транспортировки, переработки, реализации, имеющих стратегическое значение товаров и производственных задач, оказывающих существенное влияние на экономическую безопасность страны. Добиться этого можно на основе решения целого комплекса задач. К наиболее значимым из них относятся:

- выявление реальных и прогнозирование потенциальных опасностей и угроз;
- нахождение средств и способов их предотвращения, минимизации или ликвидации последствий их воздействия;
- организация взаимодействия с правоохранительными органами, иными учреждениями и организациями в целях предупреждения и пресечения правонарушений, направленных против интересов и целей предприятия;
- создание собственной, соответствующей опасностям и угрозам службы безопасности предприятия и др.

Компания, из-за которой произошла данная катастрофа (опять же по тем данным, что нам даны) пренебрегла мерами безопасности.

### **Факторы риска**

Как показала практика управления, игнорирование риска нефтедобывающими компаниями в современных условиях недопустимо и бессмысленно в силу его субъективно-объективной природы. Последняя объясняется тем, что риску одновременно присущи проявления процессов субъективного характера, таких как постоянно возникающая

альтернативность выбора и дифференцированное отношение к его существованию, оценке и проявлениям.

Объективность же выражается вероятностной сущностью условий функционирования, в которые вступает субъект, приводящей к тому, что в сходных условиях любое событие сопровождается элементом случайности. Это не дает возможности руководству нефтедобывающих предприятий полностью предвидеть результаты [4].

Все тенденции указывают на необходимость постоянного мониторинга и оценки риска нефтедобывающими предприятиями. Однако процесс оценки риска, как и сам риск, предопределен субъективно-объективным началом и не исключает вероятности появления непредвиденных факторов и расхожих мнений. Для устранения данных противоречий автор предлагает уйти от широко используемых количественных методов оценки риска к методике нечеткой логики [5].

### **Нечеткая оценочная функция**

Для оценки риска предприятий нефтедобывающей промышленности автор вводит нечеткую оценочную функцию ( $V$ ), задаваемую по критериям:

- нечеткая оценка уровня информированности предприятия нефтедобывающей промышленности ( $U_{инф}$ );
- нечеткая оценка уровня безопасности предприятия нефтедобывающей промышленности ( $U_{б/о}$ );
- нечеткая оценка уровня прибыли предприятия нефтедобывающей промышленности ( $U_{пр}$ )

Такая функция будет иметь вид:

$$V = f(U_{пр}, U_{инф}, U_{б/о}),$$

где  $V$  – функция оценки риска предприятий нефтедобывающей промышленности;

$U_{б/о}$  – нечеткая оценка уровня безопасности (зависимость вероятности ущерба от эффективности предупредительных мероприятий по операционной, финансовой, инвестиционной видам деятельности предприятия нефтедобывающей промышленности).

Предлагаемая оценочная функция применяется для принятия управленческих решений в условиях неопределенности и неточности эмпирической базы. Она позволит оценить риск с учетом специфики функционирования предприятий нефтедобывающей промышленности и исключит двойной учет фактора риска.

Автор полагает, что нечеткая оценка уровня информированности определяется как потенциальная возможность нефтедобывающих компаний своевременно осуществлять сбор, обработку и анализ информации, необходимой для принятия решений в процессе ведения операционной, финансовой и инвестиционной деятельности.

В свою очередь, нечеткая оценка уровня безопасности предприятий нефтедобывающей промышленности интерпретируется как потенциальная способность компаний своевременно противостоять скрытым опасностям, сохраняя стабильность функционирования. При этом операционная, финансовая и инвестиционная деятельность осуществляются в соответствии с поставленными целями и интересами собственников, руководителей и клиентов [1].

Нечеткая оценка уровня прибыли предприятий нефтедобывающей промышленности отождествляется с потенциальной возможностью получения желаемого результата от операционной, финансовой и инвестиционной деятельности

### **Нечеткая область оценки риска**

Разработанная оценочная функция предусматривает наличие нечеткой области оценки риска применительно к предприятиям нефтедобывающей промышленности. Границы ее меняются в зависимости от поведения критериев, заданных на разных уровнях функционирования компаний (рис. 1).

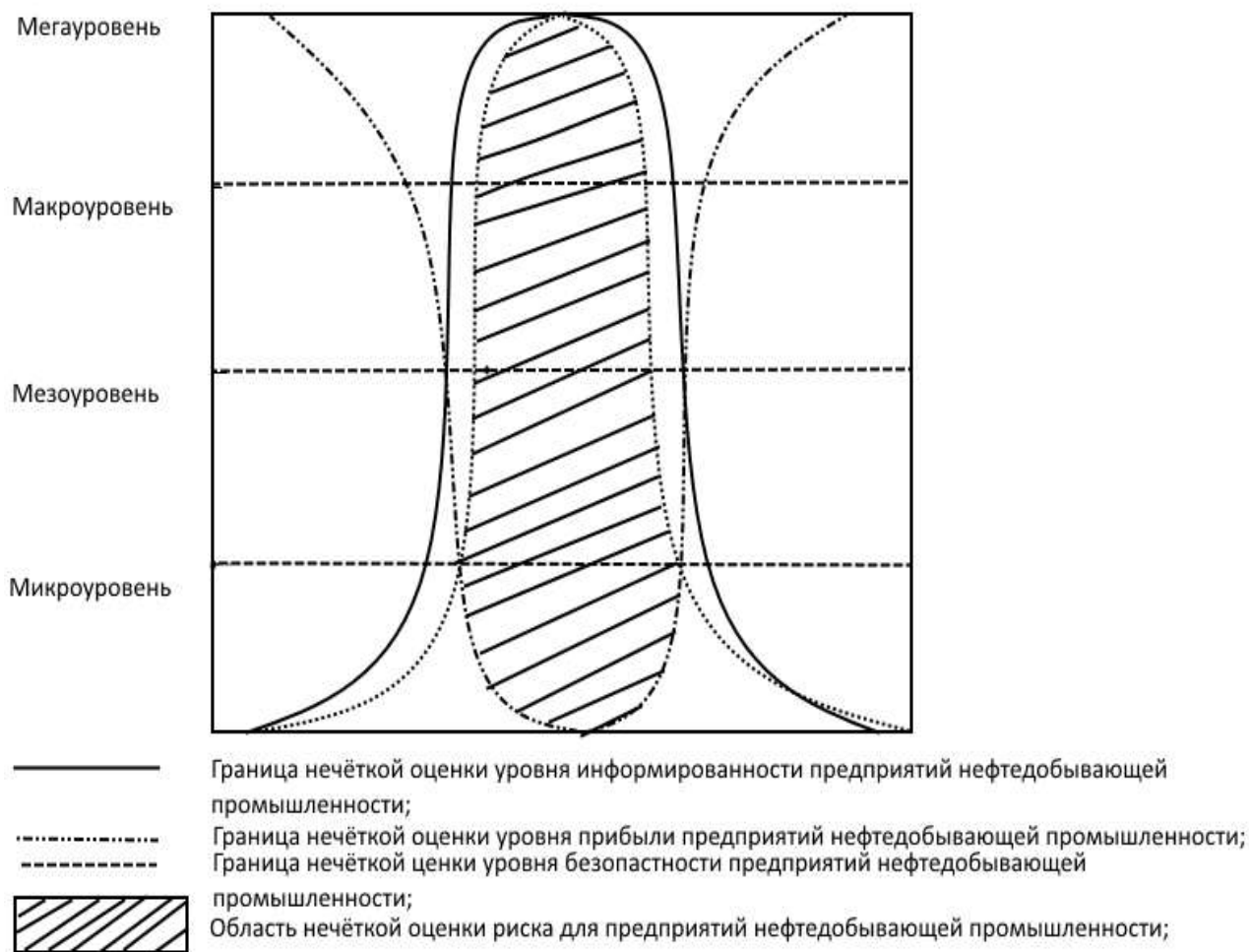


Рис. 1. Область нечеткой оценки риска для предприятий нефтедобывающей промышленности.

Согласно модели нечеткой области, оценки риска поведение критериев закономерно, но при этом допускаются отклонения. По мере перехода с низкого уровня принятия решений на более высокий, нечеткая оценка уровня информированности снижается в силу прогрессивного роста объема информации в среде функционирования, сокращения ее доступности и достоверности.

Специфика поведения данного критерия для предприятий нефтедобывающей промышленности заключается в характере изменения. Так как отрасль является стратегически важной для российской экономики и для мирового хозяйства в целом, то информированность снижается медленнее, чем в других сферах деятельности. Это связано с относительной открытостью нефтедобывающей промышленности на всех уровнях и пристальным вниманием к ней государства и контактных аудиторий.

В свою очередь, поведение нечеткой оценки информированности влияет на способность быстро реагировать и своевременно вырабатывать адекватный арсенал средств, повышающих безопасность компаний и отечественной экономики в целом.

В результате нечеткая оценка уровня безопасности нефтедобывающих предприятий снижается аналогично меньшими темпами и зависит от эффективности предупредительных мероприятий по операционной, финансовой и инвестиционной видам деятельности.

**Библиографический список:**

1. Коновалова Е.А. Нечеткая оценка рисков предприятий нефтедобывающей промышленности // Российское предпринимательство. – 2009. – Том 10. – № 1. – С. 118-123. URL: <https://creativeconomy.ru/lib/3496>.
2. Технологии работ с нефтяными отходами. URL: <http://www.oilspill.ru/tehnologii-rabot-s-neftyanyimi-othodami>.
3. Перминов О.Г., Глущенко Н.В. О системе экономической безопасности предприятий нефтегазовой отрасли. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-sisteme-ekonomicheskoy-bezopasnosti-predpriyatij-neftegazovoy-otrasli>

УДК 004.94

**Параметрическое моделирование в среде AutoCAD**

Льбуров В. В.

Научный руководитель – Дейнега С.А.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

К основополагающим принципам проектирования относят геометрическое моделирование, 3D-моделирование с автоматическим созданием чертежей и проектной документации, а также параметрическое моделирование.

Параметрическое моделирование позволяет оптимизировать процесс проектирования за счет создания модели объекта с параметрами и геометрическими соотношениями, при изменении которых происходят трансформации в моделируемом объекте.

В графической среде AutoCAD параметрические модели могут быть созданы с помощью динамических блоков, являющихся инструментом создания пользовательских баз данных.

В общем случае, блок состоит из набора отдельных элементов (любые графические примитивы и текст, называемый атрибутом), объединенных в один именованный объект и хранящийся в файле чертежа как текстовое описание. При вставке блока на экран выводится изображение, сформированное по его текстовому описанию. К преимуществам применения блоков, содержащих большое количество примитивов, относят:

- сокращение объемов файлов;
- быстрое формирование чертежа;
- моментальное редактирование всех вставок блока.

В среде AutoCAD есть возможность создания простых и динамических блоков. Динамический блок – объект пакета AutoCAD, хранящийся в dwg-файле, содержащий набор данных графических элементов, образующих изображение, и позволяющий при сохранении геометрических взаимосвязей элементов управлять размерами изображения [2].

В отличие от простых, динамические блоки содержат параметры, позволяющие управлять их геометрией при вставке. Например, можно управлять размерами изображений по фиксированным или произвольным значениям.

Таким образом, с помощью динамических блоков можно создать различные изображения, отличающиеся размерами, путем создания базовой геометрической модели с добавлением к ней соответствующих параметров и операций. Именно добавление параметров определяет параметрические свойства в блоке, а операции задают динамику параметров блока. Кроме этого, можно присвоить размерам фиксированные значения, задать набор оптимальных значений параметров в виде таблиц, управлять видимостью элементов.

В процессе проектирования элементов архитектурно-строительного чертежа (планов, разрезов, фасадов) наиболее трудоемким процессом является моделирование оконных проемов с четвертью, размеры которых варьируются в зависимости от их типоразмера, от толщины несущих конструкций и т.п. Оконные проёмы являются многократно повторяющимися изображениями, которые целесообразно использовать уже в виде готовых



блоков для быстрого формирования чертежей планов, разрезов и фасадов зданий.

Условные изображения оконных проемов на чертеже вычерчивают в соответствии с требованиями ГОСТ 21.501–2011 [1], согласно которому визуальное представление оконных проемов одинаково, но по размерам они разные (рисунок 1). Поэтому важным шагом при их проектировании является настройка их размерных параметров. В этом случае целесообразным является создание динамического блока с настройкой нужных значений меняющихся размерных параметров оконного проема и их выбор при вставке динамического блока в формируемый чертеж. Также необходимо учесть, что размеры четвертей оконных проемов являются постоянными и не зависят от изменяющихся размерных параметров оконных проемов.

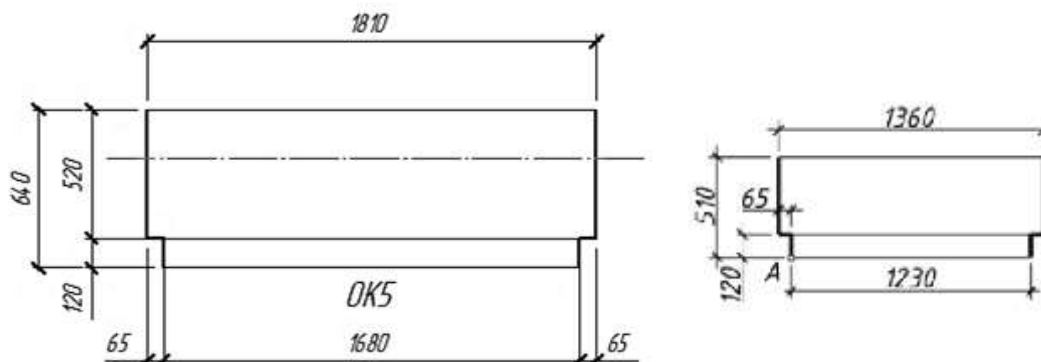


Рис. 1. Оконные проемы с четвертью в наружной капитальной стене

В соответствии с общим алгоритмом создания любого динамического блока выделяют основные этапы:

- 1) вычерчивается геометрия блока;
- 2) создается базовый блок;
- 3) в описание базового блока включаются геометрические зависимости и размерные параметры;
- 4) в свойствах каждого размерного параметра задается набор значений, например, значения длины, толщины и т.п.;
- 5) создается таблица параметров, в которой приводятся наборы значений параметров, например, сочетания длины, толщины и всех остальных параметров при необходимости;
- 6) задаются состояние видимости элементов, например, с размерами и без них.

Для изучения вопроса параметрического моделирования оконных проемов с четвертью был разработан алгоритм создания соответствующего динамического блока, применяемого на плане здания.

Для создания динамического блока оконного проема, прежде всего, необходимо было *вычертить геометрию блока* по конкретным размерам. На рисунке 2 показан подготовленный чертеж оконного проема с четвертью в масштабе 1:10, состоящий из набора отрезков с разным весом линий.

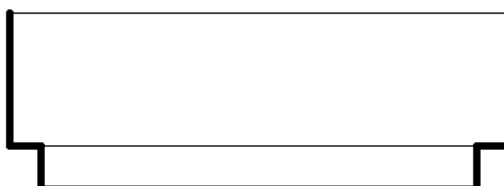


Рис. 2. Чертеж оконного проема с четвертью в масштабе 1:10



Полученный *чертеж преобразуется в обычный блок* с помощью команды БЛОК. Обычный блок можно использовать в текущем файле чертежа неограниченное количество раз. Но изменить его размеры при необходимости возможно с помощью соответствующих команд редактирования. В этом случае целесообразно создать динамический блок, позволяющий изменять размеры геометрии блока при его вставке в чертеж. Для преобразования обычного блока в динамический необходимо использовать Редактор блоков, окно входа которого с выбором нужного блока из списка показано на рисунке 3.

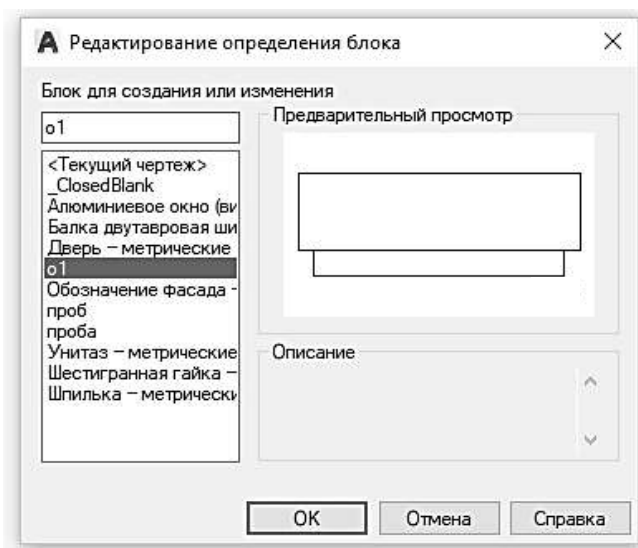


Рис. 3. Переход в Редактор блоков для создания динамического блока

В рабочем окне редактора блоков для предотвращения изменений геометрии *накладываем на блок все возможные геометрические зависимости*, используя *Автоналожение зависимостей* раздела *Геометрические* на *Ленте* Редактора блоков. Пример наложения зависимостей на геометрию блока оконного проема показан на рисунке 4.

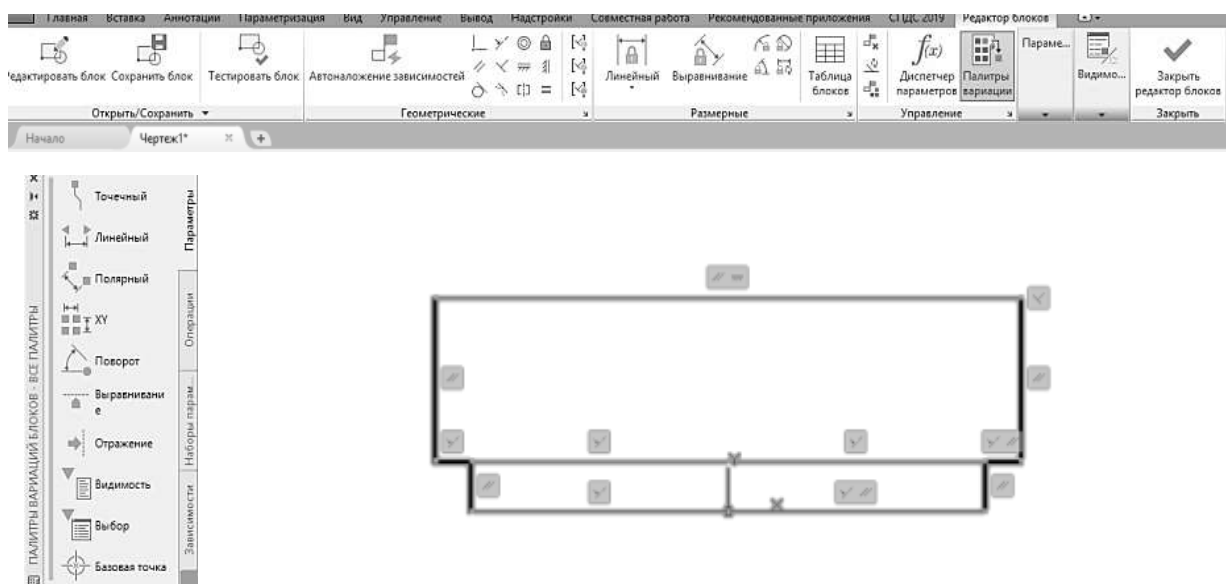


Рис. 4. Наложение автоматических зависимостей на геометрию блока в окне Редактора блоков

Следующий шаг – *указание базовой точки*, относительно которой будут выполняться все операции блока. На рисунке 5 видно, что базовая точка зафиксирована в левом нижнем углу блока оконного проема.

Для выполнения геометрических операций устанавливаем те размерные параметры, которые требуется изменять. При вставке динамического блока оконного проема на план здания необходимо иметь возможность изменять его основные размеры: длину оконного проема ( $d1$ ), толщину несущей стены (расстояние 1) с учетом четверти, размеры которой должны быть неизменны ( $d4$ ). Также необходимо учесть то, что фиксированным остается размер четверти оконного проема по длине с обеих сторон ( $d2$  и  $d3$ ).

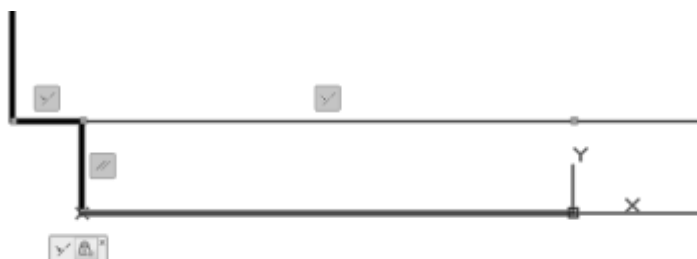


Рис. 5. Задание фиксированной базовой точки для выполнения операций

После наложения размерных параметров на геометрию блока оконного проема, необходимо *связывать их с нужными операциями*. При создании чертежа блок необходимо будет растягивать по горизонтали и вертикали, а также отражать его в различные стороны – влево, вправо, вверх и вниз. Для этого операцию *Растянуть* связываем с *Линейным параметром*, операцию *Отражение* связываем с параметром *Отражение*. Весь набор размерных параметров и связанных с ними операций показан на рисунке 6.

Все стандартные размерности можно *связать с операцией через Таблицу свойств блока*.

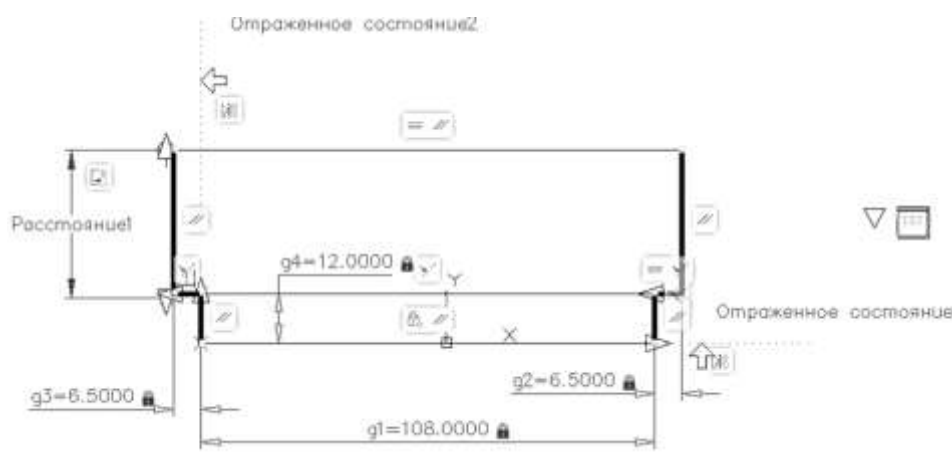


Рис. 6. Наложение фиксированных и изменяемых параметров размерностей для изменения длины, толщины стены и зеркального отражения оконного проема

В нашем случае целесообразно прописать в Таблице свойств блока стандартные длины оконных проемов ( $d1$ ), которые можно менять, и связать с ними фиксированные размеры оконного проема ( $d2$ ,  $d3$ ,  $d4$ ), которые не должны изменяться при выполнении операций блока. Пример заполнения Таблицы свойств блока показан на рисунке 7.



Рис. 7. Создание и заполнение Таблицы свойств блока

Созданный динамический блок позволяет произвести изменение размеров по вертикали и горизонтали с выбором стандартных размеров или произвольных (рисунок 8).

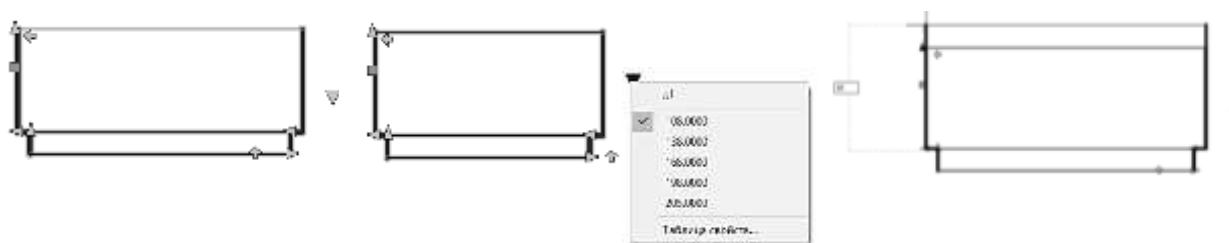


Рис. 8. Изменение размеров динамического блока

После выбора нужных размеров динамического блока оконного проема при вставке можно выбрать его ориентацию на плане чертежа (рисунок 9.)

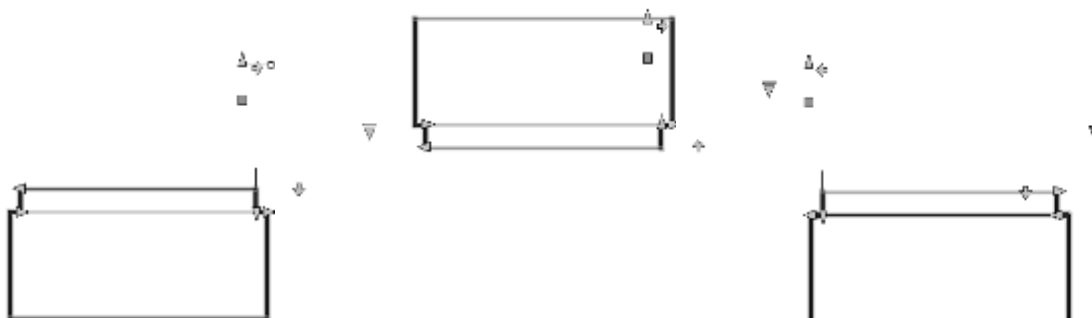


Рис. 9. Изменение ориентации динамического блока

Процесс моделирования оконного проема динамического блока и дальнейшее его использование позволил сделать следующие выводы:

- динамические блоки AutoCAD позволяют моделировать функциональные параметрические модели;
- динамические блоки можно хранить в отдельном файле и включать в различные проекты;
- динамические блоки являются графической базой данных, используемой для

проектирования и моделирования;

– использование параметрических динамических блоков позволяет эффективно организовать процесс моделирования в графической системе AutoCAD.

**Библиографический список:**

1.ГОСТ 21.501–2011 СПДС. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений. – М.: Стандартинформ, 2012.

2. Инженерная 3D-компьютерная графика: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева; под ред. А.Л. Хейфеца. – 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во Юрайт, 2015. – 602 с.

УДК 004.42

**Решение прикладных графических задач с помощью LISP-приложений**

Мухаметов О. М.

Научный руководитель – Дейнега С.А.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

В своей профессиональной деятельности современный инженер должен использовать современные САПР с наибольшей эффективностью для оптимизации своей работы. В связи с этим вопросы, связанные с оптимальным решением прикладных графических задач, сегодня являются наиболее актуальными. В процессе проектирования зданий и сооружений обычно используются специализированные приложения типа СПДС Graphics, позволяющие упростить выполнение рутинных операций графических построений. Но некоторые элементы, часто встречающихся построений, не представлены в специализированных приложениях. Поэтому существует необходимость в их создании.

Упростить создание графических примитивов и автоматизировать выполнение определенных операций над ними возможно с помощью программирования. В системах автоматизированного проектирования имеется такая возможность. Отметим, что в AutoCAD доступ к языкам программирования осуществляется через технологию ActiveXAutomation. С помощью данной технологии можно создавать приложения на языках, поддерживающие ее интерфейс (AutoCAD VBA, Java, C++, MS Word VBA, Visual Basic, Delphi, Excel VBA и некоторые другие).

Кроме этого, в AutoCAD есть возможность использования встроенного в него графического языка AutoLisp, ориентированного на обработку графических примитивов и наборов из них, представленных в виде списков. Такие списки записываются в файл, который имеет расширение \*.lsp и открывается стандартным способом. Данные файлы называются LISP-приложениями, которые содержат текст с подсказками, а также определенный код для выполнения команды. При этом, любая функция AutoLISPа может быть вызвана и использована непосредственно из графического редактора AutoCAD.

Цель нашей работы направлена на определение возможности решения прикладных графических задач с помощью LISP приложения. Для этого необходимо было выяснить, что собой представляет LISP-приложение, как его создать и как им пользоваться, насколько сложен процесс его создания и отладки.

Изучение литературы по данному вопросу позволило определить общий алгоритм создания приложения AutoLISP. Все LISP-программы представляют собой файл с текстовым кодом *AutoLISP*. Данный файл можно создавать в простом текстовом редакторе, например в Блокноте, или в интегрированной среде разработки приложений Visual LISP, непосредственно в AutoCAD. Среда разработки Visual LISP предназначена как для создания кода, так и для его отладки и тестирования LISP-программы. Общий алгоритм создания можно описать в следующем порядке:

- запуск среды Visual LISP;

- создание процедуры;
- редактирование и запуск процедуры;
- загрузка файла AutoLISP.

Запуск среды Visual LISP осуществляется с помощью команды Vlide или VLISP. При запуске в рабочей области Visual LISP размещены три окна, как показано на рисунке 1:

- файл AutoLisp с расширением \*.lsp;
- консоль Visual LISP Console;
- отладчик Trace.

В общем виде структура программы, написанной на языке AutoLisp, характеризуется следующими компонентами:

- каждая программа содержит одну или несколько функций AutoLisp;
- любая функция начинается с открывающейся скобки, после которой следует имя функции;
- аргументы функции следуют после имени функции;
- компоненты внутри скобок разделяют пробелами и кавычками;
- функция заканчивается закрывающейся скобкой;
- количество открывающих и закрывающих скобок должно быть одинаковым.

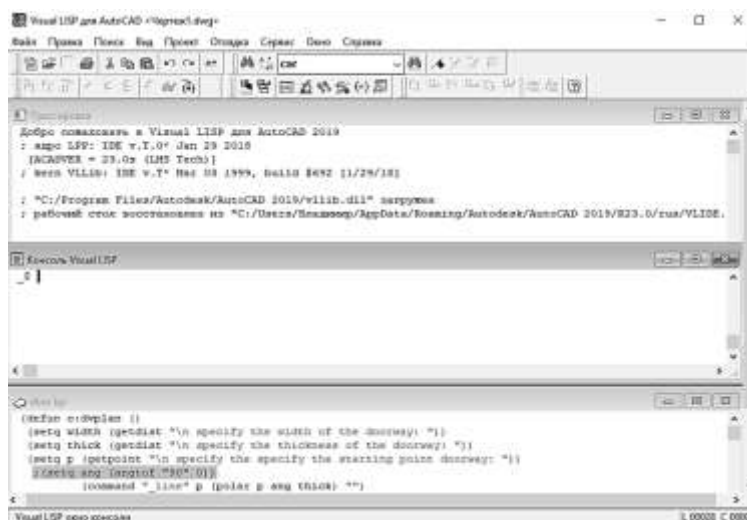


Рисунок 1. Окно среды Visual LISP

Приведем пример LISP-программы, которая описывает графическую операцию построения окружности определенного радиуса:

```

;;; Создание окружности радиусом 50 мм
(defun c:circle50 (/ pt)
  (setq pt (getpoint "\n Укажите центр окружности: "))
  (command "_circle" pt "50")
)

```

Весь текст разбивается на строки для наглядности. Любой текст после точки с запятой считается комментарием. Слова в кавычках "....." интерпретатором не обрабатываются.

Первая строка начинается со слова *defun* (DEfine FUNction), которое является определением функции. После определения функции записывается ее имя – *c:circle50*. Запись имени процедуры с префиксом *c:* позволяет вызывать ее как простую команду с набором в командной строке как *circle50*.

Чтобы использовать в текущем чертеже AutoCAD данную процедуру *AutoLISP*, необходимо ее загрузить в среде *AutoLISP* или в пространстве AutoCAD, набрав в командной строке *load "circle50"*. Далее следует запустить загруженную процедуру на выполнение набором в командной строке (*circle50*).

Выражение (/pt) в первой строке является локальной переменной, так как перед

именем переменной стоит слеш (прямая косая черта). Значение локальной переменной используется только в данной процедуре. Если записать переменную без слеша – (pt), то она будет *глобальной* и будет доступна в других процедурах. Если переменных несколько, то они перечисляются через пробел. Если переменные не задаются, то круглые скобки оставляют пустыми.

Во второй строке оператор *setq* присваивает переменной *pt* значение, которое определено функцией *getpoint*. Функция *getpoint* позволяет получить координаты точки, заданной пользователем путем набора числа в командной строке, либо щелчком в каком-либо месте экрана, либо с помощью объектной привязки.

В третьей строке процедуры выражение *command "\_circle" pt "50"* запускает на выполнение команду AutoCAD, заключенную в кавычки. В нашем случае это команда построения окружности – *circle*. Нижнее подчеркивание перед командой на английском языке указывается только в национальных версиях.

При выполнении этой команды вначале запрашиваются координаты точки центра окружности, значение которой определено значением переменной *pt*. Для значения радиуса окружности установлено значение 50.

Описанная LISP-программа позволяет строить окружности только определенного радиуса, но нередко возникает необходимость построения примитивов с изменяющимися параметрами.

Приведем пример LISP-программы, выполняющей построение отрезка заданной длины на указанный угол и с указанной пользователем точки.

```
(defun c:L1 ()
  (setq p (getpoint "\n 1 point: "))
  (setq len (getdist "\n length: "))
  (setq ang (getangle "\n angle: "))
  (command "_line" p (polar p ang len) ""))
)
```

Таких небольших процедур для Автокада написано достаточно много, т.к. LISP-программы могут быть полезны на различных этапах выполнения проекта.

С учетом специфики выполняемых курсовых работ и проектов изучаемых дисциплин направления Строительство нами был сделан обзор тех графических операций, выполнение которых часто приходится повторять и их проектирование занимает очень много времени. К этим графическим операциям можно отнести элементы оконных и дверных проемов, параметры которых изменяются, но форма при этом остается неизменной. Очевидно, что процесс построения данных элементов должен быть автоматизирован для более эффективной работы над проектом. С этой целью, мы разработали LISP-приложение на операцию построения дверных проемов на плане этажей зданий (рисунок 2) архитектурно-строительного чертежа.

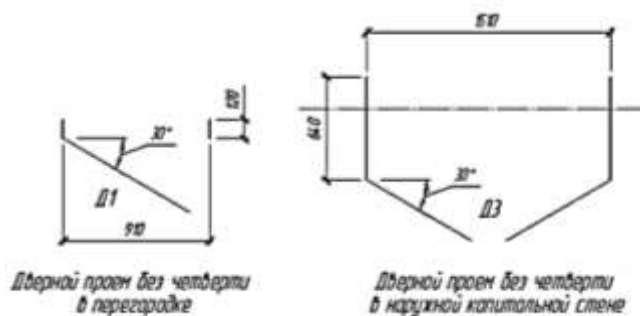


Рисунок 2. Пример изображения дверного проема на плане этажа здания

Создание любого LISP-приложения начинается с постановки задачи, в которой

устанавливаются основные параметры автоматизации. При построении дверных проемов необходимо учесть *толщину несущей стены* или перегородки, *ширину дверного проема* и *направление открытия* дверного полотна (рисунок 3). Эти элементы будут определять переменные соответствующих процедур LISP-программы.

Для написания LISP-программы обозначим имена переменных (рисунок 4):

- *width* (ширина дверного полотна);
- *thick* (толщина дверного полотна);
- *p* (точка начала построения дверного проема);
- *ugol* (значение угла открытия дверного полотна).

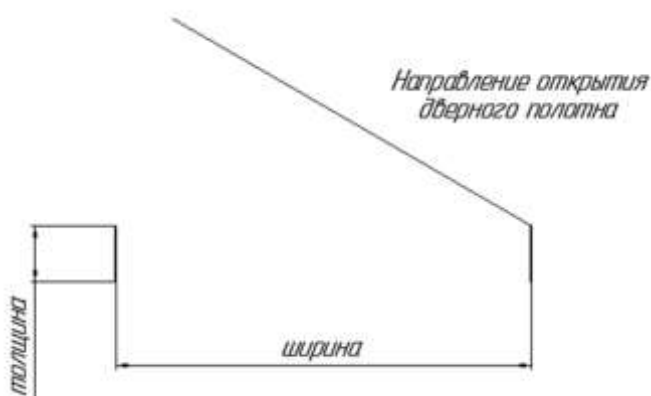


Рисунок 3. Задание переменных для LISP-приложения

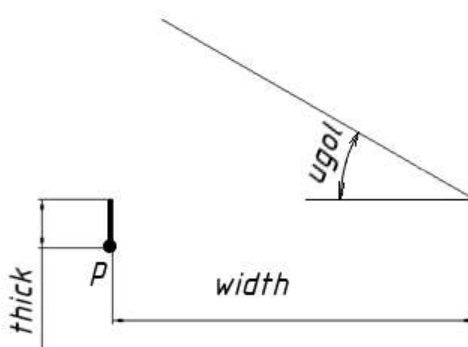


Рисунок 4. Имена переменных

Приведем листинг LISP-приложения построения дверных проемов на плане с пояснениями.

```

;;;построение дверного проема на плане
(defun c:dvplan ()
    ;;определение и задание имени функции
    (setq width (getdist "\n specify the width of the doorway: "))
    ;;запрос на указание переменной «ширина»
    (setq thick (getdist "\n specify the thickness of the doorway: "))
    ;;запрос на указание переменной «толщина»
    (setq p (getpoint "\n specify the starting point doorway: "))
    ;;запрос на указание точки начала построения дверного проема на плане
    (command "_line" p (polar p ang thick) "")
    ;;построение первой линии дверного проема
    (setq nam (entlast))

```

```

;; извлечение имени последнего нарисованного примитива
(command "_copy" nam "" p (polar p 0 width))
;;геометрическое копирование первой линии дверного проема
(setq pdoorway (getpoint "\n specify the point of construction of the door leaf: "))
;;запрос на указание точки построения дверного полотна
(setq ugol (getangle "\n specify angle polar axis X: "))
;;запрос на указание угла дверного полотна относительно оси x
(setq p1 (polar pdoorway ugol width))
;;присвоение значения координаты второй точке, определяющей линию дверного
полотна
(command "_line" pdoorway p1 "")
;;геометрическое построение линии дверного полотна на заданный угол и ширину
дверного проема
)
;;завершение функции

```

После запуска данной программы (dvplan) в AutoCAD начинается процесс автоматического построения дверного проема, происходящего в диалоге с пользователем (рисунок 5) .

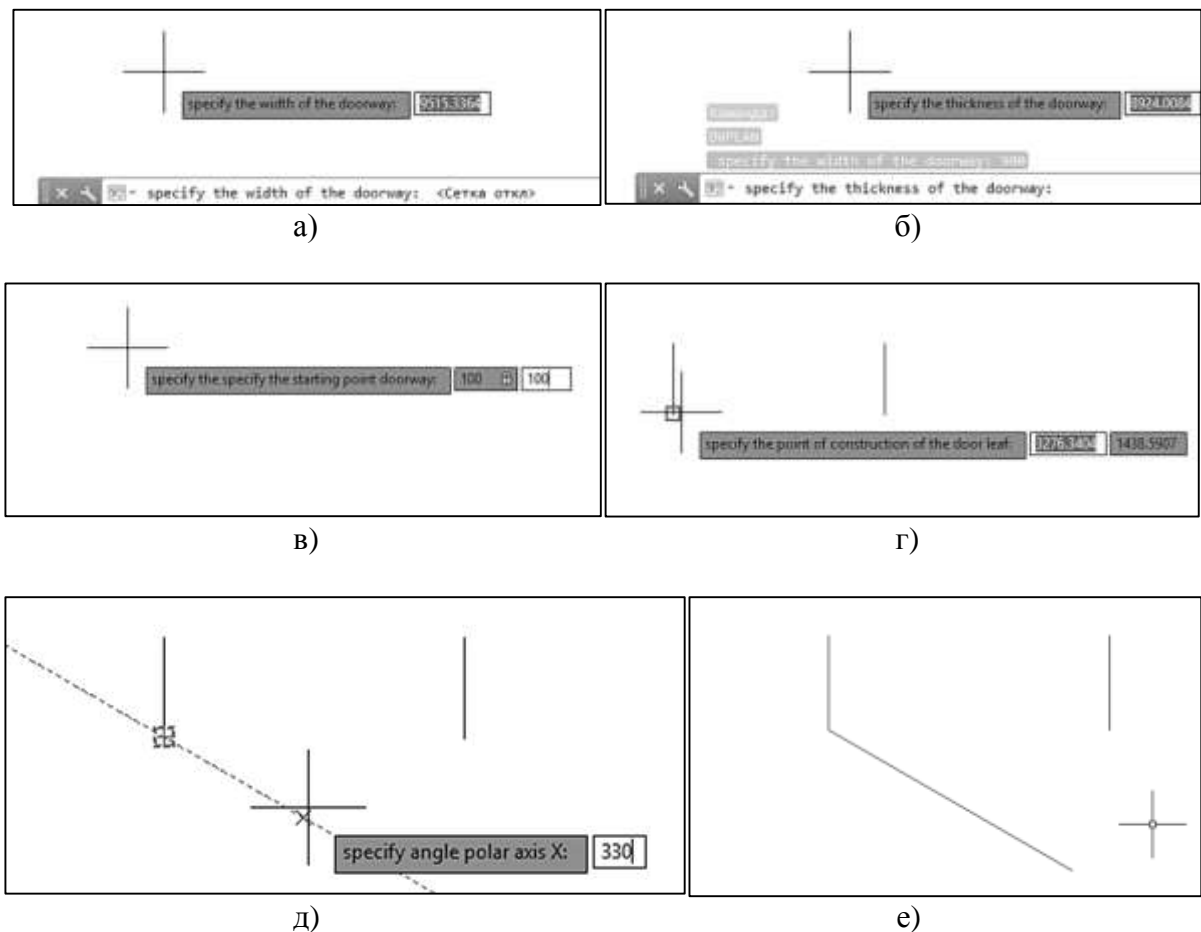


Рисунок 5. Процесс выполнения LISP-программы: а) указание ширины дверного проема; б) указание толщины дверного проема; в) указание точки начала построения дверного проема; г) указание точки начала построения дверного полотна; д) указание угла поворота дверного полотна; е) итог построения

Данную программу построения дверных полотен можно использовать в любом графическом файле AutoCad, в любой его версии. Это дает возможность автоматизировать



процесс геометрического построения и сократить временные затраты на проектирование в целом.

Графические возможности системы AutoCAD позволяют использовать ее как инструмент для технических специалистов разных направлений. Структура системы дает возможность дополнять стандартные средства AutoCAD собственными наработками при помощи языка AutoLisp – основного языка программирования в среде AutoCAD. Целесообразно автоматизировать процесс геометрических построений для типовых элементов для более быстрого получения чертежей. Таким образом, использование LISP-приложений для решения прикладных графических задач имеет существенные преимущества по сравнению с традиционным геометрическим построением.

***Библиографический список:***

1. Полешук Н.Н. Самоучитель AutoCAD2000 и VisualLisp. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 672 с. : ил.
2. Инженерная 3D-компьютерная графика: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева; под ред. А.Л. Хейфеца. – 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во Юрайт, 2015. – 602 с.

УДК 681.322:517.444

**Проектирование и разработка автоматизированной информационной системы учета клиентов организации**

Панюков В.М.

Научный руководитель – Серкова В. И.

*Ухтинский государственный технический университет, Ухта*

В настоящее время в сфере аренды недвижимости неуклонно нарастает конкуренция.

Связано это, как правило, с увеличением численности организаций, занимающихся арендой недвижимости, с более профессиональной рекламой и маркетинговой деятельностью. Не обошла волна конкуренции и организацию ООО «Аренда».

Чтобы одержать победу в этой конкурентной борьбе, организация должна вывести на новый уровень отношения с клиентами. А для этого, способы, с помощью которых учитываются клиенты организации, должны быть максимально удобными для сотрудников, это позволит увеличить клиентскую базу, а, следовательно, и доход организации.

В век информационных технологий с данной проблемой прекрасно справится автоматизированная информационная система учета клиентов предприятия, которая будет учитывать все потребности и аспекты организации ООО «Аренда», ведь она будет спроектирована и разработана исключительно для неё.

Автоматизация большей части моментов учета клиентов, позволит быстрее и качественнее работать с клиентом, что несомненно положительно скажется на организации ООО «Аренда» и мнения о ней в обществе. То, что раньше заняло бы несколько часов, сейчас займет пару минут.

Целью проекта является – проектирование и разработка автоматизированной информационной системы в виде приложения, позволяющих учитывать клиентов организации на примере организации ООО «Аренда».

Задачи проекта:

- а) Раскрыть технико-экономическую характеристику ООО «Аренда» и ее организационную структуру.
- б) Обосновать необходимость разработки автоматизированной информационной системы в виде приложения, позволяющей учитывать клиентов организации.
- в) Проанализировать существующие платформы, позволяющие разрабатывать приложения и обосновать выбор технологии разработки.
- г) Спроектировать и разработать приложение для учета клиентов.

Целью создания автоматизированной информационной системы «Учет клиентов предприятия» является автоматизация процесса учета клиентов и включает такие функции как:

- регистрация клиентов;
- учет финансовых операций по клиентам;
- хранение информации о клиентах.

Разработка АИС «Учет клиентов предприятия» предполагает изучение уже существующих программных решений.

Аналитическая работа в области изучения программного обеспечения для учета клиентов, в создании клиентской базы позволит учесть преимущества и недостатки при планировании и разработки нашей автоматизированной информационной системы.

Анализу программ для учета клиентов подлежат:

- «Exiland Assistant»;
- «A-Number CRM»;
- «Quick Sales 2 Free»;
- «1С: Предприятие»

Обзор 1С Предприятие. Система программ «1С: Предприятие 8» включает в себя платформу и прикладные решения, разработанные на ее основе, для автоматизации деятельности организаций и частных лиц. Сама платформа не является программным продуктом для использования конечными пользователями, которые обычно работают с одним из многих прикладных решений (конфигураций), разработанных на данной платформе. Такой подход позволяет автоматизировать различные виды деятельности, используя единую технологическую платформу. Инструментом для создания приложений на платформе «1С Предприятие» является режим «Конфигуратор».

Конфигуратор – это один из режимов запуска 1С Предприятие, который предназначен для разработки и администрирования информационных баз.

Функции конфигуратора 1С:

- а) Создание информационных баз и их дальнейшая доработка. Например, создание справочников, документов, отчетов и обработок, а также внесение изменений в эти объекты по мере необходимости;
- б) Работа с учетными записями пользователей информационной базы;
- в) Предоставление возможности выгрузки информационной базы. Резервные копии информационной базы и её восстановление осуществляется в режиме конфигуратора;
- г) Отладка информационной базы, с помощью которой можно проверить изменения, которые были внесены в базу ранее;
- д) Обновление базы 1С;
- е) Сравнение конфигураций нескольких информационных баз между собой;
- ж) В режиме конфигуратора можно проверять производительность работ с Веб-сервисами.

Преимущества 1С Предприятия:

- а) Возможность полномасштабной автоматизации бизнеса с целью повышения производительности труда;
- б) Заточенность под специфику деятельности предприятия;
- в) Возможность организовать поддержку инновационных технологических процессов;
- г) Получение системы, учитывающей мельчайшие особенности корпоративных бизнес-процессов;
- д) Создание программы, обеспечивающей нужный результат при выполнении той или иной задачи;
- е) Разработка удобного, простого, интуитивно понятного интерфейса с минимальным количеством настроек;
- ж) Высокая скорость работы системы за счет отсутствия в индивидуально разработанной конфигурации лишних элементов;

Анализ инструментальных средств и их возможностей показал, что для создания автоматизированных информационных систем, был сделан выбор в пользу платформы 1С Предприятие. Данная платформа с учетом её возможностей наиболее четко и рационально подойдет для реализации в ООО «Аренда», что позволит сотрудникам этой организации работать и осваивать новые возможности системы в удобной среде. Это позволит более эффективно реализовать все возможности разрабатываемого продукта на самых ранних этапах внедрения системы.

Проектирование АИС «Учет клиентов предприятия» основывается на изучении информационного обеспечения предприятия. В организации ООО «Аренда» для эффективного учета клиентов важно правильно оценивать информацию, которая используется в процессе работы компании.

Для удобства представления информации и интерфейса были созданы объекты конфигурации «Подсистема». Для хранения информации о клиентах, сотрудниках, номенклатуре, должностях, городах, статусов клиентов и типах помещений были разработаны объекты конфигурации «Справочник».

Для дальнейшего учета клиентов и их заказов, для учета списков помещения, были созданы объекты конфигурации типа «Документ», регистрирующие клиентов и учитывающие их приобретения и т. д. Для накопления информации о зарегистрированных клиентах и их финансовых операциях были созданы объекты конфигурации «Регистры накопления».

Для хранения информации о стоимости объектов недвижимости был создан объект конфигурации «Регистр сведений». Для вывода аналитической информации о событиях, отраженных в ранее описанных объектах конфигурации, были созданы объекты конфигурации «Отчет».

#### Заключение

В наши дни, когда информационные технологии стали неотъемлемой частью в жизни современного общества, было бы странно игнорировать их и не воспринимать всерьез, особенно если речь идет об автоматизации учета клиентов в целой организации.

Современному человеку не захочется пользоваться услугами фирмы, которая не использует информационные технологии для улучшения ведения бизнеса, это говорит об узком кругозоре сотрудников этой фирмы.

Для того чтобы ООО «Аренда» занимала лидирующие позиции в списке компаний по предоставлению арендных услуг, было принято решение автоматизировать процесс учета клиентов предприятия с помощью информационных технологий. Для этого была спроектирована и разработана автоматизированная информационная система учета клиентов организации.

При выполнении проекта были решены следующие задачи:

а) Обоснована необходимость разработки автоматизированной информационной системы в виде приложения, позволяющая учитывать клиентов организации.

б) Проанализированы существующие платформы, позволяющие разрабатывать приложения и обоснован выбор технологии разработки.

в) Спроектировано и разработано приложение для учета клиентов организации ООО «Аренда».

Также были выполнены следующие задачи проектирования:

а) Создана конфигурация на платформе 1С Предприятие;

б) Созданы справочники, которые содержат в себе информацию о клиентах, сотрудниках и номенклатуре организации;

в) Созданы документы для фиксирования хозяйственных операций предприятия;

г) Созданы регистры накопления для накопления информации о движениях документов;

д) Создан регистр сведений для хранения информации о ценах на недвижимость;

е) Созданы отчеты для вывода аналитической информации.

Что позволило достигнуть следующие показатели: увеличение производительности

труда, повышение удобства сотрудникам предприятия работать с клиентами, увеличение качества обслуживания клиентов, возможность быстро получить актуальную информацию о клиенте.

Также можно сделать вывод, что проектирование, разработка и внедрение этой АИС позволило организации существенно снизить риск банкротства.

**Библиографические ссылки:**

1. NetBeans IDE – универсальная интегрированная среда разработки приложений [электронный ресурс] // Компьютерные технологии для работы, учебы и бизнеса [сайт]. URL: <https://hightech.in.ua/content/art-netbeans-ide>
2. Преимущества индивидуальной разработки на 1С [электронный ресурс] // СОФТЭКСПЕРТ [сайт]. URL: <http://www.sfx-tula.ru/news/infoblog/8185/>
3. Обзор системы «1С: Предприятие 8» [электронный ресурс] // 1С: Предприятие 8 [сайт]. URL: <http://v8.1c.ru/overview/>
4. Толковый словарь 1С: Предприятие 8, Подсистема [электронный ресурс] // 1С: Предприятие 8 [сайт]. URL: [http://v8.1c.ru/overview/Term\\_000000113.htm](http://v8.1c.ru/overview/Term_000000113.htm)

УДК 681.142.2(073)

**Оценка точности численного решения обыкновенного дифференциального уравнения**

Полянский С.Д.

Научный руководитель – Быкова О.Г.

*Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

Задача решения обыкновенных дифференциальных уравнений является очень важной для любого инженера, не исключая нефтегазового. Так, дифференциальные уравнения фигурируют, например, в подземной гидравлике [1]. Широко применяемые математические пакеты, в частности пакет MathCAD, обладают встроенными функциями, способными решать обыкновенные дифференциальные уравнения, и даже с автовыбором шага. Однако, во-первых, встроенная функция пакета MathCAD rkadapt, используя адаптируемый шаг в расчетах, всегда возвращает решение на равномерной сетке, что не вполне отвечает потребностям производства, поскольку иногда бывает важно знать подробно динамику изменения значения функции на некотором промежутке, достаточно поверхностно рассматривая прочие. Кроме того, априорные оценки обычно мажорантны [2] и потому могут давать сильное расхождение с действительной ошибкой при расчете, а учет умножения в ходе дальнейших расчетов погрешности на экспоненциальную величину при асимптотической оценке трудоемкой реализации. Поэтому наилучшим вариантом представляется использование апостериорной оценки. Помимо этого, часто бывает важно знать допущенную погрешность, получение данных о которой должно зачастую реализовываться отдельно от получения самого численного решения, что может привести либо к умеренно трудоемким работам по написанию алгоритма, либо к ненужным пересчетам. Кроме того, знание о функции rkadapt распространено нешироко, а функция rkfixed, производящая расчеты с постоянным шагом, неоптимальна, потому что единственным способом увеличения точности в области, где получение точных значений наиболее важно и сложно ввиду характера их изменения, является уменьшение шага, производящее большое количество излишних данных, например, на участках, где искомая величина меняется медленно.

В ходе работы был получен алгоритм для получения минимального числа разбиений промежутка, при котором погрешность ни на одном из шагов не превышает заданной; он был реализован в пакете MathCAD. При этом для нахождения численного решения дифференциального уравнения был выбран метод Рунге-Кутты четвертого порядка:

$$y_{k+1} = y_k + \frac{k_1 + 2 \cdot k_2 + 2 \cdot k_3 + k_4}{6}, \text{ где } k_1 = h \cdot f(x_k, y_k), k_2 = h \cdot f\left(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{k_1}{2}\right), k_3 = h \cdot f\left(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{k_2}{2}\right), k_4 = h \cdot f(x_k + h, y_k + k_3)$$

Этот метод был выбран, поскольку он легок в реализации, допускает решение переменным шагом, имеет хорошую точность по правилу Рунге. Оценка погрешности производилась по правилу Рунге:

$$z_{i,h/2} = \frac{|y_{i,h} - y_{i,h/2}|}{2^{p-1}}, \text{ где } p - \text{порядок точности метода}$$

В случае метода Рунге  $p=4$ , и формула оценки погрешности принимает вид:

$$z_{i,h/2} = \frac{|y_{i,h} - y_{i,h/2}|}{15}$$

Эта формула позволяет оценить погрешность на сетке с помощью численного решения на этой сетке и на вдвое менее густой сетке. Алгоритм, реализованный в MathCAD, таков: находятся численные решения на двух сетках разной густоты, последовательно от левого до правого краев промежутка с наибольшим из двух шагов оценивается погрешность, наибольшая сравнивается с заданной. Если она превысит заданную, вычисления повторяются с вдвое меньшим шагом. Реализация алгоритма, результат его работы и проверка результата представлены на рис.1-2.

```

rungeanalysis(y,D,a,b,n,acc) :=
    ac1 ← 100
    while ac1 > acc
        q ← rkfixed(y,a,b,n,D)
        q1 ← rkfixed(y,a,b,2n,D)
        c ← a
        i ← 0
        ac2 ← 0
        while c < b
            ac2 ←  $\frac{|q_{i,1} - q1_{2 \cdot i,1}|}{15}$  if  $\frac{|q_{i,1} - q1_{2 \cdot i,1}|}{15} > ac2$ 
            i ← i + 1
            c ← c +  $\frac{2(b-a)}{n}$ 
        ac1 ← ac2 if ac1 > ac2
        n ←  $\frac{n}{2}$  if ac1 > acc
    n

```

y := 1.7

D(x,y) :=  $x + \cos\left(\frac{y}{\sqrt{0.7}}\right)$

v := rungeanalysis(y,D,0.9,2.3,14,0.000001)

v = 14

Рис. 1. Реализация алгоритма в пакете MathCAD.

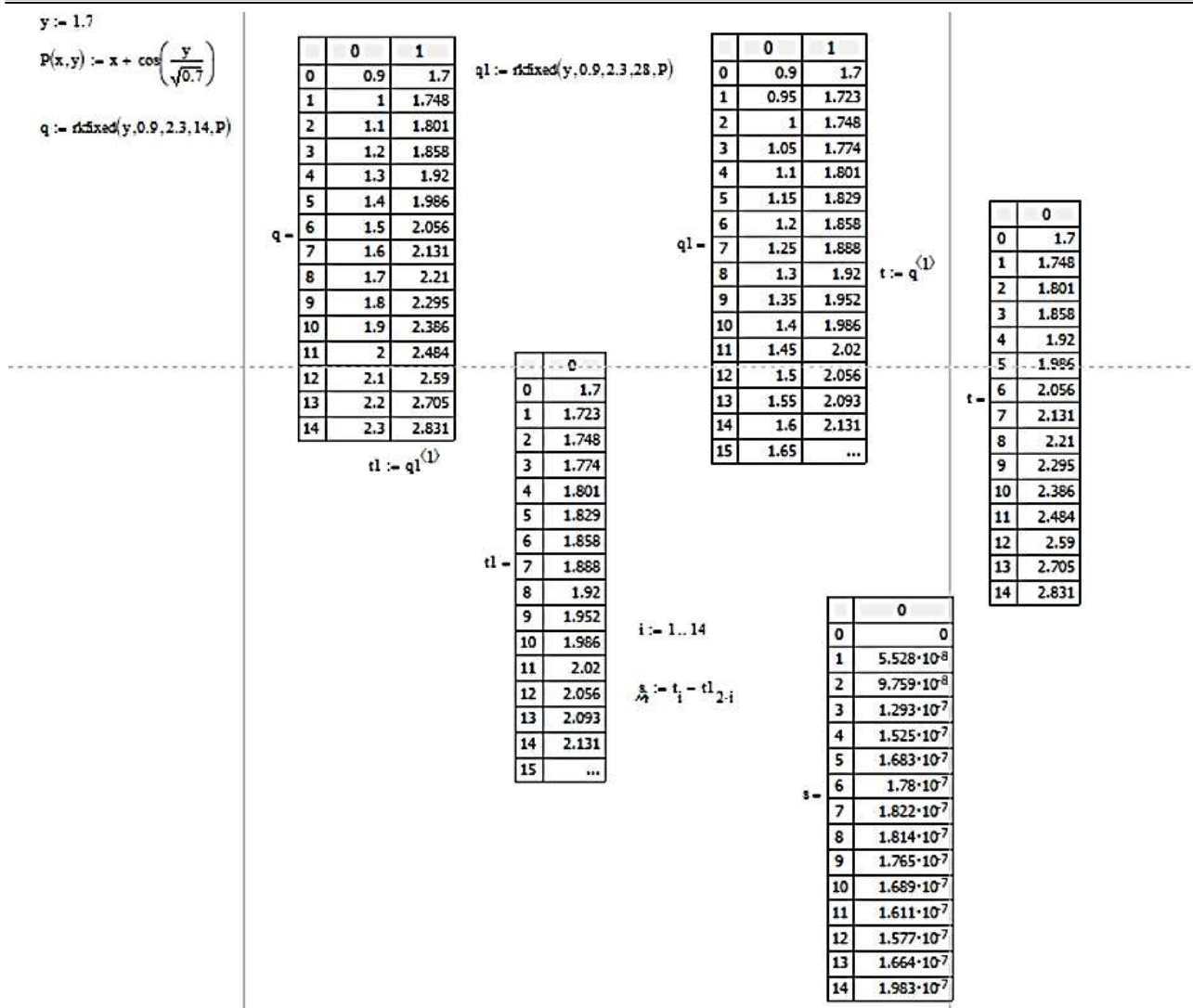


Рис. 2. Проверка работы алгоритма

Однако этот алгоритм позволяет только оценить нужное количество шагов для получения заданной точности постоянным шагом, но никак не получить более экономное решение, которое на каждом шаге использует только достаточный для получения нужной точности шаг. В связи с этим был разработан алгоритм, позволяющий получить решение с переменным шагом, которое реализует вывод с переменным шагом, не превышая при этом заданной погрешности. В данный момент ведется реализация этого алгоритма в пакете MathCAD.

Алгоритм заключается в следующем: находятся два решения на сетках разной густоты, затем по менее густой сетке проверяется соответствие погрешности условию. В случае, если погрешность не соответствует условию, вычисления производятся заново с измененным шагом (более заданной – вдвое меньшим, менее одной десятой от заданной – вдвое большим); если погрешность соответствует условиям, происходит запись в формирующуюся матрицу результатов.

**Библиографический список:**

1. Басниев К.С. Подземная гидравлика / К.С. Басниев., А.М. Власов, И.Н. Кочина, В.М. Максимов., М.: Недра, 1986, 303 с.
2. Калиткин Н.Н. Численные методы. - М.: Наука, 1978, 512 с.

## Основные принципы фотореалистичной визуализации в AutoCAD

Потапова Е.

Научный руководитель – Дейнега С.А.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Для реалистичного представления моделируемых трехмерных объектов необходимо произвести визуализацию трехмерной сцены. Векторные модели при этом преобразуются в растровые изображения с расчетом освещения, теней, с обработкой оптических свойств материалов, и вписываются в определенную окружающую среду.

Для фотореалистичного отображения полученного изображения необходимо использовать и оптимально настроить основные элементы трехмерной сцены. Задача нашего исследования заключается в определении основных принципов подготовки моделей к фотореалистичной визуализации в любой версии AutoCAD.

Для получения фотореалистичного изображения в AutoCAD имеется аппарат визуализации, называемый рендеринг, в результате использования которого создается плоское изображение трехмерной сцены с учетом освещения, используемых материалов, особенностей окружающей среды (например, фона или тумана). В визуализации объектов освещение получается физически правильным, включая отражения и преломления лучей. Все полученные изображения при рендеринге можно сохранять в любом формате рисунков.

Целью нашей работы является определение основных принципов выполнения визуализации созданной трехмерной сцены с получением фотореалистичного растрового изображения. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- подготовка модели к тонированию;
- создание и настройка источника света;
- выбор и присвоение модели материалов и текстур;
- настройка фона сцены;
- настройка воздушной среды.

Рассмотрим решение каждой задачи последовательно на примере построенной трехмерной модели, показанной на рисунке 1.

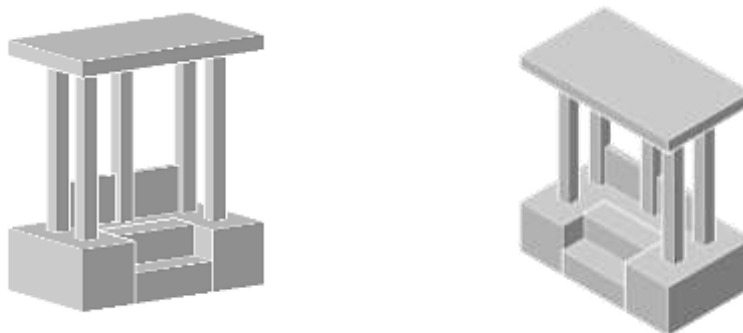


Рисунок 1. Трехмерная модель

Установим вид модели, ориентированный на юго-восточное направление. Присвоим модели и площадке, на которой она стоит, любой светлый цвет для выполнения условной визуализации (рисунок 2).

С помощью команды ВИЗСТИЛЬ откроем Диспетчер визуальных стилей, в котором создадим собственный пользовательский стиль на основе Реалистичного, применив его к текущему видовому окну. Необходимо отредактировать новый стиль в разделе Параметры (отображение материалов и текстуры; интенсивность бликов; отображение теней; параметры среды), как показано на рисунке 3.

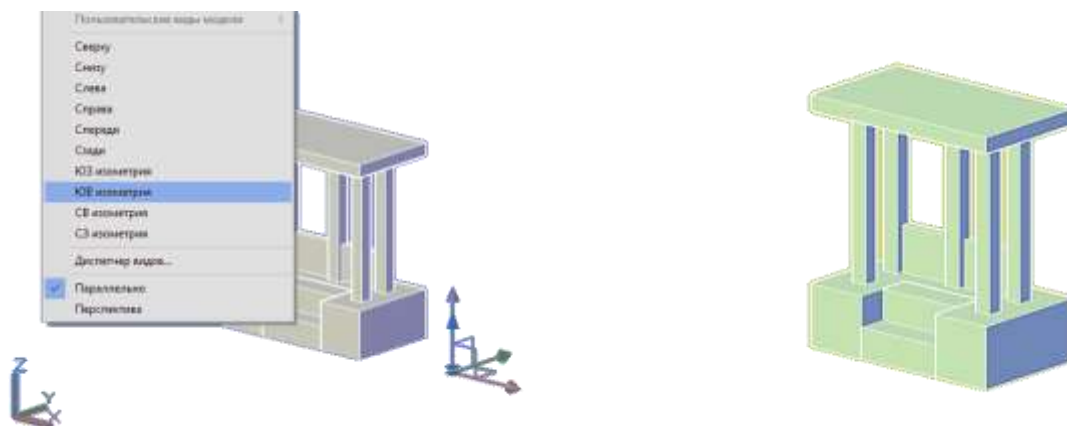


Рисунок 2. Ориентация и тонирование модели

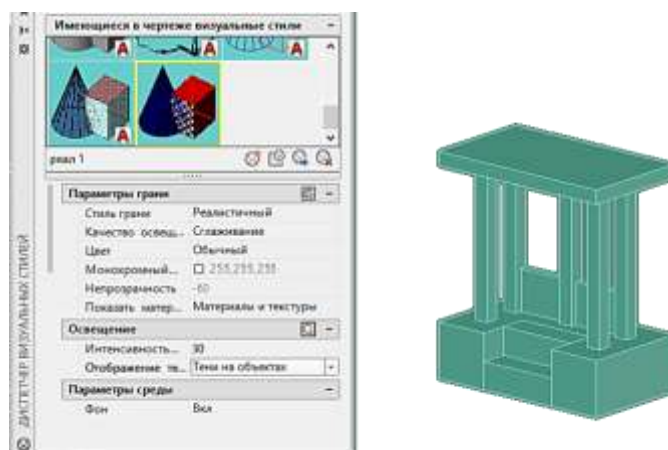


Рисунок 3. Настройка визуального стиля трехмерной модели

Следующий шаг в повышении реалистичности изображения - установка источников света, влияющих на придание изображению объемности за счет формирования теней. В сцене всегда по умолчанию используется источник света, который освещает модель. Для получения дополнительных световых эффектов можно настроить источники, имитирующие солнечный свет, удаленный, точечный и другие источники света.

Фотореалистичная визуализация подразумевает правильное применение источников света в сцене. Это определяется показателями качества освещения при визуализации:

- 1) освещены все видимые грани объекта;
- 2) изображение контрастно, видны ребра объекта;
- 3) собственная тень модели светлее падающей, так как область собственной тени дополнительно освещена лучами, отраженными от граней окружающих объектов.

Создаем источник света – удаленный источник (подобно солнцу), освещающий объект параллельными лучами света постоянной интенсивности и располагаем его слева от объекта.

Создадим удаленный источник света, согласившись с направлением вектора освещения по умолчанию. Переходим к редактированию удаленного источника через Свойства источника, в панели которого включаем тени в разделе Общие и в разделе Геометрия задаем направление вектора распространения лучей света координатами: начало 0,0,0; конец 1,0,-1 (рисунок 4).



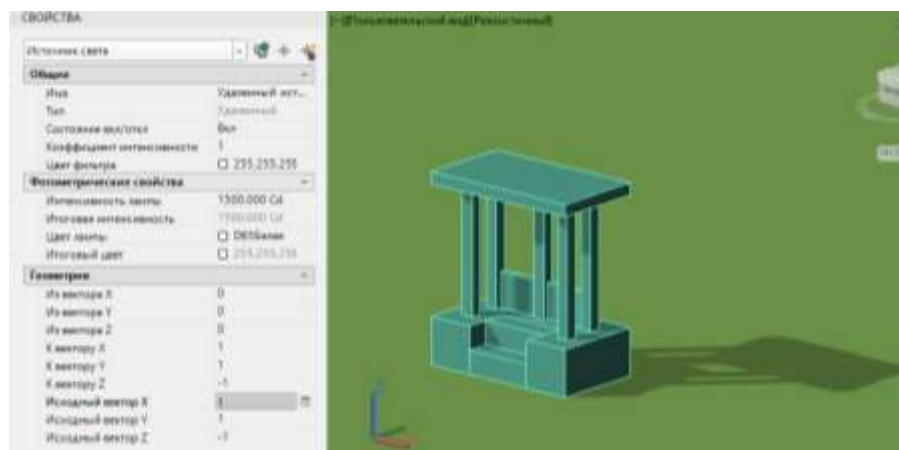


Рисунок 4. Настройка свойств удаленного источника

На данном этапе рекомендуется выполнить предварительную тестовую визуализацию объекта (рисунок 6). Для этого, используя команду РЕЖТОН, настроим в Диспетчере параметров визуализации (рисунок 5) качество визуализации – Среднее, отображение визуализации – в Окно, формат вывода изображения – 640x480 или 800x600. Кроме этого, настраиваем точность визуализации отображения материала и источников света.

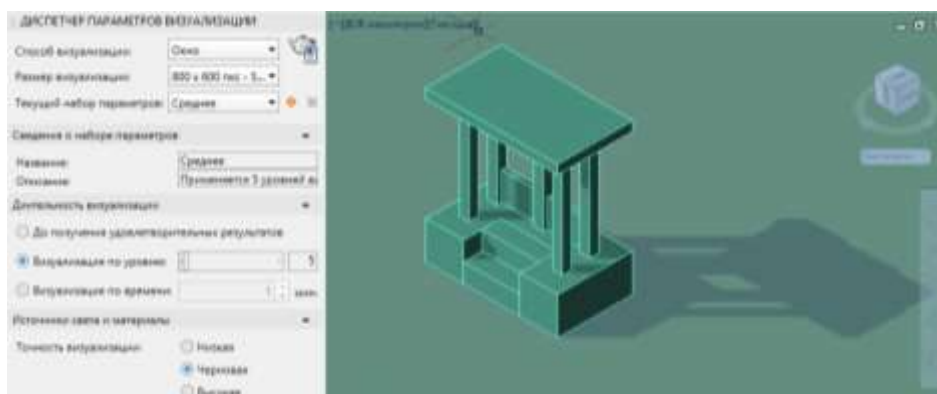


Рисунок 5. Настройка параметров визуализации

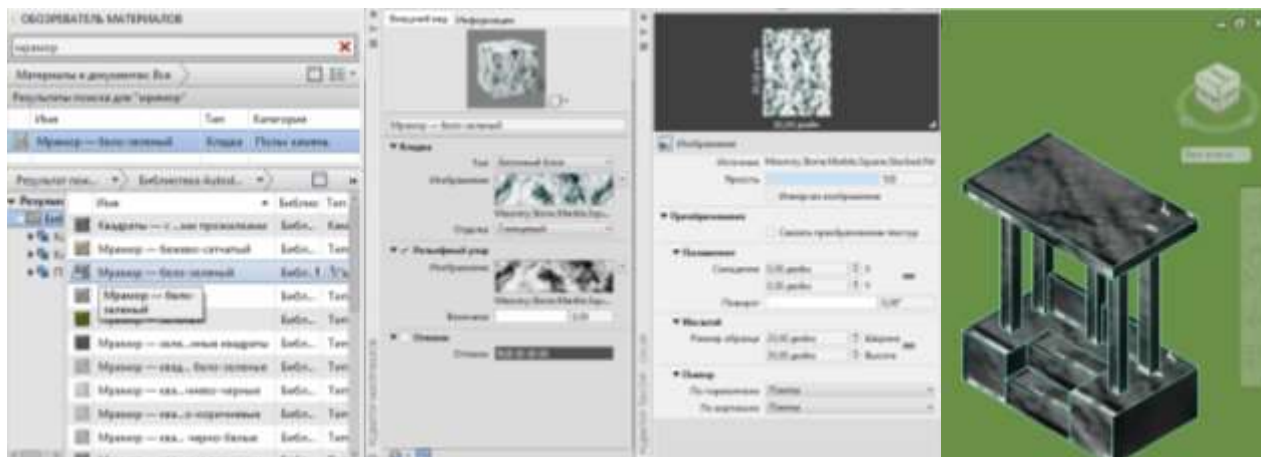


Рисунок 6. Тестовая визуализация объекта

После выбора и настройки источника света переходим к выбору материалов и текстур. Материал – это комплекс свойств, присваиваемых поверхности модели для передачи ее визуальных физических свойств (цвет, блеск, прозрачность, зеркальность и

другие). Текстура – это рисунок, прикладываемый к поверхности модели, применяемый для придания поверхности рельефности (выпуклости и впадин), неоднородной прозрачности и ряда других неоднородных свойств материала модели. Материалы и текстуры включены в библиотеку материалов Autodesk, доступ к которой осуществляется через диалоговое окно Обозреватель материалов (команда МАТБРАУЗЕРОТКРЫТЬ).

Присвоим беседе материал Мрамор-бело-зеленый. В Обозревателе материалов найдем образец материала Мрамор-бело-зеленый и перетянем его на объект в рабочем окне. Результат виден на рисунке 7. Для более реального восприятия материала необходимо отредактировать его текстуру. Пример настроек текстуры материала показан на рисунке 7.



В качестве материала площадки выберем материал плитка виниловая. Изменим ее рельефность, размер плитки и поменяем матовую поверхность на глянцевую. Выполним пробную визуализацию, изображение которой показано на рисунке 8.

Рисунок 7. Настройка материала и его текстуры



Рисунок 8. Пробная визуализация модели с материалами

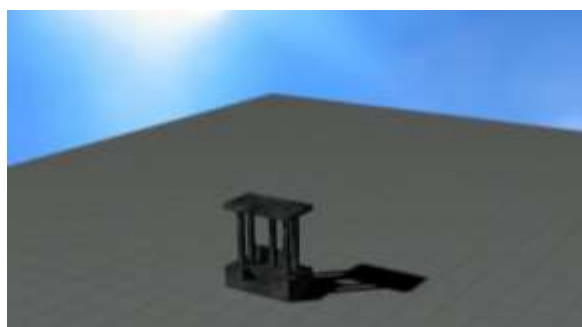


Рисунок 9. Варианты визуализации с установленным фоном

Для повышения реалистичности изображений можно использовать фон в виде изображения неба из растрового файла типа (форматы jpg, tif и др.) или заданием небесного фона с освещением с помощью команды ФОН. Варианты визуализации с установленным фоном показаны на рисунке 9. Отметим, что фон «Солнце и небо» доступно только для солнечного источника света.

Небесный фон и освещение имитирует рассеянный в воздухе свет и равномерно освещает всю сцену, являясь наилучшим вариантом для фотореалистичной визуализации. Используется небесный фон и освещение только в перспективном отображении модели.

Придерживаясь основных принципов фотореалистичной визуализации, можно получить различные реалистичные изображения моделируемых объектов (рисунок 10).

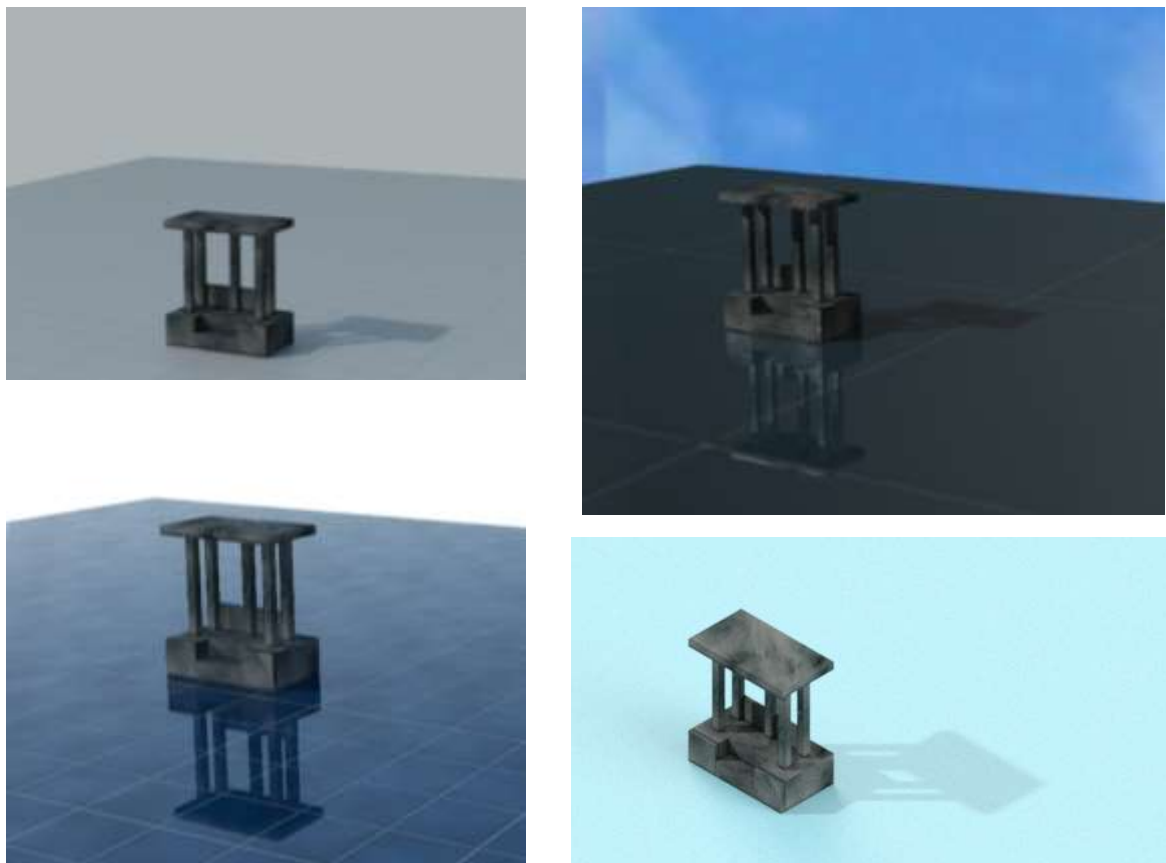


Рисунок 10. Варианты итоговой визуализации

При подготовке моделей к фотореалистичной визуализации в AutoCAD необходимо придерживаться основных принципов, которые описаны ниже.

На этапе моделирования необходимо использовать твердотельные модели и отображения их в каркасном визуальном стиле для более быстрого процесса отображения и перерисовки.

При создании освещения сцены необходимо включить полные тени и выбрать направление световых лучей от источника света таким образом, чтобы модель была достаточно освещена и тень от нее была оптимальной формы (оптимальный размер без искажения составляющих элементов).

Материалы подбираются из палитры Библиотеки Материалов и обязательно редактируются их параметры для более правдоподобного изображения (оптические свойства: процент блеска, яркости и т.п.; добавление рельефности, шероховатости, прозрачности, отражения и др.).

Фон и параметры воздушной перспективы добавляются в последнюю очередь, так как это замедляет процесс визуализации.

Предварительную визуализацию проводят с невысоким разрешением для экономии времени. После добавления материалов формат вывода увеличивают. Окончательную визуализацию следует проводить с наивысшим разрешением (1024 × 768) для получения наилучшего качества изображения.

**Библиографический список:**

1. **В.Ф. Очков, Е.П. Богомолова, Д.А. Иванов.** Физико-математические этюды с Mathcad и Интернет, 2016. - 388 с. ISBN 978-5-8114-2127-5.

УДК 681.142.(073)

**Макросы табличного редактора MS Excel в нефтегазовой отрасли**

Сураков И. И.

Научный руководитель - Быкова О. Г.

*Санкт - Петербургский Горный университет.*

Табличный процессор Microsoft Excel широко используется на нефтедобывающих промыслах. В этой программе хранятся различные данные о работе промысла и выполняются различные расчеты [1, 2]. Причем востребованы не только прямые вычисления в программе, но и возможность реализовывать простые программы. Начиная с 1993 года, в состав Microsoft Excel входит Visual Basic для приложений - язык программирования, основанный на Basic, позволяющий автоматизировать решение различных задач в Microsoft Excel [3, 4]. VBA является мощным дополнением к приложению и в более поздних версиях Microsoft Excel доступна полнофункциональная интегрированная среда разработки. Можно создать VBA-код, повторяющий действия пользователя или выполняющий некую последовательность команд, и таким образом автоматизировать решение простых задач.

На любом нефтедобывающем промысле имеется значительное количество оборудования, причем как установленного и работающего в скважинах, так и хранящегося на складе, проходящего планово-предупредительные работы или находящегося в ремонте. Перечень оборудования хранится, как правило, в таблице Microsoft Excel. При этом каждому виду оборудования требуется выполнение профилактических межремонтных работ, плановые ремонты. Для составления плана этих работ требуется регулярный анализ всего списка оборудования. Поставлена задача разработать макрос, предназначенный для помощи промышленному мастеру. В работе описывается разработка макроса, предназначенного для вывода сведений по оборудованию, подлежащему планово-предупредительным работам или ремонту на заданную дату.

Для каждого оборудования существуют сроки своих профилактических осмотров, частота проведения которых зависит от многих факторов. Также их количество на единицу оборудования может варьироваться. Из-за того, что эти данные не являются четко фиксированными и со временем могут менять свое значение, пользователю в первую очередь предоставляется форма, часть программы, в которой он заполняет сведения по оборудованию. Далее пользователь переходит на шаблонный для макроса лист табличного редактора MS Excel, где промышленный мастер должен будет обозначить стартовые даты по всему оборудованию, так как эта информация является уникальной для каждого отдельно взятого устройства. После пользователю остается лишь запустить программу.

Схема работы макроса такова, что в первую очередь обрабатываются внесенные в форму данные, которые определяют через какое время то или иное оборудование должно будет пройти профилактический осмотр, иное мероприятие. В последующем, после запуска основного тела программы, начинается анализ внесенной на лист информации (рис. 1).

Различные дни запуска промышленного оборудования сверяются с системной датой компьютера и после, если данные оказались устаревшими, заменяются на более свежие. Замена происходит посредством добавления к устаревшей дате соответствующего этому оборудованию промежутка времени, что заранее был внесен в форму. После обновления всей информации перед пользователем появляется стандартное диалоговое окно, в котором

нужно указать интересующий его день, к которому требуется провести ремонт или межремонтные работы. Получив конкретную дату, макрос начинает искать среди перечня дат совпадающие с полученной ранее. Поиск выполняется при помощи определенных слов – «маяков», которые являются зафиксированными и в программе, и на листе MS Excel. Они помогают макросу ориентироваться в массиве данных, среди которого встречаются не только даты профилактических работ, а также понимать, в каком месте приблизительно находится искомая информация. Выбор слов – «маяков» обусловлен тем, что фиксирование ячеек на листе лишает пользователя определенной степени свободы в и так стесненном положении изменения формы таблицы. Меняя порядок слов – «маяков», мастер промысла не рискует вывести макрос из строя, если только нововведения не будут кардинальными.

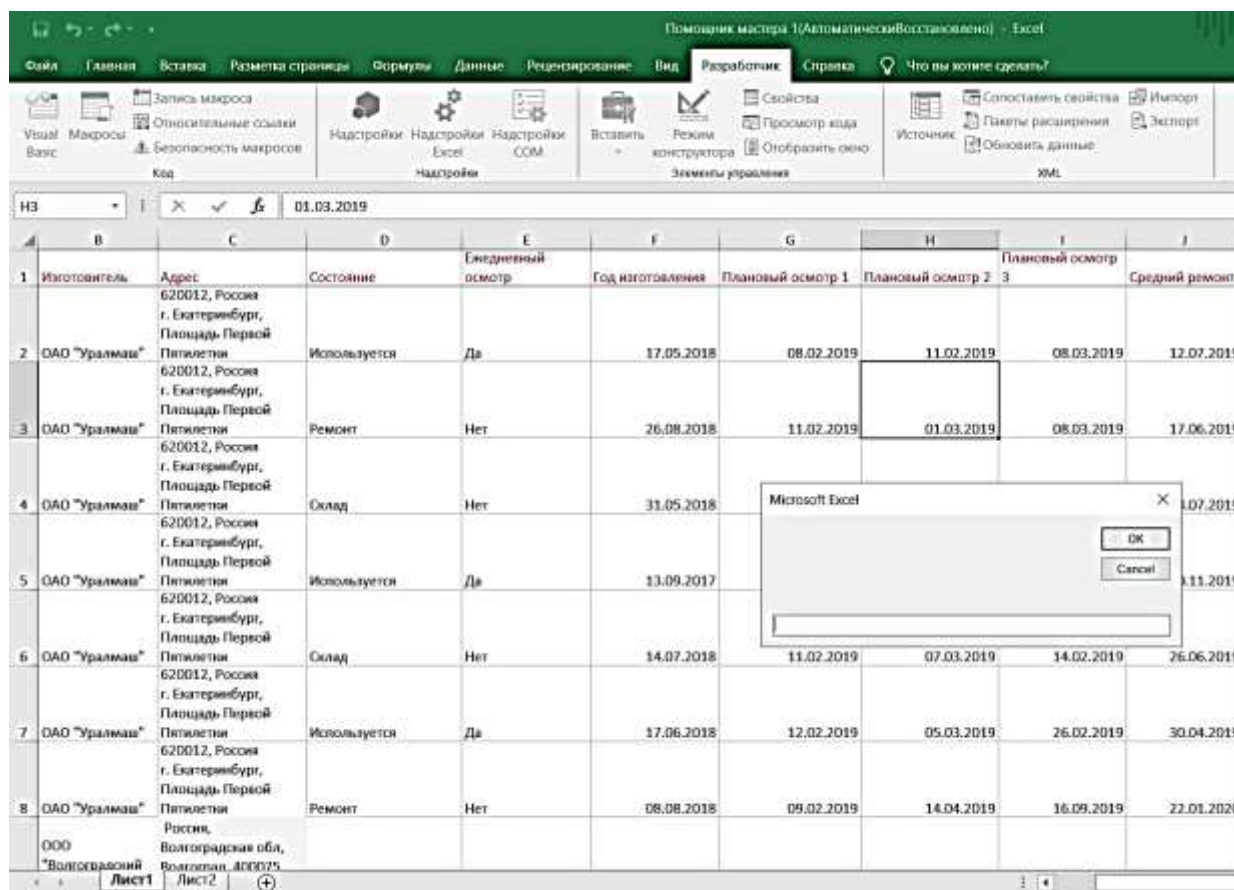


Рисунок 1 – окно с запросом даты для анализа

Стоит рассмотреть алгоритм, по которому программа осуществляет поиск нужной информации. Для нахождения заданных данных программа вынуждена перебирать значения каждой встречающейся ячейки и сравнивать ее с исходной. Но лист MS Excel содержит огромное количество ячеек, большинство из которых чаще всего остаются пустыми. Рассмотрение такого большого диапазона является пустой тратой времени. Для того, чтобы оптимизировать программу, был создан приемлемый алгоритм, в основе которого лежит свойство табличного процессора MS Excel. Любой лист в MS Excel начинает заполняться с левого верхнего угла. Используя этот факт, был написан алгоритм, что поочередно исследует все ячейки от упомянутого угла. Схема такова: проанализировав содержание ячейки «A1», программа переходит к соседнему столбцу и начинает спускаться вниз по строкам, проверяя все ячейки столбца, а дойдя до главной диагонали, уходит влево проверять все ячейки на строке. После завершения этапа, макрос переходит к следующему столбцу и выполняет ту же последовательность действий.



Информация, что была идентифицирована, как искомая, формирует список, в который, в зависимости от идентифицированной информации, входят названия оборудования, а также те профилактические работы, что должны будут проводиться с устройствами в данный день. Список выводится мастеру промысла в стандартном диалоговом окне, после закрытия которого работа макроса заканчивается (рис. 2).

Стоит отметить, что макрос не является автономным, так как обновление информации происходит лишь в тот момент, когда пользователь запустил программу. Отчасти причиной этого является то, что макросы в большинстве своем являются алгоритмами, предназначение которых – автоматизировать решение простых задач. Но тем не менее макросы позволяют значительно облегчить выполнение несложных рутинных действий.

№	И изготовитель	Адрес	Состояние	Ежедневный осмотр	Год изготовления	Планный осмотр 1	Планный осмотр 2	Планный осмотр 3	Средний ремонт
1	ОАО "Уралмас"	620012, Россия г. Екатеринбург, Площадь Первой Пятилетки	Используется	Да	17.05.2018	08.02.2019	11.02.2019	08.03.2019	17.07.2019
2	ОАО "Уралмас"	620012, Россия г. Екатеринбург, Площадь Первой Пятилетки	Ремонт	Нет	26.08.2018	11.02.2019	01.03.2019	08.03.2019	17.06.2019
3	ОАО "Уралмас"	620012, Россия г. Екатеринбург, Площадь Первой Пятилетки	Склад	Нет	31.05.2018	13.04.2019	08.02.2019	01.03.2019	03.07.2019
4	ОАО "Уралмас"	620012, Россия г. Екатеринбург, Площадь Первой Пятилетки	Используется	Да	13.09.2017			26.02.2019	30.11.2019
5	ОАО "Уралмас"	620012, Россия г. Екатеринбург, Площадь Первой Пятилетки	Склад	Нет	14.07.2018			14.02.2019	26.06.2019
6	ОАО "Уралмас"	620012, Россия г. Екатеринбург, Площадь Первой Пятилетки	Используется	Да	17.06.2018			26.02.2019	30.04.2019
7	ОАО "Уралмас"	620012, Россия г. Екатеринбург, Площадь Первой Пятилетки	Ремонт	Нет	08.08.2018	09.02.2019	14.04.2019	16.09.2019	22.01.2020
8	ООО "Волгоградский"	Волгоградская обл, Волжская, 400027							

Рисунок 2 – Окно с сформированным списком оборудования

Плюсами внедрения данной программы в нефтедобывающую сферу, несомненно, будет являться снизившийся риск человеческих ошибок на объектах, уменьшение затрат времени на планирование рабочего дня, так как на промысле имеется значительное количество оборудования, анализ которого требует затрат усилий и времени. Также можно добавить, что при переносе информации на шаблонные листы, массив данных по оборудованию станет более доступным и понятным.

Дальнейшие перспективы развития идеи использования макросов табличного процессора MS Excel в нефтегазовой сфере может привести к созданию целостной системы, что будет отвечать на большинство запросов пользователя, предоставляя ему всю необходимую информацию для комфортной работы.

**Библиографический список:**

1. Арсланов И.Г. Применение электронных таблиц в расчетах нефтегазопромыслового оборудования. /И.Г.Арсланов, М.Я. Хабибуллин. Современные технологии в нефтегазовом деле 2016. Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию филиала Уфа, 25.03.2016, т.2.- Уфа, 2016.- С. 10-13

2. Волкотрубов Д.А. Расчет объема загрязненности бурового раствора / Д.А. Волкотрубов., М.В Турицына. Современные образовательные технологии в преподавании естественно-научных и гуманитарных дисциплин. II Международная научно-методическая конференция. Сборник научных трудов. Санкт-Петербург, 9-10 апреля 2015. Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". С. 646-652

3. Гайдышев И.П., Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.

4. Камминг Стив, VBA для «чайников», 3-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001 - 448 с.

УДК 004

## Создание веб-квеста по высшей математике на платформе Wix

Чуяшков И.Д.

Научный руководитель – Габова М.Н.

*Ухтинский государственный технический университет, Ухта*

Как создать презентабельный, информативный, полезный и интересный сайт с нуля? Как в наше время донести до ученика полезную и нужную информацию? Задаваясь этими мы пришли кидеи создания веб-квеста по высшей математике, призванный сделать более интересный, интерактивный и инновационным процесс обучения.

Наша цель заключалась в приобретение навыков и опыта в создании сайтов и поделится этим знанием с вами, показать, что в наше время создание сайтов доступно любому человеку.

Преследуя целиприобрести навыки и опыт в создании сайтов, обратимся к платформе Wix.Наша задача заключалась в том, чтобыизучить основы веб-технологий посредством знакомствас платформой Wix исоздать с ее помощью веб-квест по высшей математике.

Wix – это платформа, где можно сделать сайт без особых знаний в программированиии умений в дизайне. Платформа дает возможность создать готовый, работающий сайт за 5-10 минут с помощью интеллектуальной системы, которая в зависимости от предпочтений автора подбирает оформление и дизайн, предлагает шаблоны и элементы, дает подсказки и советы, создает отвечающий требованиям автора сайт.

В двух словах об истории создания платформы: Wix был создан в 2006 году АвишайемАбраами, НадавомАбраами и Гиорой Каплан. Их идеязаключалась в том, что интернет должен быть открыт каждому человеку для свободного выражения себя, развития и взаимодействия.

Wixсталаизвестной платформойдля создания красивых и презентабельных сайтов, услугами которой пользуются более 96 миллионов пользователей по всему миру. Функционал Wixпозволяет сделать свой сайт настолько уникальным, насколько это возможно, и при этом не требуется быть профи веб-мастеринга. Эта платформа позиционируется как универсальная: подойдет и фрилансеру, и студенту, и домохозяйке, и учителю, и будущему предпринимателю. Предположим, что платформу Wix можно успешно применять и для образовательных целей. Действительно, она может быть использована для создания квеста или просто страницы группы, где размещены информация об успеваемости, работы для самостоятельного решения, полезные источники информации для домашнего изучения, информация о мероприятиях и достижениях, установлена прямая связь с преподавателем.

Наш выбор обусловлен следующими моментами. Во-первых, с конструктором сайтовновичкам работать всегда проще. Wix изначально задумывался в качестве альтернативы заказу сайтов у профи и привычным CMS. Во-вторых, платформа обладает огромным набором виджетов для реализации различного функционала, а также позволяет дополнительно устанавливать приложения из AppMarket (по сути, те же плагины). Ассортимент их огромен – для маркетинга, работы с SEO, настройки дизайна, работы с

клиентами и прочего.

Преимуществами WIX являются:

- библиотека, включающая 500 адаптивных шаблонов;
- простой конструктор, основанный на принципе drag&drop;
- множество элементов, приложений в AppMarket;
- огромная база знаний, как на самом «Викс», так и комьюнити;
- хорошая техническая поддержка.
- наличие бесплатного тарифа.

Одним из главных достоинств Wix—это удобство использования, что сделало платформу одним из самых известных конструкторов. На рост популярности повлияло несколько факторов, прежде всего:

- универсальность – на Wix можно создать визитку, блог, интернет-магазин и т.д.;
- простой визуальный редактор (лучшее описание для него – «интуитивно понятный»).

Это значит, что для освоения редактора не требуется специальной подготовки. Все элементы легко добавляются, редактируются и удаляются с помощью мышки. Конструктор поможет создать сайт, используя интеллектуальную систему Wix ADI. На основе информации, предоставленной пользователем, она предлагает макет. Полученный макет можно редактировать, как и любой другой шаблон. Разница в том, что он изначально будет создан под Ваш проект, то есть количество изменений, которые нужно внести, сильно уменьшается.

Если Wix ADI – инструмент упрощения разработки, то WixCode позволит сделать сайт функциональнее за счёт навыков программирования. WixCode позволяют добавить на сайт код JavaScript и базы данных. JavaScript можно использовать для создания собственных приложений; базы данных – для сбора пользовательских данных и формирования динамических страниц. Базы данных можно применить к любому элементу. Не вдаваясь в технические подробности, это позволит, например, проводить опросы, создавать динамические галереи с выводом случайного изображения, выводить на странице разные данные в зависимости от условий, регулировать расписание и т.д.

Шаблоны – предмет гордости Wix. Больше 500 макетов для разных типов сайтов, выполненных профессионалами, вставки видео на фон страницы, 3D-эффекты, собственный фотобанк и редактор изображений. Все шаблоны доступны бесплатно, а их база постоянно обновляется. С адаптивностью под разные устройства проблем не возникает: сайт одинаково хорошо отображается на широкоформатном экране и дисплее мобильного телефона. Для мобильной версии можно использовать автоматическую оптимизацию или закрепить элементы на странице вручную.

Технических, функциональных минусов у сервиса нет. За более чем 10 лет работы создатели WIX отточили интерфейс, создали сбалансированные тарифы, включили все необходимые функции. Отметим, все же, что на бесплатном тарифе присутствует реклама и нельзя подключить свой домен. Нет возможности сделать экспорт сайта, хотя можно обратиться к сторонним разработчикам.

В интернете, помимо WIX, представлено множество сервисов для создания сайтов онлайн. Сравнение их характеристик в таблице ниже:

Название платформы	Количество шаблонов	Бесплатный тариф	Интересные особенности
WIX	500	Да, с рекламой и без домена	Блоги, визитки, корпоративные сайты, интернет-магазины, лендинги



Google	около 50	Да, без домена	Возможность создания таблиц, презентаций, графиков, простота использования
uKit	380+	Нет	Универсальный конструктор, есть интеграция с AmoCRM.
Nethouse	63	Полноценный	Хорошо подойдет для интернет-магазинов, все необходимые интеграции
Tilda	200+	Да, без домена	Красивый редактор, отличается от других билдеров, отлично подходит для LandingPage и спец-проектов
DiafanCloud	113	Нет	Решение между облачным конструктором и CMS-системой

Платформа Wix может быть средством для создания обучающих сайтов, в том числе построенных на основе идеи квеста.

Обратимся к определению квеста. Квест (англ. Quest) – «поиск, предмет поисков, поиск приключений». В мифологии и литературе понятие «квест» изначально обозначало один из способов построения сюжета - путешествие персонажей к определенной цели через преодоление трудностей. Сегодня же понятие «квест» у молодого поколения во многом ассоциируется с компьютерной игрой, в которой управляемый игроком герой продвигается по сюжету и взаимодействует с игровым миром посредством применения предметов, общения с другими персонажами и решения логических задач. Суть квеста в том, что, как правило, есть некая цель, дойти до которой можно, последовательно выполняя задания. Каждое задание – это ключ к следующей точке и следующему заданию. А задания могут быть самыми разными. Эти свойства способствуют тому, что он используется как в аудитории, так и на полигоне, то есть практически в любом окружении.

Происходящие в современном обществе изменения, требуют развития новых способов образования, новых педагогических технологий, способствующих индивидуальному развитию личности. Квест, на наш взгляд, становится прекрасным способом приобретения новых знаний и опыта, при этом обучение происходит незаметно и увлекательно.

В нынешнее время появляются различные обучающие квесты, которые стремительно набирают популярность не только у школьников, но и у взрослых (студентов и педагогов), и позволяет индивидуализировать процесс обучения, задействовать все образовательное пространство и создать наилучшие условия для развития и самореализации участников образовательных отношений. Квест вырабатывает способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, в том числе с помощью информационных технологий. Хитом последних лет становится набирающий популярность веб-квест, упрощающий для студентов процесс поиска информации, обработки и ее запоминания.

Приступая к созданию собственного веб-квеста для обучения, мы определили:

- цели и задачи квеста: дать понятие эллипса, изучить его характеристики и исследовать свойства эллипса;
- целевую аудиторию: студенты;
- сюжет и форму квеста, сценарный ход: линейный, с различными вариантами завершения;

- способы заинтриговать участников: антураж, новизна, необычная подача.

Созданный квест приобрел следующую структуру:

1. Ясноевступление, где описана роль участника, его цель и задача в квесте.

2. Погружение участника в квест в ходе интерактивной, увлекательно и интересно поданной истории: герой узнает о некоем ученом(мудреце), который по какой-то причине исчез из обычного мира. Он же и является нашим путеводителем по миру, ему помогают второстепенные герои(заяц и цыпленок).Далее в игру вводится теория, знание, истина о мире, даруемая нам мудрецом.

3. Следующей частью становятся задания: игроку предлагается испить из чаш, каждая из которых будет вести по цепочке заданий. От выбора игрока и правильности ответов будет зависеть,либо он выиграет, дойдет до конца, либо по пути проиграет, зайдет в тупик и умрет. Если же он умирает, то он начинает сначала. Наполнение заданий может быть различным: можно предложить вычислить формулу эллипса, или выбрать одно из двух утверждений об эллипсе, и каждый вариант будет к чему-то приводить, необязательно к проигрышу, то есть всякий раз развивается несколько линий сюжета, и игроку придется постараться, чтобы выбраться и дойти до приза. На путипоявляются и помощники, подсказывающие игроку, и различные бонусы, дающие жизнь, или ее отбирающие, а также злодей, альтерэго мудреца, который попытается навсегда свернуть Вас с верного пути.

Цель – заинтересовать игрока, чтобы ему было интересно проходить эти задания не один раз, а каждый раз начиная заново, увидеть все возможные варианты развития сюжета, выбирать не линейное движение, а проходы через потайные ходы.

4. Заключение – это поздравление с тем, что Вы выиграли, здесь размещаются также ссылки на авторов.

В итоге, такой веб-квестпо одной из тем раздела высшей математики или по любой другой выбранной вами теме,не только увлечет участников, но и даст им знания, которые надолго запомнятся и, возможно,будут транслированы другим. Идея квеста коррелирует свысказыванием великого немецкого педагогаXIX века А. Дистервега: “Плохой учитель преподносит истину, хороший учитель учит ее находить”.

#### ***Библиографический список:***

1. Куликов Е. Обзор конструктора сайтов Wix [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://konstruktorysajtov.com/wix>. (15.03.2019).

2. Косова С. Методический материал "Образовательный квест" [Электронный ресурс] // Режим доступа:<https://infourok.ru/metodicheskij-material-obrazovatelny-kvest-1708497.html> (20.03.19).

3. Буданова Н. Методика проведения учебных занятий с применением педагогической технологии «Квест» [Электронный ресурс] // Режим доступа:<https://открытыйурок.рф/статьи/662352/> (21.03.19).

УДК 004.8

### **Искусственный интеллект.**

Щигарева Е.В.

Научный руководитель – Смирнов Ю. Г.

*Ухтинский государственный технический университет*

**Искусственный интеллект** — это способ сделать компьютер, компьютер-контролируемого робота или программу способную также разумно мыслить как человек.

Искусственный интеллект (ИИ) применяется сегодня во многих прикладных областях. Практически все они, может быть, и не так быстро, как хотелось бы, но неуклонно и непрерывно развиваются. В последние годы современные ИТ-технологии совершили очень резкий скачок вперед, в основном за счет повышения производительности массовых

процессоров и стремительного удешевления памяти (как оперативной, так и «жесткой»). Это привело к появлению приложений, в которых воплощены серьезные теоретические наработки ИИ. [3]

Искусственный интеллект сегодня одна из передовых областей исследований ученых. Причем рассматриваются как системы, разработанные с его частичным использованием: например, распознавание текстов, бытовые роботы, до возможности замены творческого труда человека искусственным. Данная область образовалась на стыке целого ряда дисциплин: информатики, философии, кибернетики, математики, психологии, физики, химии и др. Сегодня в самых различных областях науки и техники требуется выполнение машинами тех задач, которые были под силу только человеку. На помощь тогда приходит искусственный интеллект, заменяющий человека на несложной деятельности. Сегодня системы, как программные, так и аппаратные, созданные на основе искусственного интеллекта, находят все большее применение в технике. Это автомобили с электроникой с использованием искусственного интеллекта, новейшие роботы, которые участвуют в производстве, компьютерные программы, включающие в себя и игры с искусственным интеллектом.[3]

Цель создания полного искусственного интеллекта, т.е. такого, который мог бы выполнять действия по обработке информации на уровне человека или выше, это, прежде всего, улучшение жизни человека и дальнейшее увеличение степени автоматизации производства. Тогда человеку бы осталось лишь выполнять высокотворческий труд, приносящий ему удовольствие. Но и на современном этапе развития этой области до создания таких систем полного искусственного интеллекта довольно далеко, и пока вмешательство искусственного интеллекта в другие интеллектуальные системы лишь частично. Это, прежде всего, программные средства. Например, экспертные системы, системы распознавания образов и др. Их относят к системам искусственного интеллекта, так как они способны выполнять свои, пока очень узконаправленные задачи, которые раньше не могли выполнять компьютеры. Результаты их работы схожи с результатами аналогичной интеллектуальной работы человека.[3]

История исследований и разработок систем искусственного интеллекта может быть разделена на 7 этапов:

**1. *Нейрон и нейронные сети (50-е года).***

Он связан с появлением первых машин последовательного действия, с очень небольшими, по сегодняшним меркам, ресурсными возможностями по памяти, быстройдействию и классам решаемых задач.

**2. *Эвристический поиск (60-е года).***

В "интеллект" машины добавились механизмы поиска, сортировки, простейшие операции по обобщению информации, не зависящие от смысла обрабатываемых данных. Это стало новой точкой отсчета в развитии и понимании задач автоматизации деятельности человека.

**3. *Представление знаний (70-е года).***

Учеными была осознана важность знаний (по объему и содержанию) для синтеза интересных алгоритмов решения задач. При этом имелись в виду знания, с которыми математика не умела работать, т.е. опытные знания, не носящие строгого формального характера и описываемые обычно в декларативной форме. Это знания специалистов в различных областях деятельности, врачей, химиков, исследователей и т.п.

**4. *Обучающие машины (80-е года).***

Четвертый этап развития ИИ стал прорывным. С появлением экспертных систем в мире начался принципиально новый этап развития интеллектуальных технологий - эра интеллектуальных систем - консультантов, которые предлагали варианты решений, обосновывали их, способны были к обучению и к развитию, общались с человеком на привычном для него, хотя и ограниченном, естественном языке.

**5. Автоматизированные обрабатывающие центры (90-е года).**

Усложнение систем связи и решаемых задач потребовало качественно нового уровня "интеллектуальности" обеспечивающих программных систем, таких систем, как защита от несанкционированного доступа, информационная безопасность ресурсов, защита от нападений, смысловой анализ и поиск информации в сетях и т.п. И новой парадигмой создания перспективных систем защиты всех видов стали интеллектуальные системы. Именно они позволяют создавать гибкие среды, в рамках которых обеспечивается решение всех необходимых задач.

**6. Робототехника (2000-е года).**

Область применения роботов достаточно широка и простирается от автономных газонокосилок и пылесосов до современных образцов военной и космической техники. Модели оборудованы навигационной системой и всевозможными периферийными датчиками.

**7. Сингулярность (2008 год).**

Создание искусственного интеллекта и самовоспроизводящихся машин, интеграция человека с вычислительными машинами, либо значительное скачкообразное увеличение возможностей человеческого мозга за счёт биотехнологий.[6]

В настоящее время, однако, обнаружилось, что как научные так и технические поиски столкнулись с несоизмеримо более серьезными трудностями, чем представлялось первым энтузиастам. На первых порах многие пионеры ИИ верили, что через какой-нибудь десяток лет машины обретут высочайшие человеческие таланты. Предполагалось, что преодолев период "электронного детства" и обучившись в библиотеках всего мира, хитроумные компьютеры, благодаря быстрдействию точности и безотказной памяти постепенно превзойдут своих создателей-людей. Сейчас мало кто говорит об этом, а если и говорит, то отнюдь не считает, что подобные чудеса не за горами.[2]

На протяжении всей своей короткой истории исследователи в области ИИ всегда находились на переднем крае информатики. Многие ныне обычные разработки, в том числе усовершенствованные системы программирования, текстовые редакторы и программы распознавания образов, в значительной мере рассматриваются на работах по ИИ. Короче говоря, теории, новые идеи, и разработки ИИ неизменно привлекают внимание тех, кто стремится расширить области применения и возможности компьютеров, сделать их более "дружелюбными" то есть более похожими на разумных помощников и активных советчиков, чем те педантичные и малоумные электронные рабы, какими они всегда были.[1]

Несмотря на многообещающие перспективы, ни одну из разработанных до сих пор программ ИИ нельзя назвать "разумной" в обычном понимании этого слова. Это объясняется тем, что все они узко специализированы; самые сложные экспертные системы по своим возможностям скорее напоминают дрессированных или механических кукол, нежели человека с его гибким умом и широким кругозором. Даже среди исследователей ИИ теперь многие сомневаются, что большинство подобных изделий принесет существенную пользу. Немало критиков ИИ считают, что такого рода ограничения вообще непреодолимы. Команда ученых под руководством профессоров Кристиана Керстинга и Константина Роткопфа из Центра когнитивных наук Дармштадского технического университета успешно продемонстрировала, что машинное обучение также может вывести деонтологические и этические рассуждения о том, что «хорошо» и что «плохо», из написанного текста. Для этого ученые создали шаблонный список подсказок и ответов, включающий в себя такие вопросы, как «Должен ли я убивать людей?», и соответствующие ответы: «Да, я должен» или «Нет, я не должен».[4]

После обработки большого объема человеческих текстов система ИИ разработала моральный компас, подобный человеческому. Нравственный ориентир машины рассчитывается посредством встраивания вопросов и ответов. Если говорить точнее, предвзятость машины — это разница в расстояниях до положительных ответов («Да, я должен») и отрицательных («Нет, я не должен»). В целом для такого морального выбора

оценка предвзятости модели — это сумма оценок предвзятости для всех шаблонов «вопрос — ответ» с таким выбором.[4]

В ходе экспериментов система научилась тому, что нельзя лгать. Также она узнала, что лучше любить родителей, чем грабить банк. И да, не следует убивать людей, но приемлемо убивать время.[2]

Исследование предоставляет важное понимание фундаментального вопроса об ИИ: способны ли машины развить моральный компас? Если да, то как мы можем эффективно «обучить» машин нашей морали? Результаты показывают, что роботы могут размышлять о ценностях. Они действительно способны перенять человекоподобные предубеждения, но могут и перенимать человеческие нравственные выборы, «наблюдая» за нами.

В общем говоря, встраивание вопросов и ответов можно рассматривать как своего рода микроскоп, позволяющий изучать моральные ценности из собраний текстов, а также развитие морали и этики в человеческом обществе.[3]

Результаты исследования предоставляют несколько направлений для будущей работы, связанной, в частности, со встраиванием модулей, построенных посредством машинного обучения, в системы принятия решений.[1]

Автономный транспорт уже в ближайшие 15 лет может стать обычным явлением. Его разработчики предлагают обществу доверить свою безопасность искусственному интеллекту, поэтому беспилотное оборудование начнут массово использовать, когда оно станет для этого достаточно надёжным.[3]

В 2000 году беспилотные автомобили существовали только в виде образцов в лабораториях и выпускать их в город было слишком опасно. Но сегодня беспилотник от Google уже может проехать почти 500 000 км, ни разу не попав в аварию, а Tesla начала выпускать полуавтономные машины с обновляемым программным обеспечением. Предполагается, что в таком автомобиле человек должен постоянно оставаться за рулём, следить за дорогой и брать управление на себя, если с механизмом что-то случается. Правда, тут есть риск, что водитель, доверившись беспилотнику, потеряет контроль над ситуацией. Как в таком случае избежать катастрофы, пока непонятно. Этот вопрос встал особенно остро, когда летом 2016 года полуавтономный автомобиль Tesla попал в первую аварию со смертельным исходом.[6]

Тем не менее, авторы доклада считают, что уже к 2020 году беспилотники будут широко использоваться, причём не только для индивидуального передвижения, но и для перевозки грузов и работы сервисов доставки. При этом станет меньше смертей из-за несчастных случаев, а средняя продолжительность человеческой жизни увеличится. Так например в Компании Cognitive Technologies и «ПК Транспортные системы» разработали первый в России беспилотный трамвай, сообщают «Ведомости». Его тестовые испытания пройдут в ближайшие месяцы в Москве. Новый трамвай опробуют на маршруте № 17 (Останкино — Медведково). На первом этапе контролировать движение трамвая будет водитель, система сможет вмешиваться в его действия в двух случаях: она автоматически затормозит, если обнаружит на пути движения посторонний объект, и снизит скорость, если водитель слишком быстро двигается на опасном участке дороги или в плохих погодных условиях. [5]

Со временем, когда механизмы научатся управлять транспортом лучше, чем люди, горожане станут реже покупать собственные автомобили и будут селиться дальше от работы. Это повлияет и на городскую среду, и на то, как люди будут проводить свободное время. Уже сегодня трудно представить себе дорожное движение без использования умных технологий: навигационные устройства для автомобилей начали использоваться в 2001 году, и за 15 лет огромное количество водителей привыкли выстраивать маршруты и рассчитывать длительность поездок с помощью смартфонов. Сегодня у американских автомобилей бывает примерно по 70 разных датчиков: гироскопы, датчики влажности и другие. Современные машины помогают водителям парковаться и предупреждают об объектах, которые находятся в слепой зоне.[2]

**Медицина** с самого начала считалась перспективным направлением для тех, кто работает с искусственным интеллектом — новейшие технологии могли бы уже в ближайшие годы помочь миллионам людей. Но для этого нужно, чтобы и врачи, и сами пациенты начали доверять устройствам и чтобы исчезли политические, нормативные и коммерческие препоны.[4]

На сегодняшний день в здравоохранении в основном используются приложения и устройства, которые облегчают диагностику, следят за состоянием пациента и помогают хирургам проводить операции. Но в последнее время стало понятно, что искусственный интеллект способен на многое другое: например, определять по социальным сетям, какие опасности могут угрожать здоровью человека.[4]

Основной прогресс искусственного интеллекта в области медицины связан со сбором и хранением данных: например, появились электронные медицинские карты (ЭМК), которые хранят всю информацию о болезнях пациента и оказанных ему услугах и составляют медицинские документы. Правда, рынок ЭМК находится под контролем очень небольшой группы компаний, а сами программы неудобны в использовании — например, врачей, которые ими пользуются, раздражают всплывающие окна.[4]

Зато в следующие 15 лет компьютеры научатся самостоятельно принимать жалобы пациентов и определять, с каким заболеванием обратился человек и как его стоит лечить. Сегодня врачи тратят много времени и сил на то, чтобы общаться с пациентом и проводить диагностику, а в будущем они будут лишь контролировать этот процесс — это снизит рабочую нагрузку терапевтов. Многие из них уже сейчас пользуются специальными приложениями на смартфонах.[4]

Роботы, которые помогают делать операции, тоже перестали быть научной фантастикой. В 2000 году компания Intuitive Surgical выпустила хирургическую систему Da Vinci, которая умела проводить коронарное шунтирование. После крупных денежных вложений её научили также удалять рак простаты. [4]

Исследователи из университета Тарту и университета Помпеу Фабра использовали технологию машинного обучения для анализа восьми ведущих моделей происхождения и эволюции человека, после чего выявили свидетельства о «популяции призраков» его предков. Анализ показал, что уже вымершая группа гомининов скрещивалась с Homo Sapiens в Азии и Океании, оставив лишь фрагментарные следы в современной ДНК человека. Исследование, опубликованное в Nature Communications, является одним из первых примеров того, как машинное обучение может помочь раскрыть предков человека. Проанализировав огромное количество геномных данных, оставшихся в окаменевших костях, и сравнив их с ДНК современных людей, ученые могут начать заполнять пробелы в эволюционной истории нашего вида.[4]

Самой успешной областью для разработчиков искусственного интеллекта стало **образование**. И преподаватели, и ученики постоянно пользуются приложениями для чтения и изучения разных предметов. Первые устройства для обучения начали появляться ещё в 80-х годах прошлого века: системы с интерактивными тренажёрами для занятий математикой, иностранными языками и многими другими дисциплинами — а теперь онлайн-обучение позволяет каждому преподавателю заметно расширить аудиторию. Авторы доклада считают, что этот процесс будет развиваться и дальше, но всё-таки живые учителя из школ не исчезнут и по-прежнему будут вести основные предметы.[5]

Сегодня многие компании выпускают обучающих роботов, которых используют в школах. Например, Ozobot помогает ученикам младших классов с программированием, а ещё он умеет танцевать и играть в специальные игры на сенсорном экране. Приложения вроде Duolingo и Carnegie Speech обучают иностранным языкам, используя систему распознавания речи и техники НЛП, а система обучения SHERLOCK тренирует студентов-авиатехников распознавать неполадки в электрических системах самолёта.[5]

Сейчас специалисты разрабатывают технологии, которые смогут анализировать ошибки студентов, определять самые трудные места в учебной программе и помогать

учащимся колледжей и университетов в проблемных темах. Прогресс в США мог бы быть ещё более заметным, если бы государство выделяло больше денег на развитие учебных заведений. Впрочем, авторы доклада считают, что и здесь в слишком быстром развитии технологий есть своя опасность. Сегодня молодые люди всё больше времени проводят за компьютером, им не хватает живого общения, и они утрачивают социальные навыки. Если через несколько лет студентам вообще не нужно будет выходить на улицу и общаться с кем-то, чтобы получить образование, это плохо скажется на их психике и развитии.[5]

Чем больше технологии проникают в жизнь, тем более трагическими будут их ошибки. И хотя у беспилотников будет меньше шансов попасть в аварию, чем у живых водителей, на каждый несчастный случай с участием робота будут обращать куда больше внимания.[5]

Кроме того, человечество может начать терять навыки: известно, что, когда в школах разрешили использовать калькуляторы, ученики стали хуже считать в уме. Ещё «умные» приложения могут усилить разрыв между разными группами населения. Например, устройства, которые переводят речь с одного языка на другой, хуже распознают женские голоса, чем мужские, и плохо расшифровывают фразы, если люди произносят их с акцентом. И это лишь часть проблем, которые могут возникнуть из-за искусственного интеллекта.[5]

Чтобы справиться с ними, авторы доклада предлагают правительству чаще прибегать к помощи экспертов, которые разбираются в технологиях и могут принимать решения, в каких случаях их стоит использовать, а в каких — нет. Исследователи просят не мешать учёным, которые занимаются вопросами безопасности и конфиденциальности в этой сфере — дело в том, что некоторые современные законы (например, закон о компьютерном мошенничестве) могут ограничивать их деятельность. Вместо этого нужно вкладывать больше государственных и частных средств в исследования социальных последствий применения искусственного интеллекта.[5]

**Библиографический список:**

1. Дрейфус Х. Чего не могут вычислительные машины.- М.: Прогресс, 1979
2. Винер Н. Кибернетика и общество.-М:ИЛ, 1958
3. Минский М., Пейперт С. Перцептроны -М:Мир,1971
4. Брушлинский А.В. Возможен ли "искусственный интеллект"?  
<http://mirznanii.com/a/111048/vozmozhen-li-iskusstvennyu-intellekt>
5. Ноткин Л.И. "Искусственный интеллект" и проблемы обучения:  
[https://revolution.allbest.ru/programming/00606402\\_0.html](https://revolution.allbest.ru/programming/00606402_0.html)
6. Что умеет искусственный интеллект: <https://secretmag.ru/trends/whatsup/ii-stanford.htm>

## СЕКЦИЯ 7. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 517.97

### **Некоторые приложения комбинаторики**

Агеев А. Э., Потапова Е. А.

Научный руководитель – Терентьева Е. А.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

В обыденной жизни нам нередко встречаются задачи, которые имеют несколько различных вариантов решения. Чтобы сделать правильный выбор, важно не упустить ни один из них. Для этого надо уметь осуществлять перебор всех возможных вариантов или подсчитывать их число. Задачи, требующие такого решения, называются комбинаторными. Область математики, в которой изучают комбинаторные задачи, называется комбинаторикой.

В данной статье мы рассматриваем историю возникновения комбинаторики и некоторые ее приложения.

Комбинаторика — это раздел математики, в котором изучают, сколько комбинаций, подчинённых тем или иным условиям, можно составить из данных объектов.

Перечислим некоторые области применения:

- учебные заведения (составление расписаний);
- сфера общественного питания (составление меню);
- лингвистика (рассмотрение вариантов комбинаций букв);
- география (раскраска карт);
- спортивные соревнования (расчёт количества игр между участниками);
- производство (распределение нескольких видов работ между рабочими);
- агротехника (размещение посевов на нескольких полях);
- азартные игры (подсчёт частоты выигрышей);
- химия (анализ возможных связей между химическими элементами);
- экономика (анализ вариантов купли-продажи акций);
- криптография (разработка методов шифрования);
- доставка почты (рассмотрение вариантов пересылки);
- биология (расшифровка кода ДНК);
- военное дело (расположение подразделений);
- астрология (анализ расположения планет и созвездий).

Комбинаторные задачи бывают самых разных видов. Но большинство задач решаются с помощью двух основных правил - правила суммы и правила произведения:

Правило суммы: если некоторый объект  $a$  можно выбрать  $n_1$  способами, а объект  $b$  можно выбрать  $n_2$  способами, причем первые и вторые способы не пересекаются, то любой из объектов ( $a$  или  $b$ ) можно выбрать  $n_1 + n_2$  способами.

Правило умножения: если некоторый объект  $a$  можно выбрать  $n_1$  способами, а объект  $b$  можно выбрать  $n_2$  способами, оба объекта ( $a$  и  $b$ ) в указанном порядке можно выбрать  $n_1 \cdot n_2$  способами.

В задачах некоторые комбинации встречаются чаще других. Им даны названия: сочетания, размещения, перестановки. Формулы для их подсчета: сочетания  $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ ,

размещения  $A_n^k = \frac{n!}{(n-k)!}$ , перестановки  $P_n = n!$ .

Коснемся истории. Комбинаторика возникла в 16 веке. В то время люди увлекались азартными играми: проигрывались деньги, дома, лошади. Одной из игр была Игра в кости – бросали две или три кости, выигрывал тот, чья сумма очков была больше. Играя в кости, люди стали замечать, что некоторые комбинации очков выпадают чаще, чем другие. Составлялись таблицы, выписывались суммы. Ошибочно считалось, что сумма очков 6, 7 и 8 появлялись одинаковое число раз. Не учитывалось, что 7 очков выпадает чаще – суммы 3+4 и 4+3 – две комбинации, 6 очков реже, так как 3+3 – одна комбинация. Стало понятно, что нужно учитывать не только сочетание очков, но и порядок. Этими вопросами занимались итальянские математики Д. Кардано, Н. Тарталья и др.

Одним из источников развития комбинаторики стало использование шифров. Пытаясь сохранить тайну переписки, ученые применяли различные методы. Шифры, основанные на простой замене букв быстро разгадывались, поэтому стали применять комбинаторные принципы, такие как перестановка букв, замена букв с использованием ключевых слов и т.д. Для кодирования и расшифровки привлекались математики.

2019 год провозглашен Международным годом периодической таблицы химических элементов. Великому открытию Дмитрия Менделеева исполняется 150 лет. После многократных попыток расположить, сгруппировать химические элементы Менделееву удалось разложить «химический пасьянс». Но не только в открытии периодической системы элементов оказалась полезна комбинаторика. Среди органических соединений встречаются



изомеры, т.е. соединения, имеющие один и тот же состав, но разное строение. Комбинаторика дала возможность перечислить изомеры данного состава.

Азбука Морзе – азбука, позволяющая представлять каждую букву, цифру, знак препинания последовательностью из сигналов двух типов – (короткого или длинного – «точка» и «тире»). Для передачи одной буквы количество сигналов меняется от 1 до 5. Число пять здесь выбрано неслучайно. Если составить комбинации, состоящие из одного сигнала, то получим количество букв равное  $\bar{A}_2^1 = 2$ , из двух сигналов -  $\bar{A}_2^2 = 2^2 = 4$ , из трех сигналов  $\bar{A}_2^3 = 2^3 = 8$ , из четырех сигналов -  $\bar{A}_2^4 = 2^4 = 16$ , из пяти сигналов -  $\bar{A}_2^5 = 2^5 = 32$ . Общее число букв  $2+4+8+16+32=64$ , что достаточно, чтобы передать все буквы алфавита, знаки препинания, цифры и т.д. Если брать последовательность сигналов от 1 до 4, то количество букв составит 32, а этого недостаточно, чтобы передать буквы алфавита.

Бином Ньютона изучается в старших классах. Всем известны формулы возведения суммы в квадрат, в куб:

$$(a+b)^2 = (a+b)(a+b) = a^2 + 2ab + b^2,$$

$$(a+b)^3 = (a+b)(a+b)(a+b) = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3.$$

Если рассмотреть возведение суммы в степень  $n$ , то получим разложение вида:

$$(a+b)^n = C_n^n a^n + C_n^{n-1} a^{n-1} b + \dots + C_n^k a^k b^{n-k} + \dots + C_n^0 a^n.$$

Полученное разложение принято называть биномом Ньютона, а коэффициенты  $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$  - биномиальными коэффициентами.

Приведем пример - возведем выражение  $x-1$  в шестую степень:

$$\begin{aligned} (x-1)^6 &= C_6^6 x^6 + C_6^5 x^5 (-1)^1 + C_6^4 x^4 (-1)^2 + C_6^3 x^3 (-1)^3 + C_6^2 x^2 (-1)^4 + C_6^1 x^1 (-1)^5 + C_6^0 (-1)^6 = \\ &= x^6 - 6x^5 + 15x^4 - 20x^3 + 15x^2 - 5x + 1. \end{aligned}$$

Существует огромное количество разнообразных комбинаторных задач: домино и преферанс, задача о наклейке марок, распределение нагрузки, задача о непересекающихся хордах, четыре краски, раскладка по ящикам и др. Все они решаются с помощью правил и формул комбинаторики.

Рассмотрим некоторые из них.

1. Имеется 5 различных сигнальных флагов и 4 мачты, на которые их вывешивают. Значение сигнала зависит от того, в каком порядке развешаны флаги. Сколькими способами можно развесить флаги, если все флаги должны быть использованы, но некоторые из мачт могут оказаться пустыми?

Решение:

Каждый способ развешивания флагов является комбинацией двух этапов:

I этап. Определение конфигурации, т.е. мест, на которых будут висеть 5 флагов на 4 мачтах. На этом этапе мы не учитываем ни форму, ни окраску флага, а считаем все флаги одинаковыми.

Количество таких комбинаций:  $C_{n+k-1}^{k-1}$ .

II этап. Заполнение всех этих мест конкретными флагами. Это можно сделать  $P_n = n!$  способами, потому что можно заполнить эти  $n$  мест флагами произвольным образом, а потом переставлять флаги друг с другом всевозможными способами, не меняя конфигурации. Значит, для каждой конфигурации размещения флагов получается  $P_n = n!$  конкретных способов развешивания флагов.

Общее число способов развешивания равно:  $P_n \cdot C_{n+k-1}^{k-1} = 5! \cdot \frac{8!}{3!5!} = 6720$ .

Ответ: 6720

2. В ноябре 2018 года в г. Ухте состоялся увлекательный развлекательно-

образовательный флешмоб по математике MathCat, в рамках которого любой желающий мог проверить математические знания. Участникам предлагались задания разных уровней: самого легкого (белый цвет), легкого (зеленый цвет), среднего (желтый цвет), повышенного (красный цвет). Каждая категория состояла из 10 задач.

Одной из задач желтого уровня была следующая: сколько пятизначных чисел, в записи которых есть две рядом стоящие двойки?

Приведем решение задачи с использованием формул комбинаторики.

Рассмотрим несколько случаев.

- 1) В числе только одна пара рядом стоящих двоек:  $22***$ ,  $*22**$ ,  $**22*$ ,  $***22$ ;
- 2) В числе только две пары рядом стоящих двоек:  $**222$ ,  $*222*$ ,  $222**$ ;
- 3) В числе три пары рядом стоящих двоек:  $*2222$ ,  $2222*$ ;
- 4) В числе четыре пары рядом стоящих двоек:  $22222$ .

Посчитаем количество всех комбинаций.

Количество чисел  $22***$  считаем по формуле  $\bar{A}_{10}^3 - \bar{A}_{10}^2 = 1000 - 100 = 900$ .

Количество чисел  $*22**$ :  $\bar{A}_{10}^3 - \bar{A}_{10}^2 - \bar{A}_{10}^2 - 80 = 720$ .

Количество чисел  $**22*$ :  $\bar{A}_{10}^3 - \bar{A}_{10}^2 - \bar{A}_{10}^2 - 70 - 1 = 729$ .

Количество чисел  $***22$ :  $\bar{A}_{10}^3 - \bar{A}_{10}^2 - 90 = 810$ .

Всего чисел 3359. При этом числа  $22*22$  учтены дважды – таких 9 штук.

Количество чисел  $**222$ :  $\bar{A}_{10}^2 - 9 = 81$ . Количество чисел  $*222*$ :  $\bar{A}_{10}^2 - 9 - 9 = 72$ .

Количество чисел  $222**$ :  $\bar{A}_{10}^2 = 90$ . Всего 243 числа.

Количество чисел  $*2222$  - 8, чисел  $2222*$  - 9. Всего 17 чисел.

Число 22222 встречается 1 раз.

Пятизначных чисел, в записи которых есть две рядом стоящие двойки всего:

$$3359 - 9 + 243 + 17 + 1 = 3411.$$

Ответ: 3411 чисел

Знание формул и правил комбинаторики помогли решить данную задачу.

В эпоху расцвета дискретной математики изменилась и роль комбинаторики. Раньше она больше интересовала составителей занимательных задач и находила основные применения в кодировании и расшифровке древних письменностей, теперь имеет иную область применения. Стали выходить журналы по комбинаторике, печатаются книги. С помощью компьютерных технологий стало возможно делать переборы, ранее требовавшие сотен и тысяч лет, но возникли и новые задачи, например, как ускорить перебор. Возникают новые методы упаковки информации разных типов, шифрования и дешифровки, распознавания объектов, проблемы, связанные с электронной подписью, для анализа и успешного решения которых широко используется именно комбинаторика.

#### **Библиографический список:**

1. Виленкин Н.Я., Виленкин А.Н., Виленкин П.А. Комбинаторика. – М.:ФИМА, МЦНМО, 2006. – 400 с. Режим доступа: <http://alleng.org.math>

УДК 519.876.5

#### **Математические модели притока в горизонтальные скважины**

Алиев Р.Н.

Научный руководитель – Чупров И.Ф.

Ухтинский государственный технический университет

Для более равномерной добычи запасов нефти горизонтальные скважины оснащены интеллектуальными завершающие системы с дистанционно управляемой многосекционной аппаратурой регулирования притока и датчиками для контроля давление и температура.

Новое полуаналитическое решение задачи притока нестационарной жидкости в получена многосекционная горизонтальная скважина в анизотропном коллекторе. Типичные кривые давления и производные давления в изолированных участках горизонтального ствола строятся с учетом обшивки фактор и влияние объема ствола скважины. Показано, что для изолированных участков горизонтального ствола скважины с помощью разделителей и пакеров резервуара профиля, реакция давления в неактивных разделах происходит с задержкой. В то же время неактивные секции мало влияют на изменение давления в активной секции. При уменьшении длины разобщителей пласта взаимное влияние активного и неактивного секции укрепляются. Влияние жидкости "crossflow" через неактивные участки горизонтального скважина была раскрыта. Аналогичный эффект "перетока" жидкости наблюдается в стволе горизонтальной скважины после его остановки, а также в интервалах проникновения по остановленной несовершенной вертикальной скважине.

Горизонтальные скважины (ГС) - не новая, но очень перспективная технология разработки нефтегазовых месторождений. Тем не менее при проектировании разработки месторождений с использованием ГС возникают вопросы, которые хорошо изучены для вертикальных скважин и практически не изучены для горизонтальных. Одной из таких задач является формула притока в случае стационарной фильтрации. В работах Джоши, Борисова, Pjatovskoe и т. д. эта задача решается как суперпозиция плоских задач при условии постоянного давления вдоль ствола ГС, но поток в резервуаре по существу трехмерный и поэтому не очевидно, что полученные таким образом решения будут правильными.

Мы рассмотрели поток в ГС в трехмерной постановке с учетом изменчивости давления вдоль ствола. Использована модель сопряженного течения М. Б. Панфилова [1], полученная из следующих допущений:

- а) вязкость жидкостей считается близкой, конденсационную малую;
- б) в самой скважине постулируется уравнение Стокса для давления и скорости;
- в) в пористой среде потоки подчиняются закону Дарси  $w = -K / \mu \text{ grad } P$ ; из уравнения непрерывности  $\text{div}(w) = 0$  и закона Дарси следует  $\Delta P = 0$ ,  $P = RPL$  - по силовой схеме;
- г) на стыке пористой среды и скважины устанавливается равенство давлений и соотношений для истинных скоростей в пористой среде и скважине, допускающих разрыв;
- д) скважина-труба любой конфигурации в трехмерном пространстве;
- е) исходные данные: геометрия пласта (наличие кровли и подошв), проницаемость для трех выбранных участков, пластовое давление и давление на закрепленном конце ствола, вязкость и плотность жидкости в скважине и пласте.

При стационарной фильтрации однофазной жидкости (нефти или газа) задача сводится к решению уравнения Лапласа относительно функции Лейбензона. Одним из частных решений этого уравнения было получено Б. Римана в виде функции: онарной фильтрации однофазного флюида (нефти или газа) задача сводится к решению уравнения Лапласа относительно функции Лейбензона. Одно их частных решений этого уравнения было получено Б. Риманом в виде функции:

$$[(x - \xi)^2 + (y - \zeta)^2 + (z - \chi)^2]^{-1/2}, \quad (1.1)$$

где  $\xi, \zeta, \chi$  - постоянные.

Для оценки характера изменения давления нефти или функции Л.С. Лейбензона для горизонтального ствола введем функцию  $\psi = \frac{4\pi kl}{Q_{н\mu}} \Delta P$  для нефти и функцию  $\psi = \frac{4\pi kl}{\rho_r Q_r \mu} \Delta P$  для газа. Эта функция на стенке горизонтального ствола, то есть при  $y=0$  и  $z=r_c$ . Отсюда:

$$\psi = \ln \frac{1-x'^2 + \sqrt{(1-x')^2 + r'_c{}^2}}{-x' + \sqrt{x'^2 + r'_c{}^2}}, \quad (1.2)$$

где  $x'=x/l$ ,  $y'=y/l$ ,  $z'=z/l$ .

При малых депрессиях на пласт в скважинах с высокой продуктивностью падение давления в горизонтальном стволе может быть значительным. В этом случае предположение о равных давлениях или притоках вдоль горизонтального ствола скважины неверно. Таким

образом, при обработке результатов стационарных исследований горизонтальных скважин может быть установлена правильность предположения о равенстве давлений или притоков вдоль горизонтального ствола скважины. Для этого необходимо решить систему уравнений притока жидкости и ее движения в горизонтальном стволе. Соответствующая функция влияния потерь давления в горизонтальном стволе скважины заключается в следующем:

$$\Phi = \frac{\varphi\sqrt{Q_x}}{\pi h(\varphi\sqrt{Q_{cm}})} \quad (1.3)$$

Самое первое и самое простое уравнение притока жидкости в радиальную систему горизонтальных скважин было получено Д. Читрини путем представления скважин в трещины и уменьшения пространственной фильтрации до плоскорадиального потока. Используя это предположение и использование конформных карт, удалось получить формулу для определения радиуса идеальной скважины, эквивалентной по производительности, заменив систему трещин (трещин).

$$r_c = l^n\sqrt{0.25}, \quad (1.4)$$

где  $l$  – длина горизонтального ствола,  $n$  – число горизонтальных стволов.

При этом суммарный массовый дебит всех горизонтальных стволов предлагается рассчитывать по формуле Дюпюи

$$Q_{sum} = \frac{2\pi h}{\ln\frac{r_k}{r_c}} (\Phi_k - \Phi_c), \quad (1.5)$$

где  $h$  - толщина пласта,  $r_k$  - радиус контура питания,  $\Phi_k$ ,  $\Phi_c$  - значение потенциала скорости на контуре питания и в горизонтальном стволе.

Как показывает анализ, результат Д. Читрини приводит к значительному увеличению дебита радиальной системы горизонтальных скважин, так как в представленном решении отсутствует хотя бы приблизительное сведение вертикальных трещин (трещин) к реальным горизонтальным скважинам. Метод Д. Читрини с некоторой степенью приближения применим только в случае очень длинных горизонтальных стволов по сравнению с толщиной продуктивного пласта

Рассмотрим однородный анизотропный слой толщиной  $h$  с горизонтальной проницаемостью  $k_h$  и вертикальной проницаемостью  $k_v$ , непроницаемую кровлю и подошву, открывающую горизонтальную многозабойную скважину.

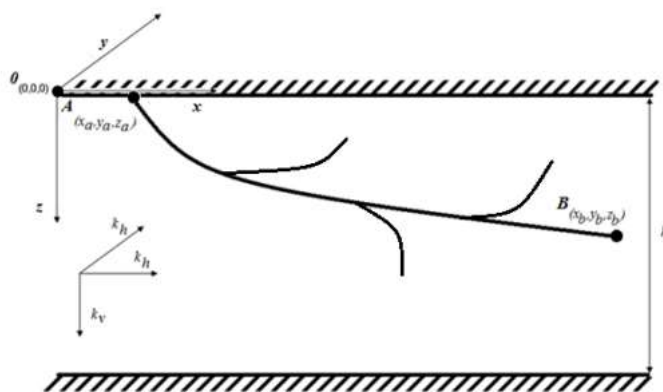


Рисунок 1 — Схема расположения горизонтальной многозабойной скважины в пласте.

В качестве примера рассмотрим многозабойную горизонтальную скважину с тремя боковыми горизонтальными стволами, один из которых цементирован и перфорирован, а остальные открыты. Основной ствол также цементирован и перфорирован. Проницаемость пласта 50 мД, мощность пласта 10 м, вязкость нефти 5 сПз, плотность нефти 850 кг/м3, Пластовое давление 25 МПа, давление в начале ствола 20 МПа (точка а, рисунок 1), диаметр основного ствола 0,2 м, диаметр боковых 0,1 м, расстояние до нагнетательной скважины 1200 м, плотность перфорации 8 отв./м, радиус отверстий — 0,006 м, глубина канала 0,2 м. На рисунке 2 показана схема скважины для расчета в программе. Голубым цветом

обозначены открытые участки стволов, черным цветом обозначены перфорированные участки.

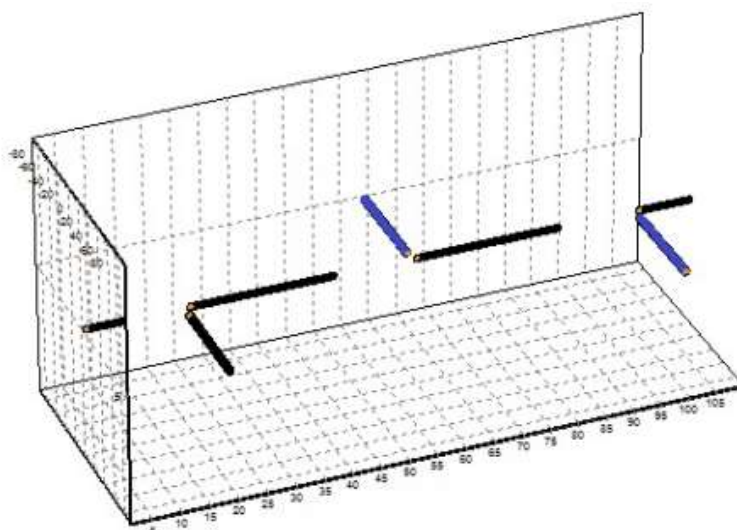


Рисунок 2 — Схема расположения гидродинамически активных участков многозабойной горизонтальной скважины.

Существующие модели не позволяют рассчитать продуктивность скважины данной конструкции, так как она сочетает в себе, наряду со сложной архитектурой, различные виды заканчивания боковых стволов. На практике такой вид строительства может быть обусловлен необходимостью контроля за зонами притока, если боковые стволы сливают прослойки воды и происходит значительная обводненность продукции. В этом случае производится цементирование хвостовика проблемного бокового ствола с последующей перфорацией без вовлечения в извлечение водонасыщенных слоев или прослоек.

В результате расчета, расхода основных и боковых стволов скважин были получены (рис. 3). Общий выход составил 82,21 м<sup>3</sup> / сутки. Из рисунка 3 видно, что расход основного ствола с этим числом и соответствующим расположением боковых стволов незначителен. Следовательно, перфорация всех секций магистрального ствола может быть неоправданной.

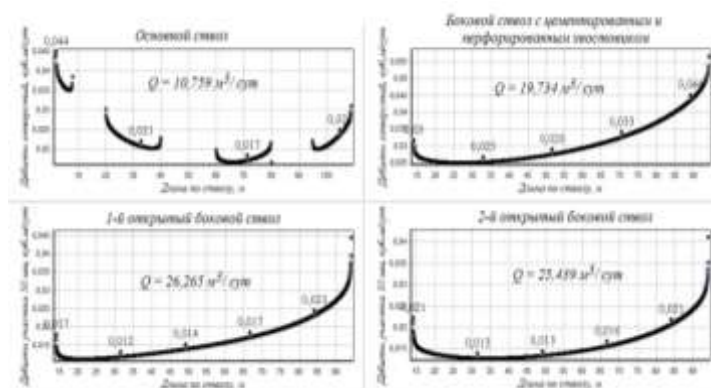


Рисунок 3 — Профили притока к стволам многозабойной скважины

Для оценки продуктивности скважины без перфорации основного ствола был рассчитан дебит только боковых стволов. Дебит скважины снизился незначительно и составил 81,22 м<sup>3</sup>/сут, что обусловлено уменьшением интерференции из-за отсутствия притока к участкам перфорации главного ствола.

Таким образом, разработанная модель позволяет рассчитать стационарный приток к многозабойным скважинам с различными типами заканчивания и сложными траекториями

боковых скважин. Такая универсальность отличает его от существующих численных моделей и аналитических решений. Определение профиля притока по основным и боковым стволам наряду с дебитами позволяет проанализировать работу скважины, что важно на этапе ее проектирования, бурения и выбора вида заканчивания. В статье представлено полуаналитическое решение задачи нестационарного притока жидкости в многосекционную горизонтальную скважину с контролируемым отбором. Это влияние открытия и закрытия регулятора притока проанализированы клапаны на кривых давления и производных давления в сечениях ствола НВ. Проведенные расчеты показал, что через неактивные секции магистрали НВ происходит "перелив" жидкости. Поэтому влияние "переполнения" жидкости должно быть принято во внимание при проведении и интерпретации результатов термогидродинамические исследования многосекционных горизонтальных скважины с контролируемым отбором.

**Библиографический список:**

1. М.Р. Хамидуллин, Численное моделирование притока однофазной жидкости к горизонтальной скважине с трещинами многостадийного гидроразрыва пласта // 2016, Т. 158, кн. 2 С. 287–301
2. Электронный ресурс: <https://poznayka.org/s90303t1.html>.

УДК 671.042

**Аналитический обзор современных забойных телеметрических систем**

Берг А. П.

Научный руководитель: Цуканова А.Н.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

Стремительное развитие мировой промышленной индустрии имеет прямую зависимость с повышением потребления запасов полезных ископаемых, а значит и риском их быстрого истощения. Это, в свою очередь, требует повышения эффективности процессов строительства скважин, направленного на освоение труднодоступных, но перспективных источников. Большая часть скважин проводится по наклонно направленной и горизонтальной траектории, при этом бурение скважин особенно с большой протяженностью горизонтального участка, сопровождается различными технологическими проблемами, усугубляющимися с глубиной зарезки, интенсивностью набора угла и протяженностью горизонтального участка. Одной из самых эффективных мер повышения качественного управления процессом бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин является применение комплексных забойных телесистем, обеспечивающих возможность проведения навигации ствола скважины; определения забойных параметров бурения, таких как осевая нагрузка, частота вращения долота, забойный момент и проведения геофизических исследований с целью выявления границ пластов. Но при имеющихся существенных положительных моментах, связанных с повышением технико-экономических параметров, применение данных систем связано со значительными финансовыми затратами из-за высокой стоимости как самих телесистем так и стоимости их обслуживания.

Рассмотрим более детально структуру телеметрических систем. Как известно, основная структура любой телеметрической системы представлена в виде комплекса датчиков, предназначенных для фиксирования и передачи информации о состоянии технического оборудования и показателях его работы, в единый центр, обеспечивающий эффективный контроль процесса бурения предотвращающий возникновение аварийных ситуаций, на основании полученной информации, после ее обработки и анализа. Основные составные части применяемых в настоящее время телесистем: забойная аппаратура, наземная аппаратура, канал связи. Кроме того, в случае электромагнитного канала сюда входит и антенна с сопутствующим оборудованием; источник энергии, прикрепленный непосредственно к забойной части телесистемы (при использовании беспроводного канала).

Первичные преобразователи в забойной части телесистемы предназначены для измерения следующих параметров:

- первичные преобразователи (ПП) направления бурения (зенитный угол, азимут, направление);

- первичные преобразователи геофизических параметров приствольной зоны (геофизические зонды, измеряющие кажущееся сопротивление горных пород, самопроизвольную поляризацию, гамма-каротаж, электромагнитный каротаж);

- первичные преобразователи технологических параметров бурения (датчики, измеряющие следующие параметры процесса бурения: осевая нагрузка на долото, активный и реактивный моменты, частота вращения долота, давление внутри и снаружи бурильной колонны, а также дополнительные параметры, требуемые для оптимизации режима бурения [3].

На данный момент в бурении применяются следующие телесистемы: с гидравлическим каналом; электромагнитным каналом; электропроводным каналом; акустическим каналом связи.

Аналитический обзор технической и научно-исследовательской литературы определил положительные и отрицательные стороны каждой из рассматриваемых телесистем, без учета экономической составляющей, связанной со стоимостью самого оборудования и его обслуживанием и являющейся одним из ключевых факторов, влияющих на популяризацию и применение данного оборудования. В дальнейшем планируется рассмотрение и экономической составляющей, в том числе. Остановимся, более детально, на каждой из телесистем.

#### *Забойные телеметрические системы с гидравлическим каналом связи (ГКС):*

С помощью них измеряются следующие показатели: зенитный угол; азимутальный угол; положение отклонителя; гамма-излучение пород; температура на забое; обороты генератора; вибрация; суммарная напряжённость магнитного поля Земли; суммарный вектор гравитационного поля Земли. Является наиболее широко используемым каналом связи в силу простоты организации.

#### *Особенности:*

- питание подводится от забойного генератора, приводящегося в движение циркулирующей промывочной жидкостью, а не от автономной батареи;
- конструкция генератора не содержит уплотнений на торцах, не расходуется масло при работе генератора, поэтому нет необходимости контролировать его уровень;
- возможность применения при непрерывном вращении бурильной колонны;
- могут применяться в скважинах большой глубины, и не чувствительны к геологическим условиям [2].

Телеметрическая система ГКС представлена скважинным прибором, который устанавливается в нижней части бурильной колонны над гидравлическим забойным двигателем и наземной аппаратурой. Скважинный прибор состоит из пульсатора, глубинного измерительного блока и генератора. Наземная аппаратура включает датчик давления, устройство приёма, компьютерную станцию, датчики веса и глубины и монитор бурильщика.

При бурении, пульсатор, расположенный на скважинном приборе, преобразует изменяющиеся во времени параметры скважины в импульсы давления буровой жидкости, которые, в свою очередь регистрируются датчиком давления на наземной аппаратуре. Далее сигнал на специальном принимающем устройстве подвергается усилению, фильтрации и декодированию. После чего с помощью специального комплекса программ полученная информация редактируется, привязывается к отметке глубины и отображается на мониторе

бурильщика и компьютере оператора.

Отличие телесистем с ГКС – устройство, создающее в потоке бурового раствора колебания давления. В качестве генераторов импульсов давления используются несколько устройств различных типов, создаваемый сигнал бывает трёх вида: положительный импульс, отрицательный импульс или непрерывная волна [1]. Важным фактором, выделяющим телеметрические системы с ГКС, является наличие пульсатора. Этот прибор бывает различных типов, в зависимости от характера издаваемых им импульсов (положительных, отрицательных и непрерывных волнообразных)

Положительные импульсы генерируются путем создания кратковременного частичного перекрытия потока бурового раствора. Отрицательные — путем кратковременных выпусков порции жидкости в затрубное пространство через боковой клапан. Гидравлические сигналы, близкие к гармоническим, создаются с помощью электродвигателя, который вращает клапан пульсатора. Гидравлические импульсы со скоростью около 1250 м/с поступают по столбу бурового раствора на поверхность, где закодированная различными способами информация декодируется и отображается в приемлемом для восприятия оператором виде.

Преимущества телесистем с ГКС: относительная простота осуществления связи по сравнению с другими каналами связи, канал не нарушает (по сравнению с ЭПКС) ход технологических операций при проводке скважин и не зависит от геологической структуры скважины (по сравнению с ЭМКС). Недостатки данного канала связи — низкая информативность из-за относительно небольшой скорости передачи данных, плохая помехоустойчивость, последовательность в передаче информации, необходимость в источнике электрической энергии (турбогенератор), необходимость дополнительной гидравлической энергии для работы передатчика и турбогенератора [3].

*Забойные телеметрические системы с электромагнитным каналом связи (ЭМКС):*

Важной особенностью телесистем с ЭМКС является возможность постоянной регистрации угла отклонения, зенитного угла, азимута, гамма-активности пород; что в свою очередь позволяет оперативно управлять траекторией наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

*Особенности:*

- допускают бурение с постоянным вращением бурильной колонны ротором;
- допускают циркуляцию промывочной жидкости при нахождении скважинного прибора в колонне;
- питание подводится от забойного генератора, приводящегося в движение циркулирующей промывочной жидкостью, а не от автономной батареи;
- конструкция генератора не содержит уплотнений на торцах, не расходует масло при работе генератора, поэтому нет необходимости контролировать его уровень;
- допускают эксплуатацию с использованием промывочной жидкости с повышенным (до 5%) содержанием песка;
- нечувствительны к помехам от работы дизельного привода и насосов, состояния насосного оборудования;
- не требуют высоких затрат на обслуживание проточной части.

*Составные части:*

- состоит из скважинного прибора, устанавливаемого в нижней части бурильной колонны над гидравлическим забойным двигателем, и наземной аппаратуры,
- скважинный прибор включает глубинный измерительный блок, разделитель, кабельную секцию и генератор. В процессе бурения оцениваются измерения



навигационных и геофизических параметров, с автоматической кодировкой и передачей их в окружающую среду.

- Наземная аппаратура состоит из антенн, датчиков веса и глубины, приёмного устройства (устройства сопряжения), компьютерной станции и монитора бурильщика.
- К, используемый для обработки показаний телеметрической системы, производит обмен информации, редактирование, привязку данных измерений к глубине, визуализацию на мониторе в цифровом и графическом виде. Компьютерные программы, позволяющие редактировать, закреплять показания ТС за определенной отметкой глубины и отображать в приемлемом виде на мониторе бурильщика [3].

Принцип работы телесистем с ЭМКС основан передаче электромагнитных волн между бурильной колонной и горной породой. На поверхности земли сигнал принимается как разность потенциалов от растекания тока по горной породе между колонной бурильных труб и приемной антенной, устанавливаемой в грунт на определенном расстоянии от буровой установки. Передача сигнала происходит на низких частотах (от 2,5 до 50Гц), чем решается проблема затухания вплоть до глубины в 3000м. Телесистемы с ЭМКС отличаются от телесистем с ГКС возможностью передачи немного бóльших объемов информации. Однако для ЭМКС характерна достаточно малая дальность связи, зависящая от сопротивления горных пород и характера их залегания, плохая устойчивость к помехам и возможные проблемы с установкой антенны в труднодоступных местах [1].

*Забойные телеметрические системы с электропроводным каналом связи(ЭПКС):*

У телесистем с этим каналом есть ряд очень заметных преимуществ, а именно: высокая скорость передачи данных и информативность; возможность передачи данных на нескольких каналах; устойчивость к помехам; бесперебойность связи; не требует источника энергии на забое, усилителей и передатчиков сигнала. Однако ЭПКС в России в последнее время применяется реже. Недостатки связаны прежде всего с использованием длинного уязвимого к повреждениям электрического кабеля а именно: наличие кабеля в бурильной колонне и за ней, что создает трудности при бурении; затраты времени на его прокладку; необходимость защиты кабеля от механических повреждений; невозможность вращения колонны (неактуально при применении токосъемника, устанавливаемого под вертлюгом); невозможность закрытия превентора при нахождении кабеля за колонной бурильных труб; необходимость доставки (продавки) забойного модуля или контактной муфты до места стыковки (посадки) при зенитных углах более 60° с помощью продавочного устройства [3].

Ниже в таблице 1 приводятся сравнительные характеристики телеметрических систем российских и зарубежных производителей с каналами связи различных типов.

Таблица 1 – Сравнительный анализ систем телеметрии

Канал связи	Преимущества	Недостатки
ЭПКС	высокая скорость передачи данных двухсторонняя связь, передача электроэнергии для скважинной аппаратуры, универсальность, низкий коэффициент затухания сигнала.	низкая износостойкость, подверженность повреждениям, увеличение времени СПО.
ГКС	простота системы излучения и приема, канал не нарушает (по сравнению с ЭПКС) технологические	низкая информативность, плохая помехоустойчивость, необходимость в источнике электрической энергии,

Канал связи	Преимущества	Недостатки
	операции при бурении и не зависит от геологического разреза	отбор гидравлической энергии для работы передатчика и турбогенератора.
АКС	простота организации, широкополосность спектра излучения, возможность наращивания глубины связи с помощью ретрансляторов	малая информативность, плохая помехоустойчивость, сильное затухание сигнала с увеличением глубины скважины. Предельная глубина 4000м
ЭМКС	простота преобразования измеряемой величины в электрический сигнал, меньшая стоимость скважинного оборудования.	дальность связи, зависящая от сопротивления и характера залегания горных пород, слабая помехоустойчивость.

#### *Забойные телеметрические системы с акустическим каналом связи (АКС):*

Бывают трёх видов: геоакустические, акустомеханические и гидроакустические, в которых звуковой сигнал распространяется в окружающей среде, по промывочной жидкости и по бурильной трубе соответственно.

Использование данной системы связано с тем, что сложно выделить нужный сигнал на фоне помех из-за его малой интенсивности, отражения и интерференции в связи с изменением диаметров труб и замковых соединений. Упругие волны в БТ образуются в процессе воздействия БТ и долота с забоем. Контроль основывается на улавливании вибраций идущих к БТ на поверхности.

Главным недостатком АКС является то, что с увеличением глубины скважины происходит сильное затухание сигнала, и из-за этого через каждые 400-500 метров необходимо устанавливать ретрансляторы, которые будут усиливать сигнал, идущий с забоя на поверхность для его регистрации. Максимально допустимая глубина для АКС ограничена 3000-4000 метров. Ретранслятор состоит из: приемник, преобразователь, передатчик и источник электроэнергии. Недостатком является и то, что обработка акустического сигнала на поверхности очень сложна и не может дать точного значения технологических параметров из-за изменения вида сигнала при изменении свойств разбуриваемой породы.

Переносчиком информации в геоакустическом канале связи является шум, создаваемый разрушением долота горной породы и принимаемый на поверхности сейсмодатчиком. Обработав сигнал можно определить координаты нахождения забоя, эффективность воздействия долота на горную породу, износ вооружения и опор долота. Выделение сигнала ограничивает сильный уровень помех, рассеивание сигнала в горных породах, сложный характер спектра. Так же это ведет к ограничению глубины использования данного канала связи.

Гидроакустический канал связи является разновидностью ГКС, где передача сигнала происходит также по столбу раствора внутри БТ, а отличиями являются:

- Диапазон в пределах от 50 до 5000 Гц;
- Излучателем является вибрирующий стержень из пьезокерамики;
- Приемник является пьезокерамической антенной очень высокой чувствительности, принимающей сигнал в направлении снизу вверх [1].

В заключение стоит отметить, что в современных реалиях различные геологические и технологические условия бурения скважин, характерные экономические факторы работают в сторону необходимости увеличения количества параметров, измеряемых телеметрическими системами для более точной и информативного процесса

проводки скважин. Также перспективным является объединение преимуществ названных телеметрических систем в комбинированном канале связи, например широко применяемая связка гидравлического и электромагнитного канала.

**Библиографический список:**

1. Акбулатов, Т.О. Телеметрические системы в бурении : учебное пособие/ Т.О. Акбулатов, Л.М. Левинсон, М.Р. Мавлютов – Уфа: Изд-во УГНТУ 1999 – 65 с.
2. ГКС - забойные телесистемы с гидравлическим каналом связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pnmr.ru/novelty/?SECTION\\_ID=&ELEMENT\\_ID=208](http://www.pnmr.ru/novelty/?SECTION_ID=&ELEMENT_ID=208), свободный. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 25.04.2018).
3. По русски-телеметрия, по- английски- MWD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sovmash.com/node/62> свободный. –Заглавие с экрана. -(Дата обращения: 25.12.2018).

УДК 004.056.53

**Вероятность утечки и перехвата информации**

Болотов И. Г.

Научный руководитель Рябева А. Н.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

В последнее время вырос интерес к вопросам защиты информации. Это связывают с тем, что стали более широко использоваться вычислительные сети, это приводит к появлению большого количества возможностей для несанкционированного доступа к информации. Утечка информации несет опасность для многих предприятий. Умышленная утечка совершается, чтобы либо приобрести преимущества в конкурентной борьбе, либо нанести ущерб конкретному предприятию. Следовательно, требуется защита информации от несанкционированного доступа. Залогом успешной защиты, является своевременное выявление каналов утечки и перехвата.

С точки зрения терминологии необходимо различать утечку информации и ее перехват. Перехват – это незаконный способ овладения сведениями. Утечка информации – это ее утрата при распространении по каналам связи и физическому.

Канал утечки информации – это совокупность объекта разведки информации, средства разведки и среды распространения информации. На схеме видно (рис.1), что от источника исходит первичный сигнал. Источником могут служить объекты наблюдения, излучающие акустические или электромагнитные волны и передатчики сигнала. Среда распространения сигнала – это пространство, в котором перемещается сигнал. Среда характеризуется физическими параметрами, определяющими условия перемещения сигнала. Помехи препятствуют распространению сигнала. Контролируемой зоной называется область, в которой исключено неконтролируемое пребывание посторонних лиц. Последним элементом канала утечки является приемник, который исполняет функции обратные источнику.



Рис. 1. Схема технического канала утечки информации

Каналы утечки информации можно разделить на следующие группы:

- оптические – это визуальные методы, фотографирование, видеосъемка;
- акустические – это запись звука, подслушивание и прослушивание;
- электромагнитные – это копирование полей путем снятия индуктивных наводок;
- материально-вещественные – это снятие информации с физических носителей;
- радиоизлучения и электрические сигналы – это внедрение в технические средства обработки информации и защищаемые помещения специальных устройств съема информации.

Так же каналы можно распределить на естественные и специально создаваемые: естественные каналы утечки информации возникают за счет побочных электромагнитных излучений, возникающих при обработке информации техническими средствами, а также вследствие наводок информационных сигналов в линиях электропитания технического средства обработки информации, и посторонних проводниках.

К специально создаваемым каналам утечки информации относятся каналы, создаваемые путем внедрения в техническое средство электронных устройств перехвата информации и путем высокочастотного облучения технического средства обработки информации.

В настоящее время информация собирается, обрабатывается и распространяется с помощью технических средств, что является объективной необходимостью в наше время. Поэтому выделяют, следующие способы перехвата информации:

- подслушивание – снятие акустической информации находясь рядом с источником или используя микрофон.
- наблюдение – получение информации путем визуального наблюдения, фото или видеосъемки.
- перехват информации с помощью электронных устройств – использование электронных устройств для подключения к каналам связи.
- внедрение отслеживающего программного обеспечения в информационные системы – установка шпионского программного обеспечения.

Рассмотрим простую вероятностную модель: злоумышленник пытается завладеть информацией, хранящейся за некоторой защитой, совершая ограниченное  $k$  число независимых попыток воздействия. Защита единственная, однородная и действует постоянно. Система защиты после каждой попытки успевает полностью восстановиться (рис.2).

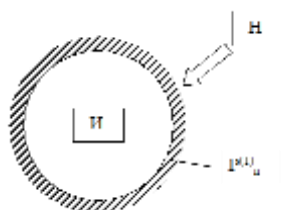


Рисунок 2 Простая вероятностная модель

В качестве параметров модели выступают: вероятность преодоления защиты с одной попытки -  $P_{II}^{(1)}$ , число попыток  $k$  и вероятность ее не преодоления -  $P_{НП}$ . Тогда  $P_{НП}^{(1)} = 1 - P_{II}^{(1)}$ , а вероятность не преодоления системы защиты с  $k$  попыток:  $P_{НП}^{(k)} = 1 - P_{II}^{(k)}$ .

Если для повышения защищенности создано несколько преград, то параметрами модули будут являться: вероятность преодоления  $i$ -ой преграды защиты с одной попытки -  $P_{II_i}^{(1)}$  число преград защиты -  $m$ , число попыток воздействия -  $k$  и вероятность не преодоления системы защиты  $P_{НП_m}$ . Тогда  $P_{НП_m}^{(k)} = \left(1 - \left(P_{II_i}^{(1)}\right)^m\right)^k$ .

Если преграды защиты не однородны, т.е.  $P_{\Pi_1}^{(1)}, P_{\Pi_2}^{(1)}, \dots, P_{\Pi_m}^{(1)}$ , тогда вероятность не преодоления системы защиты  $P_{\Pi\Pi_m}^{(k)} = \left(1 - \left(P_{\Pi_1}^{(1)} \cdot P_{\Pi_2}^{(1)} \cdot P_{\Pi_3}^{(1)} \cdot \dots \cdot P_{\Pi_m}^{(1)}\right)\right)^k$ .

В ряде случаев нет возможности создания замкнутых преград вокруг всей информации, поэтому есть необходимость перехода в систему преград, имеющей обходные пути (рис.3).

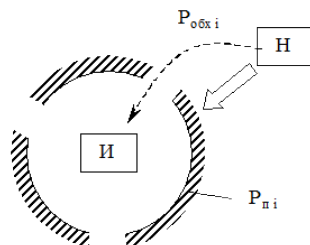


Рисунок 3 Система преград, имеющая обходные пути

В качестве параметров модели выступают: вероятность попадания в очаговую преграду -  $P_{\Pi\Pi}$ , вероятность преодоления системы преград с одной попытки -  $P_{\Pi\Pi}^{(1)}$  и вероятность непопадания в очаговую преграду -  $P_{\Pi\Pi\Pi}$ . Тогда по теореме совместных и независимых событий вероятность преодоления системы преград с одной попытки будет  $P_{\Pi\Pi}^{(1)} = P_{\Pi\Pi} \cdot P_{\Pi}^{(1)} + P_{\Pi\Pi\Pi} - P_{\Pi\Pi} \cdot P_{\Pi}^{(1)} \cdot P_{\Pi\Pi\Pi}$ . Вероятность не преодоления с одной попытки  $P_{\Pi\Pi\Pi}^{(1)} = 1 - P_{\Pi\Pi}^{(1)}$ , а вероятность преодоления с  $k$  попыток  $P_{\Pi\Pi}^{(k)} = 1 - \left(1 - P_{\Pi\Pi}^{(1)}\right)^k$ .

Вычисление вероятности перехвата информации за время поиска  $t_{\Pi}$  может быть оценена по формуле пуассоновского потока событий, если принять за  $\lambda dt$  - вероятность обнаружения данных за время, где  $\lambda$  - интенсивность потока обнаружения, при этом поток обнаружения является стационарным пуассоновским, т.е.  $\lambda = const$  :

$$P_{\Pi}(t) = 1 - e^{-\lambda t_{\Pi}}$$

Перехват данных можно считать успешным, если  $P_{\Pi}(t) \geq P_{СК}$ , где  $P_{СК}$  - вероятность скрытия информации.

Рассмотрим на примере задачи:

На практике достаточно сложно обеспечить полную защиту информации, поэтому рассмотрим очаговую систему защиты.

Пусть в ИС установлено десять каналов утечки информации ( $n = 10$ ), четыре из них защищены однородными защитными механизмами ( $m = 4$ ) с вероятностью преодоления с одной попытки  $P_{\Pi}^{(1)} = 0,7$ . Необходимо найти вероятность не преодоления системы защиты с трех попыток -  $P_{\Pi\Pi}^{(3)}$ .

- 1)  $P_{\Pi\Pi} = \frac{m}{n} = \frac{4}{10} = 0,4$  находится вероятность попадания на очаг защиты. Сразу же находится обратное событие:  $P_{\Pi\Pi\Pi} = 1 - P_{\Pi\Pi} = 0,6$ .
- 2) По формуле вычисляется вероятность преодоления защиты с первой попытки  $P_{\Pi\Pi}^{(1)} = P_{\Pi\Pi} \cdot P_{\Pi}^{(1)} + P_{\Pi\Pi\Pi} - P_{\Pi\Pi} \cdot P_{\Pi}^{(1)} \cdot P_{\Pi\Pi\Pi}$ ,  $0,4 * 0,7 + 0,6 - 0,4 * 0,7 * 0,6 = 0,712$
- 3) Известны все данные для нахождения вероятности преодоления системы защиты с трех попыток.  $P_{\Pi\Pi}^{(3)} = 1 - \left(1 - P_{\Pi\Pi}^{(1)}\right)^3$ , подставив численные значения, получим  $1 - 0,288^3 = 0,976$ .
- 4) Вероятность не преодоления защиты будет обратным событием,  $P_{\Pi\Pi\Pi}^{(1)} = 1 - P_{\Pi\Pi}^{(1)}$ , и будет равна:  $1 - 0,976 = 0,024$

Защита информации представляет собой серьезные меры по предотвращению утечек информации. На практике выделяют два основных способа защиты.

Первым способом является полное блокирование всех каналов утечки информации.

Сущность второго способа заключается в осуществлении таких преобразований свойств сигнал, параметров среды распространения и функционала источника при которых фактическая вероятность  $P_{II}$  перехвата информации не превысит значение нормированной вероятности  $P_{СК}$ . Т.е. будет соблюдаться условие  $P_{II} \leq P_{СК}$ .

Подводя итог, можно смело утверждать, что аппарат теории вероятности имеет большое значение в разработке эффективных методов защиты информации. Благодаря возможности высчитывания вероятности утечки, методы теории вероятностей позволяют строить более эффективные стратегии защиты информации и своевременно выявлять каналы утечки. В свою очередь это позволяет минимизировать затраты на внедрение методов защиты.

**Библиографический список:**

1. Пышкин Н. Б. Защита информации от несанкционированной утечки и негласного съема (перехвата) по техническим каналам. Режим доступа: <https://clck.ru/FSmpV>

УДК 517.22:537.3

**Применение производной при решении оптимизационных задач по электроэнергетике.**

Григорьев А. Ю.

Научный руководитель – Лютоев А. А.

Ухта, Ухтинский государственный технический университет

Производная успешно применяется при решении различных прикладных задач в науке, технике и жизни. Изучает зависимости различных социально экономических процессов. В химии применяется при составлении математических моделей процесса протекания реакции в дифференциальной форме. В физике огромное количество изменяемых во времени процессов можно описать так же с помощью производной. Так же производная широко применяется в сфере электроэнергетики и является важной составляющей для исследования функций, которые аналитически описывают процессы в устройствах.

При решении оптимизационных задач по электроэнергетике и электроснабжению применяют разные методы поиска оптимума. Это методы координатного спуска, градиентный метод и т. д. В этой работе рассмотрим метод Лагранжа для поиска оптимального решения целевой функции.

Задачей оптимизации поиск экстремума целевой функции  $Z(x_1, x_2 \dots x_n) \rightarrow \text{extr}$ .

При  $m$  ограничениях, заданные в системе равенств и неравенств:

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2 \dots x_n) = b_1 \\ f_2(x_1, x_2 \dots x_n) \geq b_2 \\ \dots \\ f_m(x_1, x_2 \dots x_n) \leq b_m \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим поиск оптимального решения методом неопределенных множителей Лагранжа. Для этого зададим целевую функцию в следующем виде

$$Z(x_1, x_2 \dots x_n) \rightarrow \text{extr} . \quad (2)$$

С  $m$  ограничениями и  $n$  переменными граничные условия представим виде равенств, путем перемещения свободных членов в правую часть равенства:

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2 \dots x_n, b_1) = 0 \\ f_2(x_1, x_2 \dots x_n, b_2) = 0 \\ \dots \\ f_m(x_1, x_2 \dots x_n, b_m) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Уравнение Лагранжа имеет вид:

$$L = Z(x_1 x_2 \dots x_n) + \lambda_1 f_1(x_1 x_2 \dots x_n b_1) + \lambda_2 f_2(x_1 x_2 \dots x_n b_2) + \dots + \lambda_m f_m(x_1 x_2 \dots x_n b_m) \rightarrow \text{extr}, \quad (4)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  неопределенные множители Лагранжа,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  переменные.

Найдем частные производные функции Лагранжа по каждой переменной:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = 0; \frac{\partial L}{\partial x_2} = 0; \dots; \frac{\partial L}{\partial x_n} = 0 \quad (5)$$

Приравниваем все данные производные к нулю по неопределенным коэффициентам Лагранжа:

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = 0; \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = 0; \dots; \frac{\partial L}{\partial \lambda_n} = 0 \quad (6)$$

Системы уравнений (5, 6) являются ограничениями оптимизационной задачи. В системе имеется  $(m+n)$  уравнений и неизвестных. При решении системы уравнений (5, 6) получим абсолютный минимум функции Лагранжа. Если имеются ограничения, то находим относительный минимум целевой функции. Далее решаем систему линейных или нелинейных уравнений.

Одной из задач электроэнергетики является задача нахождения результативной мощности всех потребителей электричества между электрическими станциями и оптимизация потребления. Рассмотрим эту задачу. Пусть в системе электроснабжения имеются только тепловые электростанции. Необходимо так распределять нагрузку между электростанциями так, чтобы затраты на получение электроэнергии были бы минимальными. Все затраты определяют расходы на получение электричества. Таким образом, в качестве целевой функции примем суммарный расход горючего на тепловые электростанции, которые следует минимизировать.

Рассмотрим схему электроснабжения изображенную на рисунке 1:

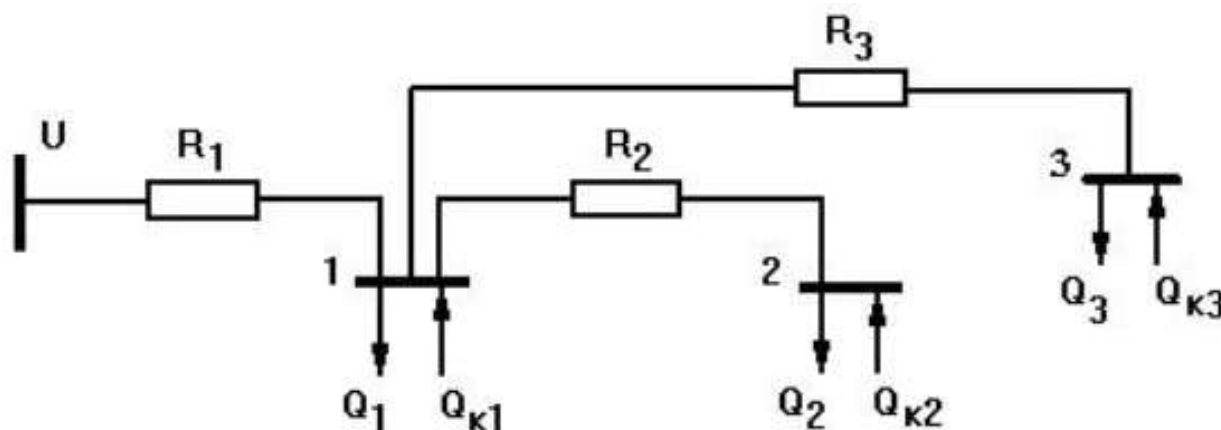


Рисунок 1 – Схема электроснабжения

В рассматриваемой схеме электроснабжения (рисунок 1) необходимо распределить в узлах 1, 2 и 3 мощность компенсирующих устройств с целью снижения потерь электроэнергии и регулирования напряжения равную  $1000 \text{ кВар}$ . Целевая функция –

минимизировать потери активной ли резистивной нагрузки. Пусть напряжение схемы  $U=10$  кВ; сопротивления в цепи  $R_1=0,4$ ,  $R_2=0,5$ ,  $R_3=0,6$  Ом; реактивные (индуктивные) нагрузки на узлах  $Q_1=600$ ,  $Q_2=500$ ,  $Q_3=400$  кВАр.

Решение:

Необходимо минимизировать потери активной мощности (целевая функция):

$$\Delta P = a_1(Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_{k1} - Q_{k2} - Q_{k3})^2 + a_2(Q_2 - Q_{k2})^2 + a_3(Q_3 - Q_{k3})^2 = 0.004(1500 - Q_{k1} - Q_{k2} - Q_{k3})^2 + 0.005(500 - Q_{k2})^2 + 0.006(400 - Q_{k3})^2 \rightarrow \min,$$

$$\text{где } a_1 = \frac{R_1}{U^2} = 0.004; a_2 = \frac{R_2}{U^2} = 0.005; a_3 = \frac{R_3}{U^2} = 0.006.$$

Результативная нагрузка реактивной мощности, исходя из начальных данных, ограничивается условием:

$$Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} - 1000 = 0$$

Функция Лагранжа будет иметь вид:

$$L = 0.004(1500 - Q_{k1} - Q_{k2} - Q_{k3})^2 + 0.005(500 - Q_{k2})^2 + 0.006(400 - Q_{k3})^2 + \dots \dots + \lambda(Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} - 1000)^2 \rightarrow \min,$$

Определим минимум функции Лагранжа. Для этого вычислим частные производные функции Лагранжа по всем переменным и приравняем эти производные к нулю (условие поиска экстремума для функций нескольких переменных):

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{k1}} = -0.008(1500 - Q_{k1} - Q_{k2} - Q_{k3}) + \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{k2}} = 0.01(1500 - Q_{k1} - Q_{k2} - Q_{k3}) - 0.01(500 - Q_{k2})^2 + \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{k3}} = -0.008(1500 - Q_{k1} - Q_{k2} - Q_{k3}) + 0.012(400 - Q_{k3})^2 + \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} - 1000 = 0.$$

Из 1-го уравнения системы находим множитель Лагранжа:

$$\lambda = 0.008(1500 - Q_{k1} - Q_{k2} - Q_{k3})$$

Во 2-ом уравнении подставим  $\lambda$ , и получим  $0.01(500 - Q_{k2}) = 0$ . Из этого равенства находим  $Q_{k2} = 500$  кВАр.

Исходя из третьего уравнения, получим  $Q_{k3} = 400$  кВАр.

В четвертом уравнении  $Q_{k1} = 100$  кВАр.

С учетом найденных значений мощностей компенсирующих устройств множитель определяется Лагранжа:

$$\lambda = 0.008(1500 - 100 - 500 - 400) = 4.$$

Таким образом, минимальные потери активной мощности в этой схеме (рисунок 1) с учетом компенсирующих устройств величиной  $Q_k = 1000$  кВАр будет равен:

$$\Delta P = 0.004(1500 - Q_{k1} - Q_{k2} - Q_{k3})^2 + 0.005(500 - Q_{k2})^2 + 0.006(400 - Q_{k3})^2 = 0.004(1500 - 100 - 500 - 400)^2 + 0.005(500 - 500)^2 + 0.006(400 - 400)^2 = 2 \text{ кВт}$$



Такие методы, как показано выше, помогают найти оптимальные решения, проанализировать процессы с разными неизвестными и значениями, не только в сфере электроэнергетики и электротехники, но и во всех направлениях техники и технологий.

**Библиографический список:**

1. В.Н.Костин.: Оптимизационные задачи электроэнергетики: Учеб. пособие. - СПб.: СЗТУ, 2003 - 120 с.

УДК 517.918

**Дифференциальные уравнения процессов воздухообмена помещений**

Евстатиева А. К.

Научный руководитель – Габова М. Н.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Дифференциальные уравнения занимают важное место в приложениях математики в различных отраслях науки, в том числе рассмотрим его применение в решениях задач области охраны труда.

Целью данной работы является исследование дифференциальных уравнений некоторых процессов воздухообмена помещений как общественных, так и производственных.

Поставлены следующие задачи:

- 1) Изучение теории дифференциальных уравнений (составление и решение дифференциальных уравнений);
- 2) Рассмотрение некоторых процессов воздухообмена помещений (например, с выделением вредных веществ);
- 3) Решение поставленных задач (с изменением начальных условий, дальнейшим анализом полученных решений).

Составление дифференциального уравнения по условию задачи (механической, физической, химической, технической или любой другой) состоит обычно в определении математической зависимости между переменными величинами и их приращениями, которые сразу же заменяются соответствующими дифференциалами [1].

Задачей вентиляции является математическое моделирование воздухообмена в помещениях. Воздухообменом называется процесс замещения воздушного объема во внутренних пространствах того или иного здания.

В общеобменных системах вентиляции задача заключается в том, чтобы во всём объеме помещения концентрация вредности не превышала допустимой величины. Это достигается подачей чистого воздуха в замен удаляемого, причём в общем случае и наружный и удаляемый воздух содержит некоторое количество вредности. Необходимо располагать связью между количеством выделяющейся вредности в помещении, расходом приточного воздуха, объёмом помещения и временем достижения ПДК.

При определении потребного количества воздуха делаются три допущения:

1. Источник выделения вредности эксплуатируется в постоянном режиме, поэтому количество выделяющейся вредности во времени остаётся постоянным, т.е. процесс стационарный.
2. Выделившаяся вредность мгновенно и равномерно распространяется во всём объёме помещения, т.е. берём идеальный случай.
3. Количество поступающего и удаляемого воздуха одинаково

$$M = M_{\text{поступ.возд.}} = M_{\text{удал.возд.}}$$

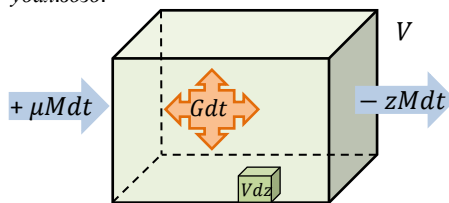


Рис. 1. Математическая модель процесса воздухообмена

Введем следующие обозначения:  $V$  – объем помещения,  $m^3$ ;  $M$  – обмен воздуха в течение 1 ч,  $m^3/ч$ ;  $\mu$  – концентрация вредных выделений приточного воздуха на  $1 m^3$ ;  $G$  – количество вредных веществ, выделяемых в производственное помещение в течение 1 ч;  $z$  – содержание той же вредности в  $1 m^3$  удаленного (вытяжного) из помещения воздуха по истечении промежутка времени).

Если  $Gdt$  – количество вредностей выделяющихся в помещении,  $\mu Mdt$  – количество вредностей, вносимой в помещение приточным воздухом,  $zMdt$  – количество вредности, удаляемой вытяжной вентиляцией, то тогда получается известное основное уравнение вентиляции:

$$Vdz = M\mu dt + Gdt - Mzdt,$$

решением которого является

$$z = \left(\mu + \frac{G}{M}\right) \left(1 - e^{-\frac{M}{V}t}\right) + z_0 e^{-\frac{M}{V}t}.$$

При  $t \rightarrow \infty$  выразим  $M$ . Итак, получаем формулу определения количества воздуха, которое нужно подавать в помещение или удалять из него при выделении вредностей в самом помещении:

$$M = \frac{G}{z - \mu}.$$

Данную формулу используют при разбавлении вредных веществ до предельно допустимой концентрации (ПДК). Согласно санитарным нормам  $z \leq ПДК$ ,  $\mu \leq 0,3 ПДК$ .

Рассмотрим задачу на воздухообмен и концентрацию вредных веществ. Количественное значение воздухообмена для каждого конкретного помещения отражает тот объем приточного воздуха, который необходим для обеспечения нормального состояния воздушной среды, с целью комфортного функционирования присутствующих в нем людей и работающих приборов.

Задача 1. Определить потребный воздухообмен в помещении со сварочным аппаратом с учетом испарения марганца при ручной дуговой сварке углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Потребный воздухообмен определяется по формуле:

$$M = \frac{G \cdot 1000}{x_g - x_n},$$

где:  $M$  – потребный воздухообмен,  $m^3/ч$ ;  $G$  – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения, г/ч;  $x_g$  – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88, мг/м<sup>3</sup>;  $x_n$  – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест, согласно СН-3086-84, мг/м<sup>3</sup>.

*Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88)*

Наименование вредных веществ	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Агрегатное состояние
Марганец и его соединения (от 20-30%)	0,1	2	а

*Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест (СН-3086-84)*

Наименование вредных веществ	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Агрегатное состояние
Марганец и его соединения	0,01	0,001	а

Примечание: м.р. – максимально разовые, с.с. – среднесменные.

Количество вредностей, выделяющихся в воздухе помещений:

$$G = \frac{\alpha \cdot A \cdot m \cdot n}{100},$$

где:  $\alpha$  – средняя производительность одного рабочего, согласно производственным нормам расхода материалов на следующий вид работы: сварка трубопроводов из низколегированных сталей – ручная дуговая, согласно ВСН 452-84, кг/ч;  $A$  – расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг;  $m$  – процент выделенных примесей, %;  $n$  – число рабочих.

Дано:  $\alpha = 0,5$  кг/ч;  $A = 2$  кг;  $m = 29$  %;  $n = 2$ .

Решение:

Производим расчет по формуле:

$$G = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot 29 \cdot 2}{100} = 0,58 \text{ г/ч}$$

Вычислим необходимый воздухообмен:

$$M = \frac{0,58 \cdot 1000}{0,1 - 0,001} = \frac{580}{0,099} = 5858,586 \approx 5900 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Ответ:  $\approx 5900 \text{ м}^3/\text{ч}$

Задача 2.

А) В аудитории 121 корпуса Л Ухтинского государственного технического университета для занятий собралось 20 студентов группы ТБ-17 и преподаватель. Объем помещения  $V = 70 \text{ м}^3$ . Определить, через сколько времени  $\tau$  после начала занятия нужно включить приточно-вытяжную вентиляцию при следующих нормативных данных:

*Количество CO<sub>2</sub>, выделяемое людьми*

Категория людей	CO <sub>2</sub> , г/ч	CO <sub>2</sub> , л/ч
Взрослыми в состоянии покоя	35	23

*Допустимая концентрация CO<sub>2</sub> в помещении*

Назначение помещений	CO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , л/м <sup>3</sup>
Для периодического пребывания людей: учреждения	1,75	1,25

*Концентрация CO<sub>2</sub> в наружном воздухе*

Тип местности	CO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , л/м <sup>3</sup>
Для городов	0,9	0,6

Решение:

Количество CO<sub>2</sub>, выделяющееся в помещении [2]:

$$G = 21 \cdot 35 = 735 \text{ г/ч}.$$

Рассчитаем время:

$$\tau = \frac{V(x_g - x_n)}{G},$$

где  $V$  – объем помещения,  $G$  – количество выделяющейся вредности,  $x_g$  – допустимая концентрация вредности в воздухе помещения,  $x_n$  – концентрация той же вредности в наружном воздухе, тогда:

$$\tau = \frac{70(1,75-0,9)}{735} \approx 0,08095 \text{ ч} \approx 5 \text{ мин.}$$

Таким образом, вентиляцию следует включить в работу через 5 минут после начала занятия.

Б) При тех же условиях найти количество воздухообмена  $M$ , которое нужно обеспечить для поддержания нормальной концентрации углекислого газа.

Решение:

Пусть содержание углекислоты в  $1 \text{ м}^3$  воздуха в момент времени  $t$  есть  $z(t)$ . Скорость изменения концентрации равна приращению углекислоты  $\Delta z$  за соответствующий

промежуток времени  $\Delta t$ ;  $\Delta z$  определяется углекислотой:

1. выделяемой при дыхании 21 человека,  

$$\frac{21 \cdot 35}{70} \Delta t = \frac{735}{70} \Delta t,$$
2. вводимой вентилятором на каждый кубометр,  

$$\frac{0,9M}{70} \Delta t,$$
3. удаляемой за счет работы вентилятора  

$$\frac{zM}{70} \Delta t.$$

Следовательно,

$$\Delta z = \frac{735}{70} \Delta t + \frac{0,9M}{70} \Delta t - \frac{zM}{70} \Delta t,$$

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{1}{70} (735 + 0,9M - zM),$$

$\Delta t \rightarrow 0$ , тогда

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{70} (735 + 0,9M - zM),$$

$$\frac{dz}{(735+0,9M-zM)} = \frac{dt}{70}.$$

Проинтегрируем методом замены переменной:

$$\int \frac{dz}{(735+0,9M-zM)} = \int \frac{dt}{70},$$

$$\left[ \begin{array}{l} k = (735 + 0,9M - zM) \\ dk = -Mdz \\ dz = -\frac{dk}{M} \end{array} \right],$$

$$-\frac{1}{M} \int \frac{dk}{k} = \frac{1}{70} \int dt,$$

$$\ln|k| = -\frac{M}{70}t + C,$$

$$k = e^{-\frac{M}{70}t} \cdot C.$$

Обратная замена переменной

$$735 + 0,9M - zM = e^{-\frac{M}{70}t} C.$$

Решим задачу Коши при начальных условиях,  $z(0) = 0$ , т.е. при  $t = 0$ :

$$735 + 0,9M - 0M = e^{-\frac{M}{70} \cdot 0} C.$$

Тогда

$$C = 735 + 0,9M.$$

Подставив найденную константу в общее решение, найдем  $M$  при условии, что  $z = 1,75 \text{ г/м}^3$ .

При дальнейшем решении получаем ответ:  $M \approx 865 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Очевидно, что для исключения необходимости частого проветривания помещения, требуется произвести обследование существующей системы вентиляции аудитории и организовать общеобменную вентиляцию этого помещения в строгом соответствии с требованиями санитарных норм и правил.

Также среди дифференциальных уравнений процессов при воздухообмене можно в свою очередь представить, например, уравнение (в частных производных второго порядка) для расчета неустановившегося движения воздуха по воздуховодам, выраженное через давление и скорость движения воздуха:

$$-\frac{\partial p(x, t)}{\partial x} = \frac{\lambda \rho}{8R} v^2(x, t) + \rho \frac{\partial v(x, t)}{\partial x},$$

где давление  $p(x, t)$  и скорость  $v(x, t)$  движения воздуха (средняя по поперечному сечению воздухопровода) являются функциями двух переменных – расстояния от начала воздухопровода до рассматриваемого сечения ( $x$ ) и времени от начала переходных процессов до рассматриваемого момента ( $t$ );  $\lambda$  – коэффициент гидродинамического трения;  $R$  – внутренний радиус трубы;  $\rho$  – плотность воздуха при давлении окружающей среды.

В зависимости от определенного случая, при расчетах на обмен воздуха и допустимых концентраций могут учитываться и другие влияющие на микроклимат помещения факторы, такие как влажность, теплота, выделяемая людьми и/или приборами при конкретных условиях, температура уходящего воздуха, обустройства вытяжной трубы и другие.

**Библиографические ссылки:**

1. Пономарев К. К. Составление дифференциальных уравнений: учеб. пособие. – Минск : Вышэйная школа, 1973. – 560 с.
2. Каледина Н. О. Вентиляция производственных объектов: учеб. пособие. – 4-е изд., стер. / Н. О. Каледина. – М. : Московский государственный горный университет, 2008. – 193 с.
3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ПДК 3086-84 Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
5. ВСН 452-84 Производственные нормы расхода материалов в строительстве.
6. А. Г. Дашковский, М. Э. Гусельников. Расчет потребного воздухообмена. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности». – Томск: изд. ТПУ, 2005. – 16 с.
7. СанПиН-2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. СП 1009-73 Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов.
9. СНиП 2.04.95-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование.

УДК 622.457

**Линейный закон фильтрации**

Климанов В. М.

Научный руководитель – Хозяинова М. С.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Фильтрацией называют движение жидкости и газа по извилистым и очень малым по размерам порам. Изучением науки о движении жидкостей, газов, их смесей в пористых и трещиноватых горных породах занимается подземная гидромеханика – теоретическая основа разработки нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. Начало развитию подземной гидромеханики было положено французским инженером Анри Дарси, который будучи мэром города, в 1856 году при строительстве водопровода в городе Дижоне заметил, что при фильтрации воды через песок происходит ее очистка, сделав выводы, он опубликовал обнаруженный им экспериментальный закон. Учёный провёл исследование на течении воды через вертикальные песчаные фильтры (см. рисунок 1). В результате тщательно проведенных экспериментов был установлен широко известный закон:

$$Q = k_{\phi} \frac{H_1 - H_2}{L} S = k_{\phi} \frac{\Delta H}{L} S \quad (1)$$

где  $Q$  – объемный расход жидкости через песчаный фильтр, длина которого  $L$ , а площадь сечения  $S$ ,  $\Delta H = H_1 - H_2$  – потеря гидравлических напоров воды,  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации.

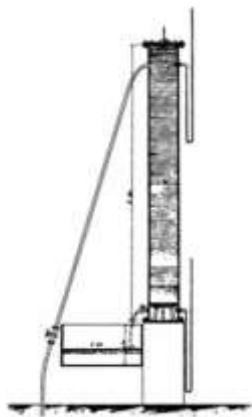


Рисунок 1 – Установка Анри Дарси для исследования течения воды через вертикальные песчаные фильтры

Линейный закон фильтрации устанавливает линейную связь между потерей напора и объёмным расходом жидкости, текущей в трубке, заполненной пористой средой (рисунок 2).

Учитывая соотношение  $u = \frac{Q}{S}$ , формулу (1) можно записать в виде:

$$u = k_{\phi} \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Эта формула применяется при расчёте скоростей для многих жидкостей и газов. Но для некоторых значений скоростей фильтрации жидкостей и газов эта формула не подтверждается. Коэффициент фильтрации  $k_{\phi}$  используется при фильтрации воды. Для расчёта фильтрации смеси нефти, газа и воды желательно учитывать свойства породы и жидкости отдельно.

Свойства жидкости можно охарактеризовать коэффициентом динамической вязкости  $\mu$  и плотностью  $\rho$ , тогда коэффициент фильтрации можно записать в виде:

$$k_{\phi} = \frac{k}{\mu} \rho g, \text{ где}$$

$k$  – коэффициент проницаемости пористой среды,  $\text{м}^2$ ;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . С введением коэффициента фильтрации закон Дарси примет вид:

$$u = \frac{k}{\mu} \frac{H_1 - H_2}{L} \rho g = \frac{k}{\mu} \frac{p_1^* - p_2^*}{L}$$

Где  $p_1^* - p_2^*$  – приведенное давление.

Закон Дарси справедлив при соблюдении следующих условий:

- пористая среда является мелкозернистой и поровые каналы достаточно узки;
- скорость фильтрации и градиент давления малы;
- изменение скорости фильтрации и градиента давления малы.

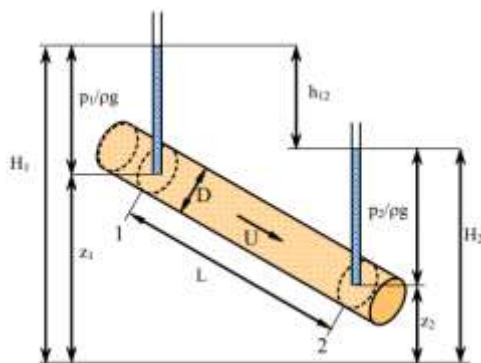


Рисунок 2 – Схема опытной установки

Последователем Арни Дарси был французский учёный Жюль Дюпюи. В те же годы, что и Дарси ученый Ж. Дюпюи изложил теорию фильтрации грунтовых вод, привел формулы дебитов колодцев и решил другие фильтрационные задачи. По сути, уравнение Дюпюи является интегральной формой закона Дарси для случая плоскорадиального (рисунок 3) установившегося потока несжимаемой жидкости к вертикальной скважине. Уравнение Дюпюи связывает продуктивные характеристики скважины (дебит, продуктивность) и фильтрационные свойства пласта (гидропроводность, проницаемость).

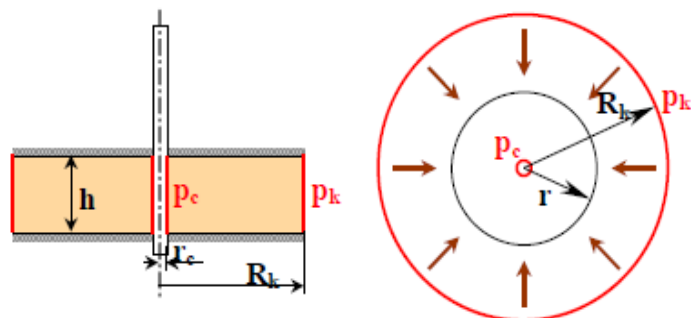


Рисунок 3 – Плоскорадиальный поток (приток к скважине)

Формула Дюпюи:

$$Q = \frac{2\pi kh(p_k - p_c)}{\mu \ln\left(\frac{R_k}{r_c}\right)}$$

$Q$  – дебит скважины;  $h$  – мощность пласта;  $k$  – проницаемость пласта;  $\mu$  – вязкость жидкости;  $r_c$  – радиус скважины;  $p_c$  – давление на скважине;  $R_k$  – радиус контура питания скважины;  $p_k$  – давление на контуре питания скважины.

Исследуя данную формулу, определим, как можно увеличить нефтеотдачу, меняя какой-либо параметр в уравнении:

1. Мощность продуктивного пласта, вскрытая скважиной и её дебит связаны прямой пропорциональной зависимостью. Очевидно, что нефтеотдача будет лучше в горизонте с большей мощностью продуктивного пласта. Данный параметр мы изменить не можем, поскольку он зависит от природы залежи.

2. Проницаемость пласта связана с дебитом скважины пропорциональной зависимостью. Коэффициент проницаемости зависит только от свойств пористой среды пропускать сквозь себя жидкости и газы. Он качественно представляет собой площадь поперечного сечения отдельного капилляра, поэтому проницаемость горных пород мала.

3. Коэффициент динамической вязкости жидкости зависит только от свойств жидкости. Вязкость нефти в пластовых условиях меняется очень в широком диапазоне, и она очень зависит от температуры. В среднем вязкость уменьшается в 2 раза при увеличении температуры на 10 °С. На этом основано использование тепловых методов разработки месторождения.

4. Радиус скважины и радиус контура питания находятся в натуральном логарифме, поэтому при замене данных параметров, существенного изменения в нефтеотдаче наблюдаться не будет (рис.4).

5. Депрессия давлений находится в прямой пропорциональной зависимости, и является величиной переменной.

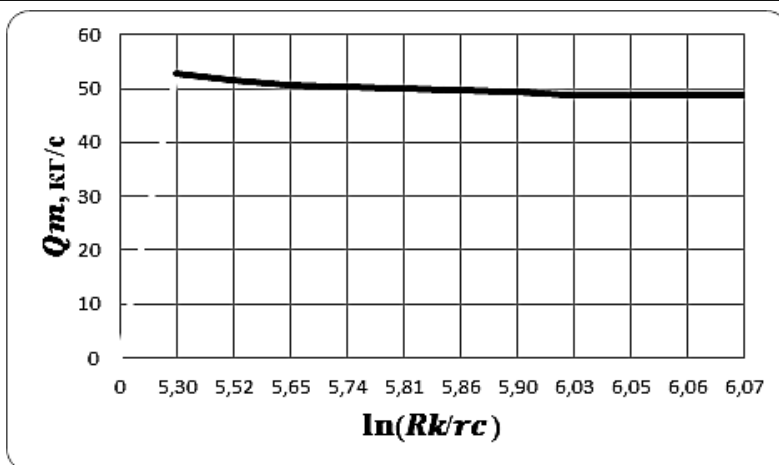


Рисунок 4 – Зависимость дебита скважины

Исследование будет проведено с коэффициентом динамической вязкости на примере Ярегского месторождения.

Нефть Ярегского месторождения относится к нафтеноароматическим углеводородам и характеризуется исключительно высокими значениями вязкости, плотности, смолистости и полностью отсутствием легких фракций. При пластовой температуре ( $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) вязкость нефти составляет  $12000 - 16000$  мПа·с. Вследствие особых специфических характеристик – высокой вязкости нефти, присутствия многочисленных тектонических нарушений и трещин, небольшой пластовой энергии и водоносного горизонта большой толщины в основании залежи – запасы Ярегского месторождения относятся к категории трудноизвлекаемых.

Используя уравнение Дюпюи, исследуем зависимость дебита скважины Ярегского месторождения от вязкости нефти, будем менять значения вязкости нефти. Для этого сначала определим зависимость вязкости нефти от температуры. Исходные данные возьмем из учебного пособия А. Г. Алиева: «Математическое моделирование технологических процессов при термощахтной разработке нефтяных месторождений»:

Таблица 1. – Точность аппроксимации зависимости нефти Ярегского месторождения от температуры

Температура, $^{\circ}\text{C}$	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
Вязкость нефти, мПа·с	16080	10060	5374	3020	1380	633	317	182	105	72	29,5

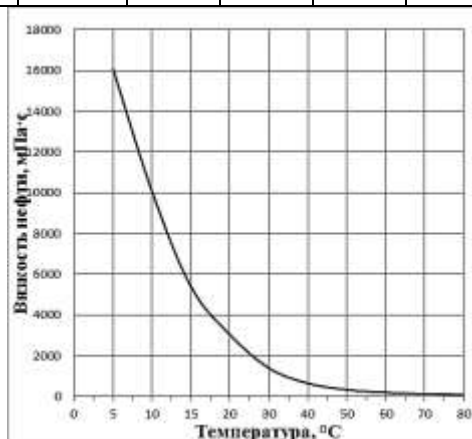


Рисунок 4 – Зависимость вязкости нефти Ярегского месторождения от температур

При расчёте плоскорадиального притока скважине по формуле Дюпюи примем следующие условия: жидкость является однородной и скважина является совершенной.

При следующих данных:

$$p_k - p_c = \Delta p = 3 \text{ Мпа}, k = 2 \text{ мкм}^2, R_k = 25 \text{ м}, h = 50 \text{ м}, r_c = 0,05 \text{ м}.$$



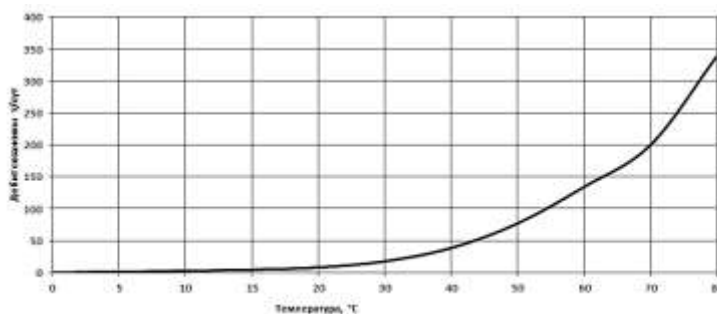


Рисунок 5 – Зависимость притока жидкости к скважине от температуры нефти

Таблица 2 – Зависимость дебита скважины от температуры

Температура, °C	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
Дебит скважины, т/сут	1,5	2,4	4,5	8,1	17,7	38,6	77,1	134,3	200,0	339,4	828,4

Как видно из графика, при недостаточном разогреве пласта вязкость нефти сильно меняется, следовательно, нефтеотдача существенно не увеличивается. Поэтому необходимо нагревать продуктивный пласт при температуре от 50 до 100 градусов.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что между дебитом скважины и температурой нагрева нефти существует прямопропорциональная зависимость. При уменьшении вязкости нефти, с помощью закачки горячего пара приток жидкости к скважине увеличивается.

**Библиографический список:**

1. Пятибрат, В. П. Основы подземной гидромеханики : учеб. пособие / В. П. Пятибрат. – Ухта : УГТУ, 2012. – 123 с.
2. Алиев А.Г. Математическое моделирование технологических процессов при термощахтной разработке нефтяных месторождений : учебное пособие. – Ухта : УИИ, 1998. – 57 с.
3. Коноплёв Ю.П., Буслаев В.Ф., Ягубов З.Х., Цхадая Н.Д. Термощахтная разработка нефтяных месторождений/ Под ред. Д-ра техн. наук Н.Д. Цхадая. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 288 с.: ил.

УДК 519.856

**Критерии качества учебного расписания**

Суханова В.А., Комиссарова И. В.

Научный руководитель – Масляев Д.А.

ГОУ ВО «Коми республиканская академия государственной службы и управления»,

г. Сыктывкар

Целью научного исследования является изучение влияния качества расписания занятий на учебный процесс в ВУЗе.

Задачами научного исследования являются:

- выявление критериев качества учебного расписания;
- анализ влияния выявленных критериев качества на учебный процесс.

Актуальность научного исследования: с каждым годом совершенствуется учебный процесс, вместе с этим растут требования к качеству обучения и, соответственно, к управлению учебным процессом. Одним из инструментов управления учебным процессом является расписание занятий.

Продуктивность использования преподавательского состава и качество обучения студентов в ВУЗе в определённой мере зависит от организации и управления учебным процессом. В составляющие данного процесса входит и расписание занятий. Так как нет единого критерия для составления оптимального расписания занятий – создать такое за

один цикл очень сложно, интересы участников образовательного процесса весьма разные, а критериев составления расписания занятий много. Расписание носит комплексный характер и должно учитывать интересы студентов, преподавательского состава и руководства ВУЗа, а также требования методического и организационного характера. К сожалению, учесть то множество факторов, которые влияют на качество составления расписания, невозможно.

Задачей составления расписания занятий является не только распределение занятий и аудиторий - от этого напрямую зависит и экономический результат, который возрастает при высокоэффективном использовании и управлении трудовыми ресурсами.

У каждой специальности в учебном плане прописаны дисциплины, которые должны быть изучены и их очерёдность. Расписание занятий ВУЗа – это несколько расписаний, объединённых в одно, в которое входит: расписание экзаменов студентов дневной формы обучения, расписание экзаменов студентов заочной формы обучения, расписание занятий для студентов дневной и заочной форм обучения, распределение ресурсов (преподавательский состав, аудитории). Расписание занятий студентов очного и заочного отделений имеет разный характер: у первой группы периодический, у второй – календарный.

Расписание занятий должно отвечать общим требованиям его составления:

- в определённый момент времени у преподавателя должно быть только одно занятие в одной аудитории;
- группе должно быть поставлено только одно занятие в одной аудитории (если нет разделения на подгруппы);
- одновременно занятия не могут проводиться в двух разных аудиториях;
- сначала читаются лекции, затем практические занятия;
- вместимость аудитории должна быть не меньше количества студентов в группе;
- должно быть прописано полное наименование дисциплины, указан вид занятия (лекция, практическое, семинар, лабораторное), аудитория, ФИО преподавателя.

Расписание учебных занятий – это основополагающий документ, включающий в себя все элементы образовательного процесса, именно оно закрепляет образовательную работу студентов и преподавательского состава, а также руководства ВУЗа.

Расписание занятий в первую очередь должно соответствовать учебному плану, рабочим программам, отвечать ключевым педагогическим требованиям.

К сожалению, не всегда получается учесть то множество факторов влияющих на составление расписания в связи с чем возникает вопрос: каким критериям должно соответствовать действительно качественное расписание, и как представленные показатели могут повлиять на эффективность предоставления образовательных услуг высшим учебным заведением. Пример неудачного расписания представлен в Таблице 1.

Таблица 1. «Неудачное расписание».

	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
1	Предмет 1 (лек.) корпус 1			Предмет 2 (практ.) корпус 1	Предмет 2 (лек.) корпус 1	
2	Предмет 2 (практ.) корпус 1		Предмет 3 (лек.) корпус 1		Предмет 3 (лаб.) корпус 1	Предмет 4 (практ.) корпус 2
3			Предмет 3 (видео) корпус 1		Предмет 3 (практ.) корпус 1	Предмет 4 (лаб.) корпус 2
4	Предмет 3 (практ.) корпус 1		Предмет 3 (практ.) корпус 1		Предмет 2 (лаб.) корпус 1	
5	Предмет 4 (лек.) корпус 2	Предмет 2 (лек.) корпус 1			Предмет 1 (лек.) корпус 1	
6		Предмет 1 (лек.) корпус 1				

Недостатки расписания, приведённого в Таблице 1:

- неравномерное распределение учебной нагрузки (занятия проводятся в разное время (особенно неудобно для работающих студентов));
- учебные дни не идентичны (нет даже приближенного к постоянному расписанию (нельзя определить заранее к какому дню нужно подготовить домашнее задание));
- в расписании не должно быть только одной пары;
- присутствует более двух одинаковых пар подряд;
- есть пары, которые проводятся в позднее время (5,6 пары);
- пары проводятся в разных корпусах;
- между парами присутствуют «окна»;
- есть день, в который проводится более 4 пар;
- присутствуют пары, проводимые без присутствия преподавателя (по видеосвязи).

Одним из критериев качества расписания является отсутствие окон между парами для групп. Данный критерий влияет на образовательный процесс таким образом: вынуждает студентов и преподавателей нерационально использовать свое время. При слишком длительных разрывах в расписании зачастую студенты по истечении некоторого времени начинают злоупотреблять возникшей ситуацией и позволяют себе не явиться на занятие и отправиться домой, не вернувшись, следовательно, квалификация обучающегося начинает снижаться уже на этапе обучения, что в последующем может отразиться на будущем месте работы при выполнении должностных обязанностей, а также испортить репутацию учебного заведения, показав низкую образованность студента. Большие перерывы и не четко составленное расписание лишают возможности устроиться на дополнительную подработку [1].

Следующий критерий — это большое количество пар в день. Также отражается в негативном ключе на деятельности обучающегося, так как предложенный критерий не позволяет в полной мере усвоить информацию, поступающую от преподавателей, ведь захватить внимание студента очень часто бывает сложно, тем более если это одинаково стоящие друг за другом лекции или же семинарские занятия. Для преподавателей это также является слишком большой нагрузкой, что также имеет влияние на пользу и качество предоставляемой для студентов информации.

Такой критерий как идентичность учебных дней. Зачастую в некоторых учебных заведениях отсутствует постоянное расписание или же если оно есть, то в нём не редко присутствует большое количество изменений, что также говорит о невозможности студентов и преподавателей правильно распоряжаться своим временем и планировать свою деятельность [2].

В наше время стали внедрять проведение пар по видеосвязи, что носит негативный характер. Некоторые категории людей не усваивают материал, предоставляемый по видеосвязи. Частым явлением становятся неполадки с Интернет-соединением, что вовсе может стать причиной отмены занятия. Дисциплины необходимо проводить в присутствии преподавателя.

Необходимо стремиться к проведению лекционных занятий в первой половине дня, а практических занятий во второй половине, всё дело в том, что работоспособность студентов и преподавателей в первой половине дня намного выше, нежели во второй. Практические занятия являются более интересной составляющей учебного процесса, и заинтересованность обучающихся, как правило, возрастает, что положительно влияет на успех в усвоении материала по дисциплине [3].

Проведение практического занятия в нескольких группах одновременно должно исключаться так как преподаватель, как правило, не в силах уделить достаточно внимания каждому студенту и вложить в него определенный набор знаний, что указывает на снижение высококвалифицированности обучающегося.

Количество лекционных занятий у преподавателей не должно превышать трех, фокусировать внимание слушателей становится все сложнее, появляется множество отвлекающих факторов.

В Таблице 2 предложено качественное, на наш взгляд, расписание.

Таблица 2 «Качественное расписание».

	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
1						
2	Предмет 1 (лек.) корпус 1	Предмет 4 (лек.) корпус 2	Предмет 2 (лек.) корпус 1	Предмет 3 (практ.) корпус 1	Предмет 3 (лек.) корпус 1	Предмет 2 (лек.) корпус 1
3	Предмет 2 (практ.) корпус 1	Предмет 4 (практ.) корпус 2	Предмет 3 (лаб.) корпус 1	Предмет 2 (практ.) корпус 1	Предмет 3 (практ.) корпус 1	Предмет 2 (лаб.) корпус 1
4	Предмет 3 (практ.) корпус 1	Предмет 3 (лек.) корпус 2	Предмет 4 (лаб.) корпус 1	Предмет 1 (практ.) корпус 1	Предмет 1 (лек.) корпус 1	

Создание расписания – это трудоемкий процесс, который практически постоянно требует определенной корректировки и доработки, например, во время учебного процесса обеспечение замены преподавателя на случай болезни или увольнения. От правильно составленного оптимального расписания зависит очень многое, а самое главное это качественно и эффективно построенное обучение в ВУЗе.

**Библиографический список:**

1. Есенбаева, Г.А. Оценка факторов, влияющих на качество образования в вузе / Г.А. Есенбаева, К.С. Какенов, У.К. Какенова // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 2-2. – С. 241-244;
2. Иванченко, И. В. Проблема повышения качества образования в вузе / И.В. Иванченко // Молодой ученый. — 2016. — №5.1. — С. 18-21;
3. Клеванский, Н.Н. Формирование расписания занятий высших учебных заведений / Н.Н. Клеванский // [www.muiv.ru](http://www.muiv.ru);

УДК 517.945

**Сравнительный анализ методов решения задачи Коши для дифференциальных уравнений первого порядка**

Компанец А. Ю.

Научный руководитель – Мужикова А. В.

Ухтинский государственный технический университет

**Постановка задачи.** При решении различных задач математики, физики, химии и других наук часто пользуются математическими моделями в виде уравнений, связывающих независимую переменную, искомую функцию и ее производные. Такие уравнения называются дифференциальными. Термин «дифференциальные уравнения» принадлежит Готфриду Лейбницу, 1676 г. Дифференциальные уравнения являются именно тем инструментом, который позволяет установить ту теоретическую взаимосвязь между явлениями, которую потом можно проверить в ходе эксперимента. Основная сложность состоит в том, что произвольное уравнение не решается. Не создано общих методов, подходящих для любого дифференциального уравнения. Продемонстрируем многообразие методов решения и их сущность. Существуют три группы методов решения дифференциальных уравнений: точные, приближенные и качественные. Проанализируем их достоинства и недостатки на конкретных примерах решения задачи Коши для дифференциальных уравнений первого порядка.

**Методология решения дифференциальных уравнений**

**I. Точные методы.**

**1) Решение в замкнутой форме** – представление решения в виде выражения, составленного из конечного числа простейших операций над элементарными функциями.

Сначала ученые решали простейшие уравнения, затем используя их переходили к более сложным, которые сводятся к предыдущим, в надежде найти общие методы решения

любых дифференциальных уравнений. Однако на сегодняшний день класс таких уравнений, допускающих точное решение, не велик. Именно с ними мы знакомимся в курсе высшей математики в вузе. Но все многообразие физических процессов и явлений, для описания которых используются дифференциальные уравнения, не может быть описано комбинацией небольшого числа элементарных функций.

**2) Представление решения в виде бесконечного ряда, интеграла** (решение в квадратурах), и т. д. Получающиеся решения уже не представляются в виде конечного числа элементарных функций, и иногда оказывается, что они хорошо описывают какой либо физический процесс. Эти функции называли специальными, их значения заданы в таблицах. Источником появления большинства специальных функций являются именно дифференциальные уравнения. Несмотря на расширение точных методов, многие задачи решить так и не удастся. Особенно это касается нелинейных уравнений. Иногда, когда решение в виде разложения функции в ряд получено (как это осуществляется, мы проиллюстрируем позже на примере), структура решения получается очень громоздкой, и какие то существенные свойства решений не удастся. Посмотрим, простой ряд Тейлора для экспоненты:  $e^x = 1 + x + x^2/2 + x^3/6 + \dots$ . Можно предположить, что функция быстро возрастает, ни четная, ни нечетная, ну вообще то и все. Ну а если коэффициенты в полученном решении более сложные, то выводы о поведении функции сделать невозможно. Возникает необходимость применения приближенных методов, являющейся большой группой решений, применяющихся в практике решения дифференциальных уравнений.

## **II. Приближенные методы**

Очень долгое время приближенным методам уделялось мало внимания. Труды ученых были направлены на поиски точных методов решений дифференциальных уравнений. Но ведь погрешность, свойственная приближенным методам, не превышает заданного уровня, и соответственно ее можно сделать достаточно малой и тогда отличие точного и приближенного решения становится практически незаметным. И самое главное это то, что для решения уравнений некоторыми приближенными методами можно просто воспользоваться существующими прикладными пакетами или провести вычислительную схему самостоятельно. В настоящее время приближенные методы достаточно развиты. Можно выделить основные направления:

**1) Аналитические методы** – приближенное решение в виде формулы. Основные приемы: неполное или приближенное выполнение операций (например, в разложении решения в ряд взять не все слагаемые); отбрасывание в дифференциальном уравнении сложных слагаемых и сведение его к линейному уравнению; и. т. д. Большинство приближенных методов являются развитием точных методов. Реализация этих методов требует серьезной математической подготовки. Пример реализации будет продемонстрирован в данной работе.

**2) Асимптотические методы.** Асимптотические методы позволяют отыскивать приближенные решения дифференциальных уравнений, близких к таким уравнениям, решения которых известны. В прикладных задачах часто бывает, что на течение рассматриваемого физического процесса влияют как основные параметры, определяющие ход процесса, так и другие факторы, оказывающие меньшее влияние. При учете только основных факторов можно получить точное решение, вот только их и учитывают при решении.

**3) Численные методы** – в качестве окончательного результата дают таблицу приближенных значений функций для набора узловых значений аргумента. В связи со стремительным развитием вычислительной техники роль этих методов возрастает. Они основаны на конечно-разностном представлении уравнения, когда входящие в него производные заменяют конечными приращениями искомой функции и независимой переменной. Далее независимой переменной придаются дискретные значения, при этом дифференциальное уравнение приближенно переходит к системе алгебраических уравнений, которые решать гораздо проще. Однако у численных методов есть и недостаток. Он состоит

в том, что они позволяют найти только одно частное решение дифференциального уравнения. А для нахождения других частных решений задачу надо решать заново. В результате строятся либо таблицы чисел, либо графики частных решений, по которым уже исследователь пытается понять, как ведет себя физический процесс в зависимости от различных параметров. Другим недостатком является то, что возможна значительная погрешность решения.

**4) Итерационные методы** – уточнение решения происходит за счет многократного использования исходного уравнения

**5) Эвристические методы** – методы, математическое обоснование правильности которых отсутствует, но которые дают хорошие результаты. В научной литературе встречаются редко.

**III. Качественные методы** – получение различной информации о решении по внешнему виду уравнения.

#### Практическая реализация и анализ

Для иллюстрации методов решений дифференциальных уравнений рассмотрим задачу Коши для дифференциальных уравнений первого порядка.

**Дифференциальным уравнением первого порядка** называется уравнение вида:

$$F(x; y; y')=0.$$

(равенство, связывающее независимую переменную  $x$ , искомую функцию  $y$  и ее производную). Если уравнение можно разрешить относительно  $y'$ , то его записывают в виде  $y' = f(x, y)$  и называют дифференциальным уравнением первого порядка, разрешенным относительно производной. Условие  $y(x_0) = y_0$  называется начальным условием. Задача отыскания частного решения дифференциального уравнения первого порядка, удовлетворяющего заданному начальному условию, называется **задачей Коши**.

Рассмотрим дифференциальное уравнение первого порядка  $y' + 2y = e^{-x}$  с начальным условием  $y(0) = 2$ . Данное уравнение является линейным. Применяя метод Бернулли (решение ищут в виде  $y = uv$ ) получим точное общее решение  $y = e^{-2x} \cdot (e^x + C)$ , а затем частное решение  $y = e^{-2x} \cdot (e^x + 1)$ . Поскольку метод Бернулли входит в стандартный курс высшей математики для технических направлений, мы не будем останавливаться на нем подробно. Для проведения сравнительного анализа решений применим для решения приближенные методы: аналитические и численные.

**Аналитический метод** поиска приближенного решения дифференциального уравнения с помощью степенных рядов является более универсальным, поскольку применяется как для решения уравнений первого, так и для более высоко порядка, линейных и нелинейных. В этом методе решение ищется в виде ряда Тейлора:

$$y(x) = y(x_0) + \frac{y'(x_0)}{1!}(x-x_0) + \frac{y''(x_0)}{2!}(x-x_0)^2 + \frac{y'''(x_0)}{3!}(x-x_0)^3 + \dots$$

Неизвестными величинами являются производные. Каждое последующее взятие производной будет все более сложным и громоздким. Поэтому если зависимости не видно, то нужно вычислить столько производных сколько возможно. Итак, на нулевом шаге записываем значение  $y(0) = 2$ , которое всегда известно из условия.

Вычислим  $y'(0)$ . Для этого в правую часть исходного уравнения  $y' = e^{-x} - 2y$  вместо  $y$  подставляем известное значение  $y = y(0) = 2$ , тогда  $y'(0) = e^0 - 2 \cdot 2 = 1 - 4 = -3$ .

Вычислим  $y''(0)$ . Сначала находим вторую производную:  
 $y'' = (y')' = (e^{-x} - 2y)' = -e^{-x} - 2y'$ . Подставляем в правую часть найденное в предыдущем пункте значение  $y' = y'(0) = -3$ , тогда  $y''(0) = -e^0 - 2 \cdot (-3) = 5$ . Продолжая последовательное дифференцирование, получаем:

$$3) y''' = (y'')' = (-e^{-x} - 2y')' = e^{-x} - 2y'', \quad y'''(0) = e^0 - 2 \cdot 5 = 1 - 10 = -9.$$

$$4) y^{IV} = (y''')' = (e^{-x} - 2y'')' = -e^{-x} - 2y''', \quad y^{IV}(0) = -e^0 - 2 \cdot (-9) = -1 + 18 = -17.$$

$$5) y^V = (y^{IV})' = (-e^{-x} - 2y''')' = e^{-x} - 2y^{IV}, \quad y^V(0) = e^0 - 2 \cdot (-17) = 1 + 34 = 35, \text{ и т. д.}$$

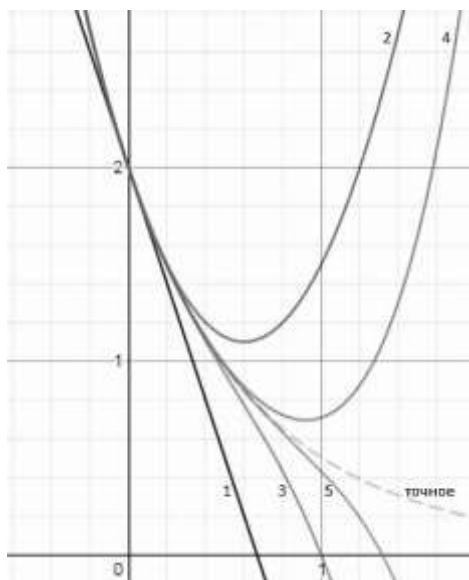
В итоге, можно получить несколько приближенных решений данного дифференциального уравнения, взяв определенное количество ненулевых членов в разложении:

$$1) y = 2 - 3x; \quad 2) y = 2 - 3x + \frac{5x^2}{2}; \quad 3) y = 2 - 3x + \frac{5x^2}{2} - \frac{9x^3}{6};$$

$$4) y = 2 - 3x + \frac{5x^2}{2} - \frac{9x^3}{6} + \frac{17x^4}{24}; \quad 5) y = 2 - 3x + \frac{5x^2}{2} - \frac{9x^3}{6} + \frac{17x^4}{24} - \frac{33x^5}{120}.$$

На рисунке представлены графики приближенных решений 1) – 5) и точное решение. Заметим, что в силу существования области сходимости ряда к исходной функции, с удалением  $x$  от начальной (опорной) точки  $x_0$  сходимость каждого из этих рядов ухудшается. А при достаточно больших  $x$ , выходящих за интервалы их сходимости, разложение решения дифференциального уравнения в полученные ряды становится заведомо несправедливым. Нами проведено вычисление суммарной невязки точного и приближенных решений в виде средней погрешности  $\Delta = 1/n \sum |y_i - \tilde{y}_i|$  на промежутке  $[-0,5; 0,5]$  с шагом разбиения  $h = 0,1$  для разного количества слагаемых в приближенном решении уравнения. Результат состоит в том, что для приближенного решения 2)  $\Delta = 1,3 \cdot 10^{-2}$ , для 3)  $\Delta = 2,3 \cdot 10^{-3}$ , для 4)  $\Delta = 3,4 \cdot 10^{-4}$ , т. е. погрешность заметно уменьшается при учете большего числа слагаемых.

Перейдем к реализации решений рассматриваемого уравнения  $y' + 2y = e^{-x}$  с начальным условием  $y(0) = 2$  **численными методами**.



Перейдем к реализации решений рассматриваемого уравнения  $y' + 2y = e^{-x}$  с начальным условием  $y(0) = 2$  **численными методами**.

### Метод Эйлера

Идея метода заключается в том, чтобы заменить график решения уравнения линией, построенной по отдельным точкам. Найдем частное решение рассматриваемого уравнения  $y' + 2y = e^{-x}$ , соответствующее начальному условию  $y(0) = 2$ , методом Эйлера на отрезке

$[0;1]$  с шагом  $h = 0,1$ . Это означает, что мы найдем 10 различных точек.

Все значения  $x$  нам известны из условия, а вот каждое следующее значение  $y$  получается из предыдущего по формуле:  $y_{i+1} = y_i + h \cdot f(x_i; y_i)$ . Представим дифференциальное уравнение  $y' + 2y = e^{-x}$  в виде  $y' = f(x; y)$ :  $y' = e^{-x} - 2x$ . Таким образом:  $f(x; y) = e^{-x} - 2x$ .

Начальное условие:  $y(0) = 2$ , отсюда  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 2$ ,  $f(x_0; y_0) = f(0; 2) = e^{-0} - 2 \cdot 2 = -3$ ,  $hf(x_0; y_0) = 0,1 \cdot (-3) = -0,3$ . Затем  $x_1 = 0,1$ ,  $y_1 = y_0 + hf(x_0; y_0) = 2 - 0,3 = 1,7$ ,  $f(x_1; y_1) = f(0,1; 1,7) = e^{-0,1} - 2 \cdot 1,7 \approx -2,495$ ,  $hf(x_1; y_1) = 0,1 \cdot (-2,495) = -0,2495$ , и т.д., получаем все значения  $y_{i+1}$  (расчеты автоматизированы и проведены в Excel). Результаты вычислений представлены в таблице. Недостатком данного метода, является большая погрешность. Качественным улучшением метода Эйлера является усовершенствованный метод Эйлера. Проиллюстрируем его применение на том же примере.

#### Усовершенствованный метод Эйлера

Алгоритм решения такой же, но формула, усложняется:

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i, \text{ где } \Delta y_i = hf\left(x_i + \frac{h}{2}; y_i + \frac{h}{2} f(x_i; y_i)\right).$$

Начальное условие:  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 2$  и сразу же мы можем найти 1-й аргумент «внешней» функции:  $x_0 + \frac{h}{2} = 0 + \frac{0,1}{2} = 0,05$ . Далее мы вычисляем 2-й аргумент «внешней»

функции:  $f(x_0; y_0) = f(0; 2) = e^{-0} - 2 \cdot 2 = -3$ ,  $y_0 + \frac{h}{2} f(x_0; y_0) = 2 + 0,05 \cdot (-3) = 1,85$ .

После чего мы рассчитываем функцию полученных аргументов:

$$f\left(x_0 + \frac{h}{2}; y_0 + \frac{h}{2} f(x_0; y_0)\right) = f(0,05; 1,85) = e^{-0,05} - 2 \cdot 1,85 \approx -2,749, \text{ умножаем на } h:$$

$$\Delta y_0 = hf\left(x_0 + \frac{h}{2}; y_0 + \frac{h}{2} f(x_0; y_0)\right) = 0,1 \cdot (-2,749) = -0,2749.$$

И находим следующее значение:  $y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 2 - 0,2749 = 1,7251$ , и т. д.

Погрешность данного метода значительно меньше, чем прошлого, но недостаточно идеальна, поэтому представим еще один метод.

#### Классический метод Рунге-Кутты 4-го порядка

При использовании метода Рунге-Кутты на каждом шаге нам придется вычислить значение функции  $f(x; y) = e^{-x} - 2y$  4 раза. Каждое следующее значение  $y$  получается из предыдущего по формуле:  $y_{i+1} = y_i + \Delta y_i$ , где  $\Delta y_i = \frac{h}{6} \cdot (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$ , где:  $k_1 = f(x_i; y_i)$ ,

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{h}{2}; y_i + \frac{hk_1}{2}\right), k_3 = f\left(x_i + \frac{h}{2}; y_i + \frac{hk_2}{2}\right), k_4 = f(x_i + h; y_i + hk_3)$$

Итак,  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 2$ .  $k_1 = f(x_0; y_0) = f(0; 2) = e^{-0} - 2 \cdot 2 = -3$ .

$$k_2 = f\left(x_0 + \frac{h}{2}; y_0 + \frac{hk_1}{2}\right) = f\left(0 + \frac{0,1}{2}; 2 + \frac{0,1 \cdot (-3)}{2}\right) = f(0,05; 1,85) = e^{-0,05} - 2 \cdot 1,85 \approx -2,749.$$

$$k_3 = f\left(x_0 + \frac{h}{2}; y_0 + \frac{hk_2}{2}\right) = f\left(0,05; 2 + \frac{0,1 \cdot (-2,749)}{2}\right) = f(0,05; 1,86255) = e^{-0,05} - 2 \cdot 1,86255 \approx -2,774.$$

$$k_4 = f(x_i + h; y_i + hk_3) = f(0 + 0,1; 2 + 0,1 \cdot (-2,774)) = f(0,1; 1,7226) = e^{-0,1} - 2 \cdot 1,7226 \approx -2,54.$$

$$\Delta y_0 = \frac{h}{6} \cdot (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) = \frac{0,1}{6} \cdot (-3 + 2 \cdot (-2,749) + 2 \cdot (-2,774) - 2,54) \approx -0,276.$$



Отсюда получаем  $y_1 = y_0 + \Delta y_0 \approx 1 - 0,276 \approx 1,724$ , и т. д. Данный метод максимально приближен к точному решению. В таблице представлены результаты применения рассмотренных численных методов и погрешности, иллюстрирующие сделанные относительно них выводы:

$x_i$	Точные значения	Метод Эйлера	Погрешность	Усовершенствованный метод	Погрешность	Метод Рунге-Кутты	Погрешность
0	2	2	0	2	0	2	0
0,1	1,72357	1,70000	0,02357	1,72512	0,00155	1,72357	0,0000033
0,2	1,48905	1,45048	0,03857	1,49162	0,00257	1,48906	0,0000055
0,3	1,28963	1,24226	0,04737	1,29282	0,00319	1,28964	0,0000068
0,4	1,11965	1,06789	0,05176	1,12318	0,00353	1,11966	0,0000075
0,5	0,97441	0,92134	0,05307	0,97806	0,00365	0,97442	0,0000078
0,6	0,85001	0,79773	0,05228	0,85364	0,00364	0,85001	0,0000077
0,7	0,74318	0,69306	0,05012	0,74670	0,00352	0,74319	0,0000075
0,8	0,65123	0,60411	0,04712	0,65457	0,00334	0,65123	0,0000071
0,9	0,57187	0,52822	0,04365	0,57499	0,00312	0,57188	0,0000067
1	0,50321	0,46323	0,03998	0,50610	0,00289	0,50322	0,0000062
Сумма погрешностей			0,44747	0,03101		0,0000661	
Средняя погрешность			0,04068	0,00282		0,0000060	

**Библиографический список:**

1. Мышкис А. Д. Лекции по высшей математике : учебное пособие / А. Д. Мышкис. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб., 2007. – 688 с.
2. Высшая математика в упражнениях и задачах : В 2 ч. Ч. 2 / Павел Ефимович Данко [и др.]. – 7-е изд., испр. – Москва : ОНИКС : Мир и Образование, 2008. – 448 с.
3. Высшая математика – просто и доступно! Режим доступа: <http://www.mathprofi.ru>

УДК 622.001.4

**Методы математического моделирования массивов горных пород**

Красниенко Д.Е.

Научный руководитель – Даль. Н.Н.

*Филиал Ухтинского государственного технического университета в г. Воркуте*

Массив горных пород представляет собой сложную иерархично-блочную среду [1]. Горные работы предполагают возникновение необратимых пластических деформаций, процессы упругого деформирования, смещений и разрушений пород с разрывом сплошности. Для численного определения этих явлений используются методы математического моделирования.

Основными математическими методами, которые позволяют создать эффективную математическую модель разработки системы выработок и целиков, являются численные методы. Основным достоинством этих методов является универсальность, применимость для широкого класса задач и относительная простота вычислений. Их недостатком является большой объем вычислений, однако применение электронно-вычислительной техники позволяет его преодолеть и при достаточной надежности исходных данных обеспечить точность решений, достаточную для практики. [2]. Наибольшую популярность получили метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ).

Метод конечных разностей начал развиваться раньше МКЭ и является старейшим

методом решения краевых задач. Суть данного метода состоит в покрытии расчётной области регулярной сеткой, а дифференциальное уравнение для какой-либо точки заменяется некоторым уравнением в конечных разностях. Это уравнение получают путем замены в дифференциальном уравнении производных и других дифференциальных операций их приближенными выражениями через разностные отношения или значения функций в узлах сетки, окружающих расчётную точку [2]. Программный пакет FLAC утилизировал именно этот метод. Главным недостатком данного метода является трудность в анализе непрямолинейных границ. Данный метод хорошо подходит для полубесконечных тел.

Метод МКР позволяет решать задачи геомеханики в замкнутом виде.

Примером может являться расчет пластин который сводится к решению бигармонического уравнения (Софи Жермен)[3]

$$\frac{\partial W_i}{\partial K^4} + \frac{\partial^4 W_i}{\partial K^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W_i}{\partial y^4} = \frac{q_i}{D} \quad (1)$$

где:  $W$  – прогиб пород основной кровли;

$q$  – интенсивность распределенной нагрузки;

$D$  - цилиндрическая жесткость пластины  $D = \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)}$

$E$  и  $\nu$ - модуль упругости и коэффициент Пуассона материала пластины;

$\delta$  - толщина пластины.

Для выражения производных через значения функции в отдельных узлах используется ряд Тейлора

$$W_{x-2h} = W_x - 2h \frac{dW_x}{dx} + \frac{(2h)^2}{2!} * \frac{d^2W_x}{dx^2} - \frac{(2h)^3}{3!} * \frac{d^3W_x}{dx^3} + \frac{(2h)^4}{4!} * \frac{d^4W_x}{dx^4} - \frac{(2h)^5}{5!} + \dots (2)$$

$$W_{x-h} = W_x - h \frac{dW_x}{dx} + \frac{h^2}{2!} * \frac{d^2W_x}{dx^2} - \frac{3}{3!} * \frac{d^3W_x}{dx^3} + \frac{h^4}{4!} * \frac{d^4W_x}{dx^4} - \frac{h^5}{5!} + \dots (3)$$

$$W_{x+h} = W_x + hW_x^I + \frac{h^2}{2!} W_x^{II} + \frac{h^3}{3!} W_x^{III} + \frac{h^4}{4!} W_x^{IV} + \frac{h^5}{5!} W_x^V + \dots (4)$$

$$W_{x+2h} = W_x + 2hW_x^I + \frac{(2h)^2}{2!} W_x^{II} + \frac{(2h)^3}{3!} W_x^{III} + \frac{(2h)^4}{4!} W_x^{IV} + \frac{(2h)^5}{5!} W_x^V + \dots (5)$$

Здесь  $+h$  и  $-h$  – шаг разбиения (шаг сетки). Из (3) и (4) можно получить выражение для первой производной:

$$\frac{dW_x}{dx} = \frac{1}{2h_x} (-W_{x-h} + W_{x+h}) - \frac{h^2}{3!} * \frac{d^3W}{dx^3} + \dots (6)$$

Исключая из рядов (2), (3) и (4) вторые и третьи производные, получим более точные выражения для первой производной

$$\frac{dW_x}{dx} = \frac{1}{6h_x} (-2W_{x-h} - 3W_x + 6W_{x+h} - W_{x+2h}) + \frac{h^3}{12} * \frac{d^4W_x}{dx^4} + \dots (7)$$

Аналогично из рядов (2), (3) и (4) получим:

$$\frac{dW_x}{dx} = \frac{1}{6h_x} (W_{x-2h} - 6W_{x-h} + 3W_x - 2W_{x+h}) - \frac{h^3}{12} * \frac{d^4W_x}{dx^4} + \dots (8)$$

Из рядов (3) и (4) получим вторую производную:

$$\frac{d^2W_x}{dx^2} = \frac{1}{h_x^2} (W_{x-h} - 2W_x + W_{x+h}) - \frac{h_x^2}{12} * \frac{d^4W_x}{dx^4} + \dots (9)$$

$$\frac{d^2 W_y}{dy^2} = \frac{1}{h_y^2} (W_{y-h} - 2W_y + W_{y+h}) - \frac{h_y^2}{12} * \frac{d^4 W_y}{dy^4} - \dots (10)$$

Из рядов (2), (5) третью и четвертую производные:

$$\frac{d^3 W_x}{dx^3} = \frac{1}{2h_x^3} (-W_{x-2h} + 2W_{x-h} - 2W_{x+h} + W_{x+2h}) - \frac{h_x^2}{4} * \frac{d^5 W_x}{dx^5} - \dots (11)$$

$$\frac{d^4 W_x}{dx^4} = \frac{1}{h_x^4} (W_{x-2h} - 4W_{x-h} + 6W_x - 4W_{x+h} + W_{x+2h}) - \frac{h_x^2}{6} * \frac{d^6 W_x}{dx^6} - \dots (12)$$

$$\frac{d^4 W_y}{dy^4} = \frac{1}{h_y^4} (W_{y-2h} - 4W_{y-h} + 6W_y - 4W_{y+h} + W_{y+2h}) - \frac{h_y^2}{6} * \frac{d^6 W_y}{dy^6} - \dots (13)$$

При прямоугольной сетке (рис. 1) с шагами  $h_x$  и  $h_y$  и получим четвертую смешанную производную [11]:

$$\frac{\partial^4 W_i}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left( \frac{\partial^2 W_i}{\partial x^2} \right) (14)$$

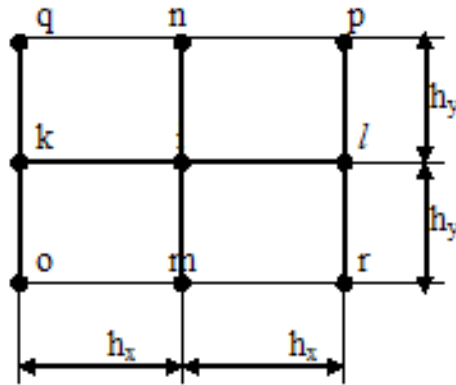


Рис. 1 Обозначение узлов прямоугольной сетки

Используя выражения (8) и (9) получим:

$$\frac{\partial^4 W_i}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[ \frac{1}{h_x^2} * (W_k - 2W_i + W_o) - \frac{h_x^2}{12} * \frac{\partial^4 W_i}{\partial x^4} \right] \text{ или}$$

$$\frac{\partial^4 W_i}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{1}{h_x^2 h_y^2} \left[ (4W_i - 2(W_k + W_l + W_m + W_b)) + (W_o + W_p + W_q + W_r) \right] (15)$$

Подставим в дифференциальное уравнение (15) производные (12), (13), (14) и

получим конечно-разностный оператор этого уравнения, обозначив  $a = \frac{h_x}{h_y}$

$$\left[ 6\left(\frac{1}{a^2} + a^2\right) + 8 \right] W_i - 4\left(\frac{1}{a^2} + 1\right)(W_k + W_l) - 4(a^2 + 1)(W_m + W_n) +$$

$$2(W_o + W_p + W_q + W_r) + \frac{1}{a^2}(W_x + W_t) + a^2(W_v + W_y) = \frac{q_i h_x^2 h_y^2}{D} = q \quad (16)$$

Среди специализированного программного обеспечения, реализующего МКР следует отметить программу FLAC(быстрый анализ континуумов Лангранджа) – это цифровое

обеспечение, предназначенное для моделирования продвинутого геотехнического анализа почв, горных пород, подземных вод и земной поддержки в двух измерениях. FLAC используется для анализа, тестирования и разработок геотехническими, гражданскими и горными инженерами. Он разработан в США компанией «Itasca Consulting Group» в 1986 г. для любого геотехнического инженерного проекта, который требует анализа континуума. Этот пакет является одним из самых мощных и широко распространенных геомеханических пакетов в современной горной практике. FLAC использует метод конечных разностей, который может моделировать сложные ситуации, например, проблемы, которые состоят из нескольких этапов, больших смещений и деформаций, нелинейное поведение материала, или неустойчивых систем (даже случаев выхода или отказа на больших площадях, или полного коллапса). [3] Недостатком данного программного обеспечения является тяжелый в освоении интерфейс, отсутствие обоснований применяемого математического аппарата, заложенного в программе, и возможность применения данного пакета ограничивается использованием данной программы только при рассмотрении задач в пределах действия линейного закона Гука, что включает в себя глубины заложения выработок от 200 до 300 м, а при глубине до 800 м и более, процесс деформирования горных пород уже не подчиняется линейному закону Гука. Данный недостаток подлежит устранению посредством модернизации.

Подобно методу конечных разностей, метод конечных элементов (МКЭ) позволяет решать нелинейные задачи, но в отличие от МКР в его основу положен принцип возможного изменения сил в узлах. Область, напряженно-деформированное состояние которой необходимо определить, представляется в виде совокупности дискретных элементов - плоских или пространственных элементов типа стержневых или рамных конструкций. Описание свойств каждого из этих элементов, позволяет учесть неоднородность свойств деформируемой области и выполнить расчеты для области сколь угодно сложной конфигурации, без принципиальных изменений путей решения. Метод конечных элементов успешно применяют для расчетов напряженного состояния плотин, откосов и их оснований.

Компьютерные программы существенно упрощают вычислительный процесс. При программной реализации МКЭ весь комплекс моделирования выполняется тремя основными функциональными модулями:

- подготовка геометрической твердотельной модели и её дискретизация конечными элементами;
- приложение конечных сил и связей, выбор типа расчёта и его проведение;
- получение информации о результатах расчёта в удобном для пользователя виде.

#### **Вывод**

Математическое моделирование предполагает множество методов, однако не все из них могут быть утилизированы. Предпочтительными методами являются МКР и МКЭ, для которых разработано специальное ПО, например FLAC. Использование вышеописанных математических методов позволяет решать вопросы безопасности введения горных работ.

#### **Библиографический список:**

1. Оловянный А.Г. Механика горных пород. Моделирование разрушений// — СПб.: ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2012. — 280 с.- URL [http://hge.spbu.ru/download/Rock\\_mechanics\\_olovyanny.pdf](http://hge.spbu.ru/download/Rock_mechanics_olovyanny.pdf)
2. Господариков А.П., Зацепин М.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород при разработке пологих месторождений - URL <https://cyberleninka.ru/article/v/matematiceskoe-modelirovanie-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-massiva-gornyh-porod-pri-razrabotke-pologih-mestorozhdeniy>
3. Буялич Г.Д., Буялич К.Г., Воеводин В.В. Методы расчета горных машин и оборудования. Построение моделей для расчетов методом конечных элементов - URL <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-metody-rascheta-gornyh-mashin-i-oborudovaniya.pdf>

**Гиперкомплексные числа**

Кривонос И. В.

Научный руководитель – Тереньтева Е. А.

Ухтинский государственный технический университет в г. Ухте

С комплексными числами студенты знакомятся на первом курсе обучения. Первокурсникам показывают широкое применение комплексных чисел: возможность решения квадратного уравнения с отрицательным дискриминантом, тригонометрическую и показательную формы комплексного числа, геометрическое представление комплексного числа и др.

Понятие комплексного числа возникло в 18 веке. Их изобретение было настолько успешным, что математики задумались над вопросом о существовании новых систем чисел, обладающих свойствами действительных чисел. С начала середины прошлого века было изучено множество систем высших комплексных и гиперкомплексных чисел, а в конце предыдущего и первой половины этого столетия была предложена общая теория гиперкомплексных чисел, используемая в ряде важных приложений в смежных областях математики и физики.

В данной статье представлены некоторые системы гиперкомплексных чисел, способы их построения и формы представления.

1. Комплексные, дуальные и двойные числа.

Пусть  $a$  и  $b$  - произвольные действительные числа.

Рассмотрим множества чисел вида  $z = a + bi$ , где  $i$  - мнимая единица.

Возможны три случая:  $i^2 = -1$ ,  $i^2 = 0$ ,  $i^2 = 1$ .

В первом случае числа называются комплексными, во втором – дуальными, в третьем – двойными. В общем виде запишем  $i^2 = \alpha$ , где  $\alpha = -1, 0, 1$ .

Множество комплексных чисел обозначается  $C$ .

Сумма, разность и произведение этих чисел находятся по законам элементарной алгебры.

Число  $\bar{z} = a - bi$  называется сопряженным к числу  $z = a + bi$ , а число  $\|z\| = \sqrt{a^2 + b^2}$  - нормой числа  $z$ .

Задача 1. Найти сумму, произведение и частное чисел  $z_1 = 2 + 2i$ ,  $z_2 = 3i$  в случаях, когда оба числа комплексные, дуальные, двойные.

Решение:

1). Сумма чисел во всех трех случаях имеет одинаковое значение:

$$z_1 + z_2 = 2 + 2i + 3i = 2 + 5i.$$

2). Произведение чисел имеют различия:

$$z_1 \cdot z_2 = (2 + 2i) \cdot 3i = 6i + 6i^2 = -6 + 6i, \text{ когда числа комплексные,}$$

$$z_1 \cdot z_2 = (2 + 2i) \cdot 3i = 6i + 6i^2 = 6i, \text{ когда числа дуальные,}$$

$$z_1 \cdot z_2 = (2 + 2i) \cdot 3i = 6i + 6i^2 = 6 + 6i, \text{ когда числа двойные.}$$

3). Частное чисел не всегда возможно:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{2 + 2i}{3i} \cdot \frac{3i}{3i} = \frac{6i + 6i^2}{9i^2} = \frac{-6 + 6i}{-9} = \frac{2}{3} - \frac{2}{3}i, \text{ когда числа комплексные,}$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{2 + 2i}{3i} \cdot \frac{3i}{3i} = \frac{6i + 6i^2}{9i^2} = \frac{6i}{0} - \text{невозможно деление на дуальное число вида } z = ai,$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{2 + 2i}{2 - 2i} \cdot \frac{2 + 2i}{2 + 2i} = \frac{4 + 8i + 4i^2}{4 - 4i^2} = \frac{8 + 8i}{4 - 4} = \frac{8 + 8i}{0} - \text{невозможно деление на двойное число}$$

вида  $z = a + ai$ .

Комплексные числа обладают основными свойствами действительных чисел: их можно складывать, умножать, делить. Для дуальных и двойных чисел некоторые свойства не выполняются, например, деление на определенные виды чисел. Поэтому комплексные числа имеют широкое применение не только в математике, но и в других науках. Двойные числа нашли применение в геометрии Лобачевского.

### 2. Процедура удвоения

Рассмотрим, как строятся системы чисел, содержащие в своей записи большее число действительных чисел.

Пусть  $z_1 = a + bi$  и  $z_2 = c + di$  - произвольные числа с мнимой единицей  $i$ , для которых выполняются следующие условия:

- 1)  $i^2 = \alpha$ , где  $\alpha = -1, 0, 1$ ;
- 2)  $j$  – новый объект,  $j^2 = \delta$ , где  $\delta = -1, 0, 1$ ;
- 3)  $ij = \varepsilon ij$ , где  $\varepsilon = -1, 0, 1$ .

Рассмотрим множество чисел вида  $u = z_1 + z_2 j$ . Так как  $z_1 = a + bi$  и  $z_2 = c + di$ , то  $u = a + bi + cj + dij$ . Произведение  $ij$  представляет собой математический объект с новыми свойствами. Обозначим  $ij = k$ . Тогда

$$u = a + bi + cj + dk.$$

Для числа  $u$  символы  $i, j, k$  называются мнимыми единицами, причем  $i, j$  – главные мнимые единицы. Все произведения символов  $i, j, k$  друг на друга приведены в таблице 1.

Таблица 1

	$i$	$j$	$k$
$i$	$\alpha$	$k$	$\alpha j$
$j$	$\varepsilon k$	$\delta$	$\varepsilon \delta i$
$k$	$\alpha \varepsilon j$	$\delta i$	$\alpha \varepsilon \delta$

### 3. Кватернионы

Рассмотрим числа  $u = a + bi + cj + dk$ , для которых выполняются условия  $\alpha = \delta = \varepsilon = -1$ , то есть  $i^2 = j^2 = -1$ ,  $ij = -ji$ .

Мнимые единицы  $i, j, k$  перемножаются друг на друга согласно таблице 2. Такие числа называются кватернионами, множество которых обозначается  $\mathbf{H}$ .

Таблица 2

	$i$	$j$	$k$
$i$	-1	$k$	$-j$
$j$	$-k$	-1	$i$
$k$	$j$	$-i$	-1

Предложил упомянутую выше систему кватернионов ирландский математик Уильям Гамильтон в 1843 году.

Так как умножение комплексных чисел описывает повороты на плоскости, то захотелось найти нечто подобное для поворотов в трёхмерном пространстве. Это удалось достичь с помощью кватернионов. Теория кватернионов вскоре стала источником развития

понятий векторного и скалярного произведения векторов.

Изобретение кватернионов и других гиперкомплексных чисел было воспринято как событие, сравнимое по значимости с изобретением комплексных чисел, что привело математиков к весьма активным исследованиям в этой области.

Число  $\bar{u} = a - bi - cj - dk$  называется сопряженным к кватерниону  $u = a + bi + cj + dk$ , а число  $\|u\| = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$  - нормой кватерниона.

Задача 2. Найти сумму, произведение кватернионов  $u_1 = 1 + 2i + 3j - 4k$ ,  $u_2 = 3 - 2i + 4j + 5k$ .

Решение:

$$1). u_1 + u_2 = (1 + 2i + 3j - 4k) + (3 - 2i + 4j + 5k) = 4 + 7j + k;$$

$$2). u_1 \cdot u_2 = (1 + 2i + 3j - 4k) \cdot (3 - 2i + 4j + 5k) = 3 + 6i + 9j - 12k - 2i - 4i^2 - 6ij + 8ik + 4j + 8ji + 12j^2 - 16ik + 5k + 10ki + 15kj - 20k^2 = 20 + 35i + 11j + 7k.$$

$$\text{Аналогично, } u_2 \cdot u_1 = (3 - 2i + 4j + 5k) \cdot (1 + 2i + 3j - 4k) = 15 + 5i + 15j - 21k.$$

Получили, что  $u_1 \cdot u_2 \neq u_2 \cdot u_1$  - умножение в множестве кватернионов не обладает свойством коммутативности.

Задача 3. Решить уравнение  $u_1 \cdot u = u_2$ , если  $u_1 = 1 + 2i + 3j - 4k$  и  $u_2 = 3 - 2i + 4j + 5k$ .

Решение уравнения находим в виде  $u = \frac{1}{\|u_1\|^2} \bar{u}_1 u_2$ .

$$\text{Посчитаем } \|u_1\| = \sqrt{1^2 + 2^2 + 3^2 + (-4)^2} = \sqrt{30}, \quad \|u_1\|^2 = \sqrt{30}^2 = 30, \quad \bar{u}_1 = 1 - 2i - 3j + 4k,$$

$$\begin{aligned} \text{тогда } u &= \frac{1}{\|u_1\|^2} \bar{u}_1 u_2 = \frac{1}{30} (1 - 2i - 3j + 4k) \cdot (3 - 2i + 4j + 5k) = \frac{1}{30} (-9 - 39i - 3j + 3k) = \\ &= -0,3 - 1,3i - 0,3j + 0,3k. \end{aligned}$$

Из решенных задач видим, что множество кватернионов обладает свойствами действительных чисел, кроме свойства коммутативности умножения, здесь возможно деление. Для чисел можно ввести понятие аргумента и описать тригонометрическую форму, рассматривать последовательности, ряды и функции, операции дифференцирования интегрирования и т. д.

4. Дальнейшее удвоение

Продолжая процедуру удвоения, получим гиперкомплексное число вида:

$$\omega = a_0 + a_1 i_1 + a_2 i_2 + \dots + a_m i_m,$$

где  $m = 2^n - 1$ ,  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$  - действительные числа,  $i_1, i_2, \dots, i_m$  - мнимые единицы, которые коммутируют с действительными числами при умножении.

При разных условиях получаем системы гиперкомплексных чисел. Хорошо изучены числа Паули, Калуцы, Дирака и др., которые имеют важные приложения.

В данной статье мы рассмотрели получение гиперкомплексных чисел при помощи процедуры удвоения. Способы построения систем гиперкомплексных чисел разнообразны, их число бесконечно.

Особый интерес среди многообразия систем гиперкомплексных чисел имеют те, которые обладают основными свойствами действительных чисел. Такими система являются множества комплексных чисел, кватернионов. Другие системы также интересны и находят применение в различных областях.

#### **Библиографический список:**

1. Сильвестров В. В. Системы чисел. М.: Наука, 1998. 121с. Режим доступа: [http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9808\\_121.pdf](http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9808_121.pdf)

УДК 514.741

**Применение систем координат и их преобразований в технических задачах**

Минаев А. В., Надуткин Д. Н.

Научный руководитель: Габова М. Н.

*г. Ухта, Ухтинский государственный технический университет*

В технических задачах (геодезии, аэронавигации, бурении и т.д.) возникает необходимость в численном описании точки в плоскости или в пространстве. Для упрощения нахождения положения точки в системе координат на плоскости и в пространстве применяются способы преобразования систем координат. Поэтому актуально и необходимо иметь теоретические знания и приобрести практические навыки решения задач по преобразованию координат в различных системах.

Система координат – система отсчета, используемая для определения положения точки в пространстве. Точку можно определить при помощи чисел, представляющих собой расстояния или углы, измеренные от точки до точек или прямых отсчета. Для определения позиции точки на плоскости нужно две числовые координаты, в трехмерном пространстве – три числовые координаты и т. д. Система координат позволяет дать алгебраическое определение кривым или поверхностям.

Основная заслуга в создании современного метода координат принадлежит французскому математику Рене Декарту (1596-1650), в последствии его именем была названа прямоугольная система. Научное описание прямоугольной системы координат Рене Декарт впервые сделал в своей работе «Рассуждение о методе» в 1637 году. Вклад в развитие координатного метода внес также Пьер Ферма (1601-1665, французский математик-самоучка), однако его работы были впервые опубликованы уже после его смерти. Декарт и Ферма применяли координатный метод только на плоскости. Координатный метод для трёхмерного пространства впервые применил Леонард Эйлер уже в XVIII веке.

Базовой или простейшей системой координат считается прямоугольная (декартова) система координат. Она задаётся с помощью пары координат  $(x; y)$  на двух взаимно перпендикулярных осях на плоскости  $Ox \perp Oy$  (рис.1). Если речь идет о пространстве, то добавляется третья взаимно перпендикулярная ось  $Ox \perp Oy \perp Oz$ , соответственно добавляется и дополнительная координата  $(x; y; z)$  (рис.2). Ось  $Ox$  называется осью абсцисс, ось  $Oy$  – осью ординат, ось  $Oz$  – осью аппликат.

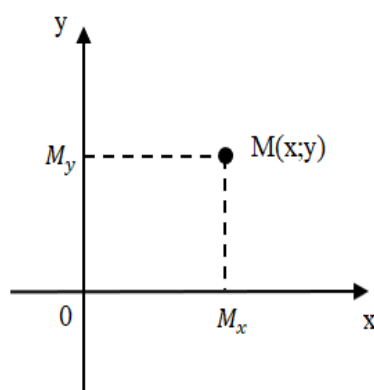


Рис.1 На плоскости

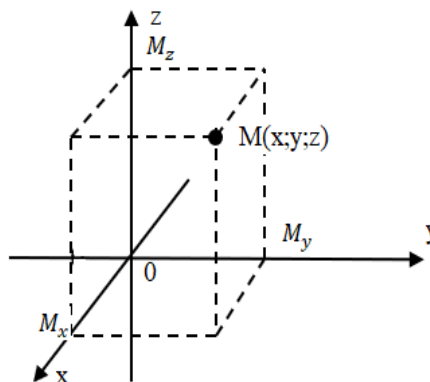


Рис.2 В пространстве

*Преобразование прямоугольных координат на плоскости и в пространстве*

Существует несколько видов преобразования систем координат: Параллельный перенос начала координат, переход от системы координат  $Oxy$  к новой системе  $O_1x_1y_1$ , при котором меняется положение начала координат  $\begin{cases} x = x' + \Delta x, \\ y = y' + \Delta y. \end{cases}$  Поворот системы координат на

угол  $\varphi$ :  $\begin{cases} x = x' \cdot \cos \varphi - y' \cdot \sin \varphi, \\ y = x' \cdot \sin \varphi + y' \cdot \cos \varphi. \end{cases}$  Общий случай, когда происходит и поворот системы



координат, и её смещение: 
$$\begin{cases} x = \Delta x + x' \cdot \cos \varphi - y' \cdot \sin \varphi, \\ y = \Delta y + x' \cdot \sin \varphi + y' \cdot \cos \varphi. \end{cases}$$

В пространстве будут представлены аналогичные формулы, добавляется лишь третья

координата  $z$ : Параллельный перенос начала координат: 
$$\begin{cases} x = x' + \Delta x \\ y = y' + \Delta y; \\ z = z' + \Delta z \end{cases}$$
 Вращения вокруг

одной из осей (в формуле вокруг оси  $z$ ): 
$$\begin{cases} x = x' \cdot \cos \varphi - y' \cdot \sin \varphi \\ y = x' \cdot \sin \varphi + y' \cdot \cos \varphi; \\ z = z' \end{cases}$$

Общий случай: 
$$\begin{cases} x = \Delta x + x' \cdot \cos \varphi - y' \cdot \sin \varphi \\ y = \Delta y + x' \cdot \sin \varphi + y' \cdot \cos \varphi. \\ z = z' + \Delta z \end{cases}$$

*Переход от одной системы координат в другую, как способ преобразования*

Введение иных систем координат, таких как полярной системы координат на плоскости, также является одним из способов преобразований систем координат. Переход из одной системы координат в другую описывается различными формулами. Переход в

полярную систему координат: 
$$\begin{cases} x = r \cdot \cos \varphi \\ y = r \cdot \sin \varphi; \end{cases}$$

переход в цилиндрическую систему координат: 
$$\begin{cases} x = r \cdot \cos \varphi; \\ y = r \cdot \sin \varphi; \quad (r \geq 0, \varphi \in [0; 2\pi], z \in R); \\ z = z. \end{cases}$$

переход в сферическую систему координат: 
$$\begin{cases} x = p \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi \\ y = p \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi \quad (p \geq 0, 0 \leq \varphi \leq 2\pi, 0 \leq \theta \leq \pi). \\ z = p \cdot \cos \theta \end{cases}$$

*Практическая часть*

Для реализации теории рассмотрим задачу из раздела курса высшей математики «Аналитическая геометрия» построения линии 2-го порядка с применением преобразования координат. Как известно, построить кривые 2-го порядка легко, зная их канонические уравнения. Но если уравнение задано в общем виде:  $Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0$ , то по нему сложно определить вид кривой.

Задача 1. Найти и построить кривую заданную уравнением:

$$5x^2 + 6xy + 5y^2 - 16x - 16y - 16 = 0.$$

Сделаем замену:

$$\begin{cases} x = x' \cos \varphi - y' \sin \varphi, \\ y = y' \cos \varphi + x' \sin \varphi. \end{cases}$$

Подставим преобразованные координаты в исходное уравнение:

$$5(x' \cos \varphi - y' \sin \varphi)^2 + 6((x' \cos \varphi - y' \sin \varphi)(x' \sin \varphi + y' \cos \varphi) + 5(y' \cos \varphi + x' \sin \varphi)^2 - 16(x' \cos \varphi - y' \sin \varphi) - 16(y' \cos \varphi + x' \sin \varphi) - 16 = 0.$$

Далее, раскрыв скобки получаем:

$$5(x')^2 \cos^2 \varphi - 10x'y' \cos \varphi \sin \varphi + 5(y')^2 \sin^2 \varphi + 6(x')^2 \cos \varphi \sin \varphi - 6x'y' \sin^2 \varphi + 6x'y' \cos^2 \varphi - 6(y')^2 \sin \varphi \cos \varphi + 5(x')^2 \sin^2 \varphi + 10x'y' \cos \varphi \sin \varphi + 5(y')^2 \cos^2 \varphi - 16(x' \cos \varphi - y' \sin \varphi) - 16(y' \cos \varphi + x' \sin \varphi) - 16 = 0.$$

Сгруппировав подобные слагаемые, получаем:

$$(x')^2(5 + 6\cos \varphi \sin \varphi) + (y')^2(5 - 6\sin \varphi \cos \varphi) + 6x'y'(\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) - 16x'(\cos \varphi - \sin \varphi) - 16y'(\cos \varphi + \sin \varphi) - 16 = 0.$$

Выразим коэффициенты при переменных:  $B = \cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi$ ;  $D = \cos \varphi + \sin \varphi$ ;  $E = \cos \varphi - \sin \varphi$ ;  $F = -16$ ;  $A = 5 + 6\cos \varphi \sin \varphi$ ;  $C = 5 - 6\cos \varphi \sin \varphi$ .

Пусть  $B = 0$ , тогда  $B = \cos 2\varphi = \cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi$ ,  $\cos 2\varphi = 0$ ,  $\cos 2\varphi = \frac{\pi}{2}$ ,  $2\varphi = \frac{\pi}{2}$ ,  $\varphi = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$ .

Узнав угол, подставляем его в коэффициенты при переменных, и получаем, что:

$$A = 8 \quad B = 0 \quad C = 2 \quad D = \sqrt{2} \quad E = 0 \quad F = -16.$$

Найдя коэффициенты, подставив их в общий вид уравнения, получим:

$$8(x')^2 + 2(y')^2 - 16\sqrt{2}x' - 16 = 0.$$

Упростим:

$$8(x')^2 + 2(y')^2 - 16\sqrt{2}x' - 16 + 16 - 16 = 0,$$

$$8((x')^2 - 2\sqrt{2}x' + 2) + 2(y')^2 = 32$$

$$8(x' - \sqrt{2})^2 + (y')^2 = 32 \quad | \cdot \frac{1}{32}$$

$$\frac{(x' - \sqrt{2})^2}{4} + \frac{(y')^2}{16} = 1.$$

Вводим новые переменные:

$$\tilde{x} = x' - \sqrt{2},$$

$$\tilde{y} = y'.$$

Получаем каноническое уравнение эллипса, полуоси которого  $a = 2$ ,  $b = 4$  (рис. 3):

$$\frac{\tilde{x}^2}{4} + \frac{\tilde{y}^2}{16} = 1.$$

По итогу всех наших преобразований, удалось сохранить связь с прежней системой координат:

$$\begin{cases} x = (\tilde{x} + \sqrt{2})\cos\varphi - \tilde{y}\sin\varphi, \\ y = (\tilde{x} + \sqrt{2})\sin\varphi + \tilde{y}\cos\varphi, \end{cases} \text{ при } \varphi = 45^\circ.$$

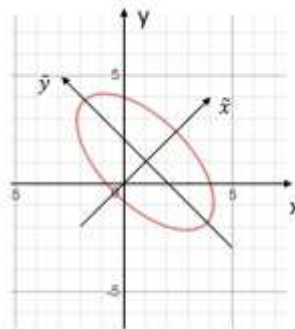


Рис. 3. К задаче 1

Задача 2. Построить поверхность, заданную общим уравнением:

$$x^2 + 5y^2 + z^2 + 2xy + 6xz + 2y - 2x + 6y + 2z = 0.$$

Запишем уравнение поверхности в матричном виде:  $X^T A X + C^T X = 0$ , где:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 5 & 1 \\ 3 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} -2 \\ 6 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}.$$

$$\Delta(A - \gamma E) = \begin{vmatrix} 1 - \gamma & 1 & 3 \\ 1 & 5 - \gamma & 1 \\ 3 & 1 & 1 - \gamma \end{vmatrix} = (1 - \gamma) \begin{vmatrix} 5 - \gamma & 1 \\ 1 & 1 - \gamma \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 3 & 1 - \gamma \end{vmatrix} + 3 \begin{vmatrix} 1 & 5 - \gamma \\ 3 & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= -\gamma^3 + 7\gamma^2 + 36.$$

Решив уравнение с тремя неизвестными  $-\gamma^3 + 7\gamma^2 + 36 = 0$ , получим три корня:  $\gamma_1 = -2$ ;  $\gamma_2 = 3$ ;  $\gamma_3 = 6$ , являющимися собственными числами для матрицы  $A$ , которым соответствуют нормированные следующие собственные векторы:

$$\bar{e}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}, \quad \bar{e}_1 = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}; \quad \bar{e}_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \bar{e}_2 = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix};$$

$$\bar{e}_3 = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \bar{e}_3 = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} \end{pmatrix}.$$

Тогда  $U$  – матрица ортогонального преобразования,  $\Delta U=1$ ,  $U = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \begin{pmatrix} -\sqrt{3} & \sqrt{2} & 1 \\ 0 & -\sqrt{2} & 2 \\ \sqrt{3} & \sqrt{2} & 1 \end{pmatrix}$ .

Этому ортогональному преобразованию соответствует замена:  $X = UX_1$ :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}.$$

$$\begin{cases} x = \frac{1}{\sqrt{6}}(-\sqrt{3}x_1 + \sqrt{2}y_1 + z_1), \\ y = \frac{1}{\sqrt{6}}(-\sqrt{2}y_1 + 2z_1), \\ z = \frac{1}{\sqrt{6}}(\sqrt{3}x_1 + \sqrt{2}y_1 + z_1), \end{cases}$$

$$x^2 + 5y^2z^2 + 2xy + 2yz + 6xz = \gamma_1x_1^2 + \gamma_2y_1^2 + \gamma_3z_1^2 = -2x_1^2 + 3y_1^2 + 6z_1^2.$$

Поскольку:  $C^T X = C^T U X_1$ ,

$$C^T U X = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \begin{pmatrix} -2 & 6 & 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -\sqrt{3} & \sqrt{2} & 1 \\ 0 & \sqrt{2} & 2 \\ \sqrt{3} & \sqrt{2} & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 2\sqrt{2} & -2\sqrt{3} & 2\sqrt{6} \end{pmatrix}.$$

В результате, уравнение поверхности в новых координатах принимает вид:

$$-2x_1^2 + 3y_1^2 + 6z_1^2 + 2\sqrt{2}x_1 - 2\sqrt{3}y_1 + 2\sqrt{6}z_1 = 0.$$

Выделим полный квадрат:

$$-2x_1^2 + 2\sqrt{2}x_1 - 1 + 1 + 3y_1^2 - 2\sqrt{3}y_1 + 1 - 1 +$$

$$6z_1^2 + 2\sqrt{6}z_1 + 1 - 1 = 0,$$

$$-2 \left( x_1^2 - 2\sqrt{2}x_1 + \frac{1}{2} \right) + 1 + 3 \left( y_1^2 - \frac{2}{\sqrt{3}}y_1 + \frac{1}{3} \right) - 1$$

$$+ 6 \left( z_1^2 + \frac{2}{\sqrt{6}}z_1 + \frac{1}{6} \right) - 1 = 0,$$

тогда:

$$-2 \left( x_1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2 + 3 \left( y_1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right)^2 + 6 \left( z_1 + \frac{1}{\sqrt{6}} \right)^2 = 1.$$

Рассматривая смещение:  $\begin{cases} \tilde{x} = x_1 - \frac{1}{\sqrt{2}}, \\ \tilde{y} = y_1 - \frac{1}{\sqrt{3}}, \\ \tilde{z} = z_1 + \frac{1}{\sqrt{6}}. \end{cases}$  получаем каноническое уравнение однополостного

гиперболоида (рис.4):

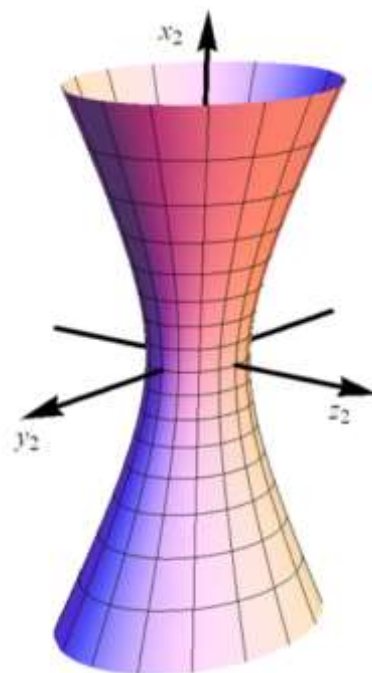


Рис. 4. К задаче 2

$$-\frac{\tilde{x}^2}{2} + \frac{\tilde{y}^2}{3} + \frac{\tilde{z}^2}{6} = 1.$$

#### *Применение систем координат в технических задачах*

Для наглядного примера применения изменения и преобразования систем координат в реальных технических задачах, обратимся к пункту 2.8 из диссертации Сериков Д.Ю. «Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением». Задача по повышению эффективности шарошечного долота (ШБ), работающих в составе агрегатов для реактивно-турбинного бурения (РТБ), является одной из приоритетных задач по совершенствованию этого способа бурения. С целью решения этой задачи для начала надо разобраться в принципах работы ШД при РТБ. Эффективность работы зубчатого вооружения ШД в значительной степени зависит от совокупности его геометрических параметров, поэтому важным моментом при проектировании вооружения является определение траектории движения зубьев ШД при РТБ. Для описания движения зуба, используются различные методы преобразований и переходов из одной системы координат в другую. Используя ряд элементарных методов перехода и преобразований систем координат, разобранные выше, Сериков Д. Ю. смог получить уравнения, с помощью которых, стало возможным описать движение зуба в ШД при РТБ [6] Таким образом получаем, что зубья вооружения бурового инструмента перемещаются по сложной траектории движения, с постоянно меняющимися во времени направлением и величиной проскальзывания, зависящими от положения шарошки относительно оси и направления вращения агрегата.

#### *Применение систем координат в других сферах деятельности человека*

Преобразования систем координат используются не только при решении задач по бурению, но и во многих других сферах деятельности человека. Так например: в геодезии и аэронавигации, в зависимости от площади рассчитываемой области Земли, применяют прямоугольную, цилиндрическую или сферическую систему координат. Ещё во многих сферах деятельности человека, находит своё применение система координат и её преобразованные формы. Системы координат и их различные виды преобразования, широко применяются при решении различных технических задач. Главным преимуществом применения преобразованных систем координат является возможность перехода из сложных математических формул и вычислений к более простым, удобным, а главное быстрым и не менее точным способам получения верного решения задач на практике.

#### **Библиографический список:**

1. Письменный Д. Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс [Текст] / Д. Т. Письменный. – 10-е изд., испр. – М. : Айрис-пресс, 2011. – 608 с.
2. Свиркина Л. А. Приведение к каноническому виду линий и поверхностей второго порядка, заданных своими общими уравнениями относительно ДПСК (декартовой прямоугольной системы координат): учеб. пособие / Свиркина Л. А. СПб. : СПбГУ, 2013. – 65с.
3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – 13-е изд., исправленное. – М. : Наука, Гл. ред. физ-мат. Лит., 1986. – 544 с.
4. Сериков Д. Ю. Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением [Электронный ресурс] : дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. Наук (05.02.13) / Сериков Дмитрий Юрьевич; Российский государственный университет нефти и газа (национально-исследовательский университет) имени И.М. Губкина.

УДК 517.236

**Методы приближенного решения задачи о минимуме функционала и их реализация в Mathcad**

Мотрюк И.Н.

Научный руководитель – Мотрюк Е.Н.

*БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург*

При решении разного рода инженерных задач часто необходимо находить экстремум функции нескольких переменных, включая функционала. Для их решения используются численные методы вариационного исчисления. Их называют прямыми методами и основаны они на следующем. Задача на экстремум функции конечного числа переменных решается обычными методами, а затем предельным переходом получается решение интересующей вариационной задачи.

Рассмотрим эти методы.

**Конечно-разностный метод** впервые применил Л. Эйлер [1]. Его идея заключается в том, что значения функционала  $V[y(x)]$ , например,

$$V[y] = \int_{x_0}^{x_1} F(x, y, y') dx, \quad y(x_0) = a, \quad y(x_1) = b$$

рассматриваются на ломаных, составленных из  $n$  прямолинейных отрезков, с заданными абсциссами вершин, соединяющих ломаные:

$$x_0 + \Delta x, x_0 + 2\Delta x, \dots, x_0 + (n-1)\Delta x, \quad \Delta x = \frac{x_1 - x_0}{n}.$$

На них функционал  $V[y(x)]$  превращается в функцию  $\varphi(y_1, \dots, y_{n-1})$  ординат  $y_1, \dots, y_{n-1}$  вершин ломаной. Ординаты  $y_1, \dots, y_{n-1}$  выбираем так, чтобы  $\varphi(y_1, \dots, y_{n-1})$  достигала экстремума, т. е. решаем систему уравнений

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y_1} = 0, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y_2} = 0, \dots, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y_{n-1}} = 0,$$

а затем при  $n \rightarrow \infty$  переходим к пределу. При ограничениях, налагаемых на функцию  $F$ , получим решение вариационной задачи.

На ломаных значение функционала  $V[y(x)]$  удобнее вычислять приближенно,

например интеграл  $\int_{x_0}^{x_1} F(x, y, y') dx \approx \sum_{k=0}^{n-1} \int_{x_0+k\Delta x}^{x_0+(k+1)\Delta x} F\left(x, y, \frac{y_{k+1} - y_k}{\Delta x}\right) dx$  заменять

интегральной суммой  $\sum_{i=1}^n F\left(x_i, y_i, \frac{\Delta y_i}{\Delta x}\right) \Delta x$ .

Второй прямой метод - **метод Рунца** находит широкое применение при решении различных вариационных задач [2]. Идея его заключается в том, что значения функционала

$V[y]$  исследуются на всевозможных линейных комбинациях  $y_n(x) = \sum_{i=1}^n a_i W_i(x)$  с постоянными коэффициентами, которые составляются из  $n$  первых функций некоторой заданной последовательности  $W_1(x), W_2(x), \dots, W_n(x), \dots$ . Функции  $y_n(x) = \sum_{i=1}^n a_i W_i(x)$

должны быть допустимыми в решаемой задаче, поэтому имеются ограничения на последовательности функций  $W_i(x)$ . На этих линейных комбинациях функционал  $V[y]$  преобразуется в функцию  $\varphi(a_1, \dots, a_n)$  коэффициентов  $a_1, \dots, a_n$ , которые выбираются так,

чтобы функция  $\varphi(a_1, \dots, a_n)$  достигала экстремума, т.е.  $a_1, \dots, a_n$  определяются из

$$\frac{\partial \varphi}{\partial a_1} = 0, \frac{\partial \varphi}{\partial a_2} = 0, \dots, \frac{\partial \varphi}{\partial a_n} = 0.$$

Совершая при  $n \rightarrow \infty$  предельный переход, получим функцию  $y(x) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i W_i(x)$ , которая является точным решением рассматриваемой вариационной задачи. Если не совершать предельного перехода, имеем  $y_n(x) = \sum_{i=1}^n a_i W_i(x)$ , и получим приближенное решение вариационной задачи.

Функции  $y_n(x) = \sum_{i=1}^n a_i W_i(x)$  являются допустимыми, если удовлетворяют граничным условиям. Выбор последовательности координатных функций  $W_i(x)$ , сильно влияет на степень сложности вычислений, и поэтому их выбор сильно влияет на результат применения метода.

Вопрос о сходимости приближений к искомому решению вариационной задачи, об оценке степени точности приближений является сложным. Для оценки точности пользуются следующим приемом: вычисляют  $y_n(x)$  и  $y_{n+1}(x)$ , сравнивают их между собой в нескольких точках отрезка  $[x_0, x_1]$ . Если в пределах заданной точности их значения совпадают, то с заданной точностью решение рассматриваемой вариационной задачи равно  $y_n(x)$ . Если же значения  $y_n(x)$  и  $y_{n+1}(x)$  хотя бы в нескольких из выбранных точек в пределах этой точности не совпадают, то вычисляют  $y_{n+2}(x)$  и сравнивают значения  $y_{n+1}(x)$  и  $y_{n+2}(x)$ . Этот процесс продолжается до тех пор, пока значения  $y_{n+k}(x)$  и  $y_{n+k+1}(x)$  не совпадут в пределах требуемой точности.

Метод Ритца успешно применяется при изучении, например, колебаний заделанного клина с постоянной толщиной. В этом случае исследуется на экстремум функционал

$$V[y] = \int_0^1 [ax^3 y'^2 - bxy^2] dx, \quad y(1) = y'(1) = 0,$$

где  $a$  и  $b$  - положительные постоянные.

В задачах, связанных с кручением цилиндра или призмы необходимо исследовать на экстремум функционал

$$V[z(x, y)] = \iint_D \left[ \left( \frac{\partial z}{\partial x} - y \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial y} + x \right)^2 \right] dx dy.$$

Здесь также можно применять метод Ритца.

Третий прямой метод, предложенный Л. В. Канторовичем, применимый к функционалам, зависящим от функций нескольких переменных, которые независимы, находит в настоящее время широкое применение в тех же областях, в которых применяется метод Ритца [3]. **Метод Канторовича** основан на выборе системы координатных функций  $W_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $i = 1 \dots m$ , а решение ищется в виде

$$z_m = \sum_{i=1}^m a_i(y_k) W_i(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

**Рассмотрим следующий пример для иллюстрации метода Ритца, как наиболее популярного.**

Найти точное и приближенное решение методом Ритца, сравнить.

$$J y = \int_0^1 y'^2 + 12y^2 + 7xy \, dx, \quad y_0 = y_1 = 0.$$

1. Найдем приближенное решение.

Искомую функцию будем искать в виде

$$y^0(x) = \varphi_0(x) + C_1\varphi_1(x) + C_2\varphi_2(x) + C_3$$

Пусть при  $k = 0, 1, 2$ .

$$\varphi_0(x) = 0,$$

$$\varphi_1(x) = x(1-x),$$

$$\varphi_2(x) = x^2(1-x).$$

Рассмотрим случай  $k = 1$ .

$$y^0(x) = \varphi_0(x) + C_1\varphi_1(x).$$

Тогда приближенное решение будем искать в виде

$$y^0(x) = C_1x(1-x) = C_1(x - x^2).$$

Подставляем в заданный функционал

$$\begin{aligned} \int_0^1 C_1^2(5x^2 - 4x - 2x^3 + x^4) + 2C_1(x^2 - x^3) \, dx = \\ = \frac{7}{12}C_1 - 14,4C_1^2 = \Phi(C_1). \end{aligned}$$

Найдем значение  $C_1$ , доставляющее полученной функции экстремум

$$\Phi'(C_1) = \frac{7}{12} + 28,8C_1 = 0.$$

$$C_1 = -\frac{35}{1728}$$

Таким образом,

$$y^0(x) = -\frac{35}{1728}(x - x^2) \text{ экстремаль.}$$

2. Найдем точное решение в **Mathcad** (рис.1).

$$F(x, y, y') = y'^2 + 12y^2 + 7xy,$$

$$F_y = 24y + 7x,$$

$$F_{y'} = 2y'.$$

Уравнение Эйлера примет вид

$$-2y'' + 24y + 7x = 0.$$

Его точное решение

$$y = \frac{7}{24} \frac{e^{\sqrt{12}x} - e^{-\sqrt{12}x}}{e^{\sqrt{12}} - e^{-\sqrt{12}}} - \frac{7}{24} \frac{e^{-\sqrt{12}x}}{e^{\sqrt{12}} - e^{-\sqrt{12}}} - \frac{7x}{24}.$$

Точное решение

$$F = \left( (y')^2 + 12y^2 + 7xy \right), \quad y(0) = y(1) = 0$$

$$F_{x1}(x1, y, y1) = y1^2 + 12 \cdot y^2 + 7 \cdot x1 \cdot y$$

$$F_y(x1, y, y1) = \frac{\partial}{\partial y} F(x1, y, y1) \rightarrow 7 \cdot x1 + 24 \cdot y$$

$$F_{y1}(x1, y, y1) = \frac{\partial}{\partial y1} F(x1, y, y1) \rightarrow 2 \cdot y1$$

$$\frac{dF_y}{dx} = \frac{\partial F_y}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} y' + \frac{\partial F_y}{\partial y'} y''$$

$$F_{y11}(x1, y, y1, y11) = \frac{\partial}{\partial y1} \left[ \left( \frac{\partial}{\partial y1} F(x1, y, y1) \right) y11 \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial}{\partial y1} F(x1, y, y1) \right) \cdot y + \frac{\partial}{\partial x1} \left( \frac{\partial}{\partial y1} F(x1, y, y1) \right) \rightarrow 2 \cdot y11$$

Уравнение Эйлера  $F_y - \frac{d}{dx} F_{y'} = 0$

$$F_{xy}(x1, y, y1, y11) = F_y(x1, y, y1) - F_{y11}(x1, y, y1, y11) \rightarrow 7 \cdot x1 + 24 \cdot y - 2 \cdot y11$$

$$F_{xy}(x1, y, y1, y11) = 0 \quad x1 = 0 \quad xk = 1 \quad yn = 0 \quad yk = 0$$

Given

$$7 \cdot x1 + 24 \cdot y(x1) - 2 \cdot \frac{d^2}{dx1^2} y(x1) = 0$$

$$y(0) = 0$$

$$y(1) = 0$$

$$x1 = 0, 0.1 \dots 1$$

$$y = \text{Odesolve}(x1, 10)$$

y(x1) =

0
-0.023
-0.045
-0.065
-0.082
-0.096
-0.103
-0.102
-0.088
-0.056
1.005·10 <sup>-4</sup>

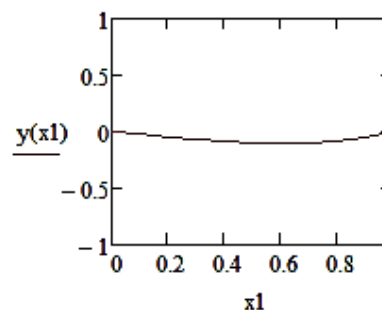


Рисунок 1 – Точное решение в **Mathcad**.



Далее решим методом Рунге (рис.2).

$$n = 0$$

Первое приближенное решение ищем в виде

$$y_0(x) = (x - x^2) \cdot C_1 \quad \text{Ищем } C_1$$

Подставляем необходимые выражения в функционал

$$Z = 12(y_0(x) - y_0(x)) \rightarrow 12 \cdot C_1^2 \cdot (x - x^2)^2$$

$$z_1 = \frac{d}{dx} y_0(x) \rightarrow -C_1 \cdot (2x - 1)$$

$$z_2 = z_1^2 \rightarrow C_1^2 \cdot (2x - 1)^2$$

Подынтегральная функция

$$F(C_1) = z_2 + Z + 7 \cdot x \cdot y_0(x) \rightarrow 12 \cdot C_1^2 \cdot (x - x^2)^2 + C_1^2 \cdot (2x - 1)^2 + 7 \cdot C_1 \cdot x \cdot (x - x^2)$$

Сам функционал

$$J(C_1) = \int_0^1 F(C_1) dx \rightarrow \frac{C_1 \cdot (44 \cdot C_1 + 35)}{60}$$

Для нахождения  $C_1$  ищем производную, приравняем к нулю

$$JJ(C_1) = \frac{d}{dC_1} J(C_1) \rightarrow \frac{22 \cdot C_1}{15} + \frac{7}{12}$$

$$CC_1 = 1$$

$$C_1 = \text{root}(JJ(CC_1), CC_1) = -0.398$$

$$y_{\text{r}}(x) = (x - x^2) \cdot C_1 \quad \text{Приближенное решение по методу Рунге}$$

Построим график

$$a = 0 \quad b = 1$$

$$n = 10$$

$$l = b - a$$

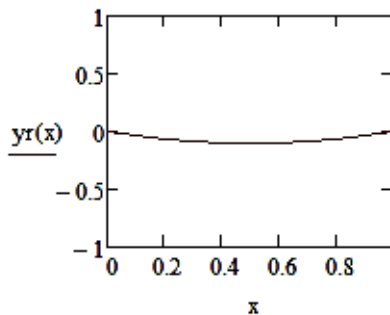
$$l = 1$$

$$h = l \div n$$

$$h = 0.1$$

$$i = 1..n$$

$$x_i = a + i \cdot h$$



	0
0	0
1	-0.036
2	-0.064
3	-0.084
4	-0.095
5	-0.099
6	-0.095
7	-0.084
8	-0.064
9	-0.036
10	0

Рисунок 2 – Метод Рунге в Mathcad

Затем найдем погрешность вычислений (рис.3).

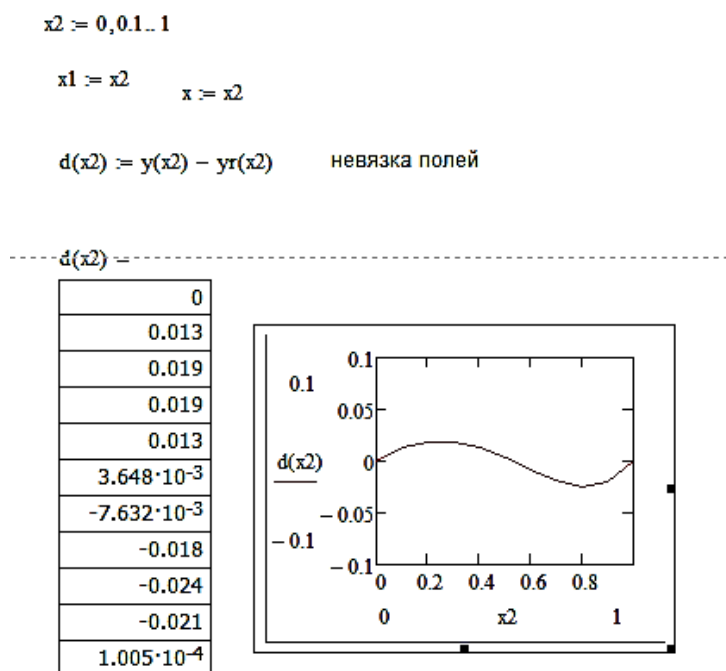


Рисунок 3 – Погрешность точного и приближенного решения в **Mathcad**

Таким образом, для данного примера невязка точного и приближенного по методу Рунге составляет порядка  $10^{-3}$ .

В статье показано, что решение вариационных задач прямыми методами целесообразно проводить в прикладных программных продуктах. Можно повысить точность путем вычисления координатных функций 2,3, и более порядка, наглядно изучить свойства решения.

#### **Библиографический список:**

1. Тракимус Ю.В. Основы вариационного исчисления в примерах и задачах: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 48 с.
2. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. / М.: Книга по Требованию, 2012. – 424 с. (Н.: Наука, 1969.)
3. Краснов М.Л., Макаренко Г.И., Киселев А.И. Вариационное исчисление: задачи и примеры. М.: Едиториал УРСС, 2002.

УДК 514.742.2

### **Приложение векторов к решению некоторых задач алгебры**

Науменко М. Д.

Научный руководитель – Хабаева Е. В.

Ухтинский государственный технический университет

Существуют физические величины, для которых важна не только величина, но и направление. Такие величины называются векторными, или векторами. По-другому говоря, *вектор* – это направленный отрезок, у которого одна граничная точка считается начальной, другая – конечной.

Вектор – молодое математическое понятие, оно стало широко использоваться в математике в XIX веке, когда стал активно развиваться раздел математики «Комплексные числа». Впервые этот термин предложил и употребил ирландский математик Уильям Гамильтон в 1845 и описал некоторые операции векторного анализа. Также он определил в качестве операций над новыми объектами скалярное и векторное произведение, ввел понятие

коллинеарности и компланарности и др. Кроме того, исследования в этой области проводили немецкий физик-математик Грассман, а также Максвелл, Гиббс и др.

После введения понятия «Вектор» были разработаны правила операций над векторами, что привело к появлению сначала векторной алгебра, а затем и векторного анализа.

Векторная алгебра изучает простейшие операции над векторами. В алгебре вектором называется элемент линейного пространства. Векторы могут иметь различную природу: направленные отрезки, матрицы, числа, функции и другие, однако все линейные пространства одной размерности изоморфны между собой.

Векторы широко применяются не только для решения алгебраических задач, но и используются в:

- физике;
- геометрии;
- стереометрии;
- экономике;
- психологии;
- повседневной жизни;
- знаках дорожного движения.

При решении задач алгебры векторным методом, необходимы знания о скалярном произведении векторов.

Скалярным произведением двух векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  называется число (скаляр), равное произведению длин (модулей) этих векторов на косинус угла между ними:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \alpha$$

Кроме того, необходимы знания о некоторых его свойствах:

1) если векторы  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  коллинеарны, то они могут быть:

– одинаково направлены («сонаправлены»):

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}|;$$

– противоположно направлены:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = -|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|;$$

2) если векторы  $\vec{a} = (x_1; y_1; z_1)$  и  $\vec{b} = (x_2; y_2; z_2)$  коллинеарны ( $\vec{a} \parallel \vec{b}$ ), то их соответствующие координаты пропорциональны:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{y_1}{y_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Целью моей работы было рассмотрение применения векторов при решении некоторых алгебраических задач. Рассмотрим примеры.

*Пример 1.* Решить уравнение

$$2\sqrt{1-2x} - x\sqrt{2x+9} = \sqrt{10(x^2+4)}$$

Что значит решить уравнение? Это означает найти все решения уравнения или доказать, что решений не существует. Решением уравнения называется упорядоченный набор чисел (значений переменных), при подстановке которых вместо переменных уравнение обращается в верное равенство.

Итак, нам дано уравнение:

$$2\sqrt{1-2x} - x\sqrt{2x+9} = \sqrt{10(x^2+4)}$$

Данное уравнение является иррациональным, так как функция  $2\sqrt{1-2x} - x\sqrt{2x+9}$  и  $\sqrt{10(x^2+4)}$  содержат переменную  $x$  под знаком радикала.

Для того, чтобы решить такое уравнение, необходимо использовать тождественные

преобразования, а именно, возвести обе части уравнения в одну и ту же степень:

$$\begin{aligned} (2\sqrt{1-2x} - x\sqrt{2x+9})^2 &= (\sqrt{10(x^2+4)})^2 \\ 4(1-2x) - 4x\sqrt{(1-2x)(2x+9)} + x^2(2x+9) &= 10(x^2+4) \\ 4(1-2x) + x^2(2x+9) - 10(x^2+4) &= 4x\sqrt{(1-2x)(2x+9)} \\ 4 - 8x + 2x^3 + 9x^2 - 10x^2 - 40 &= 4x\sqrt{(1-2x)(2x+9)} \\ 2x^3 - x^2 - 8x - 36 &= 4x\sqrt{(1-2x)(2x+9)} \end{aligned}$$

Возводя еще раз, мы приходим к многочлену и уравнение будет выглядеть таким образом:

$$4x^6 - 4x^5 - 31x^4 - 128x^3 + 136x^2 + 576x + 1296 = -64x^4 - 256x^3 + 144x^2$$

Решить полученное уравнение алгебраическим методом будет довольно сложно. Попробуем обратиться к векторам для решения данного уравнения:

I) Рассмотрим функцию  $f(x) = 2\sqrt{1-2x} - x\sqrt{2x+9}$  из левой части уравнения:

$$\text{ОДЗ } f(x): \begin{cases} 1-2x \geq 0 \\ 2x+9 \geq 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 2x \leq 1 \\ 2x \geq -9 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x \leq \frac{1}{2} \leq 0,5 \\ x \geq -\frac{9}{2} \geq -4,5 \end{cases} \quad -4,5 \leq x \leq 0,5$$

II) Введем векторы:

$$1) \vec{a} = (\sqrt{1-2x}; \sqrt{2x+9});$$

$$2) \vec{b} = (2; -x).$$

III) Найдем скалярное произведение данных векторов:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 2\sqrt{1-2x} - x\sqrt{2x+9}.$$

IV) Вычислим длины векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ , и их произведение:

$$1.1) |\vec{a}| = \sqrt{(\sqrt{1-2x})^2 + (\sqrt{2x+9})^2} = \sqrt{1-2x+2x+9} = \sqrt{10};$$

$$1.2) |\vec{b}| = \sqrt{2^2 + (-x)^2} = \sqrt{4+x^2};$$

$$2.1) |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| = \sqrt{10} \cdot \sqrt{4+x^2} = \sqrt{10(x^2+4)}.$$

Так скалярное произведение векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  (левая часть уравнения) равно произведению длин этих векторов (правая часть уравнения). Следовательно, векторы  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  коллинеарны:

$$\frac{\sqrt{1-2x}}{2} = \frac{\sqrt{2x+9}}{-x} \\ -x\sqrt{1-2x} = 2\sqrt{2x+9}$$

Чтобы решить данное уравнение, можно либо его разложить на множители, либо использовать теорему Безу.

Рассмотрим оба способа:

*I способ:*

$$\begin{aligned} -x\sqrt{1-2x} &= 2\sqrt{2x+9} \\ (-x\sqrt{1-2x})^2 &= (2\sqrt{2x+9})^2 \\ x^2(1-2x) &= 4(2x+9) \\ x^2 - 2x^3 &= 8x + 36 \\ x^2 - 2x^3 - 8x - 36 &= 0 \\ -2x^3 + x^2 - 8x - 36 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -2x^3 - 4x^3 + 5x^2 + 10x - 18x - 36 &= 0 \\ -2x^2(x + 2) + 5x(x + 2) - 18(x + 2) &= 0 \\ -(x + 2)(2x^2 - 5x + 18) &= 0. \end{aligned}$$

Теперь составим систему уравнения:

$$f(x) = \begin{cases} x + 2 = 0 \\ 2x^2 - 5x + 18 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x = -2 \\ D = (-5)^2 - 4 * 18 * 2 = 25 - 144 = -111, D < 0 \end{cases}$$

Так как у уравнения  $2x^2 - 5x + 18 = 0$  дискриминант меньше 0, то оно не имеет решения. Поэтому уравнение  $-x\sqrt{1-2x} = 2\sqrt{2x+9}$ , имеет одно решение:  $-2$ .

2 способ:

$$\begin{aligned} -x\sqrt{1-2x} &= 2\sqrt{2x+9} \\ (-x\sqrt{1-2x})^2 &= (2\sqrt{2x+9})^2 \\ x^2(1-2x) &= 4(2x+9) \\ x^2 - 2x^3 &= 8x + 36 \\ x^2 - 2x^3 - 8x - 36 &= 0 \\ 2x^3 - x^2 + 8x + 36 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{r|l} 2x^3 - x^2 + 8x + 36 & x + 2 \\ \hline 2x^3 + 4x^2 & 2x^2 - 5x + 18 \\ \hline -5x^2 + 8x & \\ -5x^2 - 10x & \\ \hline 18x + 36 & \\ 18x + 36 & \\ \hline 0 & \end{array}$$

$$2x^3 - x^2 + 8x + 36 = (x + 2)(2x^2 - 5x + 18) = 0$$

Получается то же самое уравнение, что и в первом способе. Отсюда следует, что уравнение  $(2\sqrt{1-2x} - x\sqrt{2x+9})^2 = (\sqrt{10(x^2+4)})^2$  имеет единственное решение  $-2$ .

*Пример 2.* Найти наибольшее значение функции  $y = \sqrt{x} + 4\sqrt{\frac{2-x}{2}}$  на отрезке  $[0;2]$ .

Нахождение наибольших и наименьших значений целого ряда функций с помощью производной приводит к неоправданно громоздким вычислениям, большим затратам времени и, как следствие к грубым арифметическим просчетам. Этим трудностей можно избежать, если при их вычислении использовать векторный метод.

Преобразуем выражение, задающее функцию:

$$\begin{aligned} y &= \sqrt{x} + 4\sqrt{\frac{2-x}{2}} = \sqrt{x} + 4 \times \frac{\sqrt{2-x}}{\sqrt{2}} = \sqrt{x} + \frac{4\sqrt{2-x}}{\sqrt{2}} = \sqrt{x} + 2\sqrt{(2-x) \times 2} \\ &= \sqrt{x} + 2\sqrt{2}\sqrt{2-x} \end{aligned}$$

I) Введем векторы:

$$1) \vec{a} = (\sqrt{x}; \sqrt{2-x});$$

$$2) \vec{b} = (1; 2\sqrt{2}).$$

II) Найдем скалярное произведение данных векторов:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \sqrt{x} + 2\sqrt{2}\sqrt{2-x}.$$

III) Вычислим длины векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ , и их скалярное произведение:

$$1.1) |\vec{a}| = \sqrt{(\sqrt{x})^2 + (\sqrt{2-x})^2} = \sqrt{x + 2 - x} = \sqrt{2};$$

$$1.2) |\vec{b}| = \sqrt{1^2 + (2\sqrt{2})^2} = \sqrt{1 + 4 \times 2} = \sqrt{9} = 3;$$

$$2.1) |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| = \sqrt{2} \cdot 3 = 3\sqrt{2}.$$

Оценим значением функции:

$$\sqrt{x} + 2\sqrt{2}\sqrt{2-x} \leq 3\sqrt{2}$$

Так как выражение этой функции представляет собой скалярное произведение векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ , то ее значение не может превосходить произведения длин векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ .

Свое наибольшее значения функция достигает, когда векторы  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  коллинеарны.

Так как векторы  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  коллинеарные, то их координаты пропорциональны:

$$\begin{aligned} \frac{\sqrt{x}}{1} &= \frac{\sqrt{2-x}}{2\sqrt{2}} \\ 2\sqrt{2x} &= \sqrt{2-x} \\ (2\sqrt{2x})^2 &= (\sqrt{2-x})^2 \\ 4 \times 2x &= 2-x \\ 8x &= 2-x \\ 8x+x &= 2 \\ 9x &= 2 \\ x &= \frac{2}{9} \approx 0,2 \end{aligned}$$

Ответ:  $\max_{[0;2]} y(x) = y\left(\frac{2}{9}\right) = 3\sqrt{2}$

Векторный метод позволяет решать довольно большое число задач алгебры: решение уравнений, систем уравнений, доказательство неравенств, задач на нахождение наибольших и наименьших значений и в некоторых случаях решение упрощается по сравнению с решениями, выполненными традиционным путем.

**Библиографический список:**

1. Свиркина Л. А. Приведение к каноническому виду линий и поверхностей второго порядка, заданных своими общими уравнениями относительно ДПСК (декартовой прямоугольной системы координат): учеб. пособие / Свиркина Л. А. СПб. : СПбГУ, 2013. – 65с.
2. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – 13-е изд., исправленное. – М. : Наука, Гл. ред. физ-мат. Лит., 1986. – 544 с.

УДК 519.231

**Статистический анализ зимних температур воздуха  
в городе Ухта и городе Сыктывкар**

Овчинников А.В.

Научный руководитель – Волкова И. И.

г. Ухта, Ухтинский государственный технический университет

Сегодняшняя практика эксплуатации газо- и нефтепроводов, а также практика разработки и проектирования газовых и нефтяных месторождений требуют от инженера наличие качественных знаний в математической подготовке. Со временем было получено большое количество экспериментальных данных в различных сферах, требующих системного анализа. Поэтому необходимо использовать вероятностно-статистические методы, чтобы эффективно решить подобные задачи.

В данной работе вероятностно-статистические методы используются для анализа

зависимостей зимних температур воздуха. Умение пользоваться такими зависимостями очень полезно для качественной эксплуатации магистральных трубопроводов и организации процесса их прокладки. Были собраны статистические данные о зимних температурах в г. Ухта и г. Сыктывкар за декабрь 2017, январь 2018, февраль 2018 года по данным сайта [www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru). На рисунке 1 представлена часть сведений.

Час	День					Вечер				
	Температура	Давление	Облачность	Осадки	Ветер	Температура	Давление	Облачность	Осадки	Ветер
1	-6	761	☀		ЮЗ 3 м/с	-6	761	☀		ЮЗ 3 м/с
2	-5	752	☀		ЮЗ 6 м/с	-4	749	☀		ЮЗ 6 м/с
3	0	747	☀		ЮЗ 4 м/с	0	747	☀		ЮЗ 4 м/с
4	-2	746	☀		ЮЗ 3 м/с	-3	746	☀		ЮЗ 3 м/с
5	-1	737	☀	*	ЮЗ 5 м/с	-1	736	☀		ЮЗ 5 м/с
6	-3	743	☀	*	ЮЗ 2 м/с	-3	743	☀	*	ЮЗ 2 м/с
7	-5	746	☀	*	Ш	-6	746	☀	*	Ш
8	-8	744	☁	*	1 м/с	-10	746	☀		1 м/с

Рис. 1. Дневник погоды в Ухте за декабрь 2017 года.

Всего для анализа использовано 180 данных, 90 по Ухте и 90 по Сыктывкару.

Была выполнена первичная статистическая обработка исходных данных: получены средние значения  $\bar{x}$  (день, ночь, среднесуточные), выборочная дисперсии  $S^2$ , выборочные среднеквадратичные отклонения. Некоторые данные представлены в таблице 1:

Построены гистограммы зимних температур в г. Ухта и г. Сыктывкар по всем исходным данным (дневные, ночные, среднесуточные). На рисунке 2 представлена характерная гистограмма зимних среднесуточных температур по Ухте, на рисунке 3 аналогичная гистограмма зимних среднесуточных температур по Сыктывкару.

Таблица 1. Выборочные числовые характеристики зимних температур

	Зимняя дневная	Зимняя ночная	Зимняя среднесуточная
Ухта	$\bar{x} = -9,72$	$\bar{x} = -10,29$	$\bar{x} = -9,7$
	$S^2 = 42,04$	$S^2 = 43,64$	$S^2 = 38,41$
	$S = 6,48$	$S = 6,61$	$S = 6,2$
Сыктывкар	$\bar{x} = -8,04$	$\bar{x} = -9,2$	$\bar{x} = -8,32$
	$S^2 = 30,8$	$S^2 = 38,78$	$S^2 = 33,34$
	$S = 5,55$	$S = 6,23$	$S = 5,77$

На основе вида гистограмм выдвинуты гипотезы о нормальном законе распределения зимних температур воздуха за указанный период.

Сначала проверена гипотеза о параметре  $a$  нормального распределения [1].

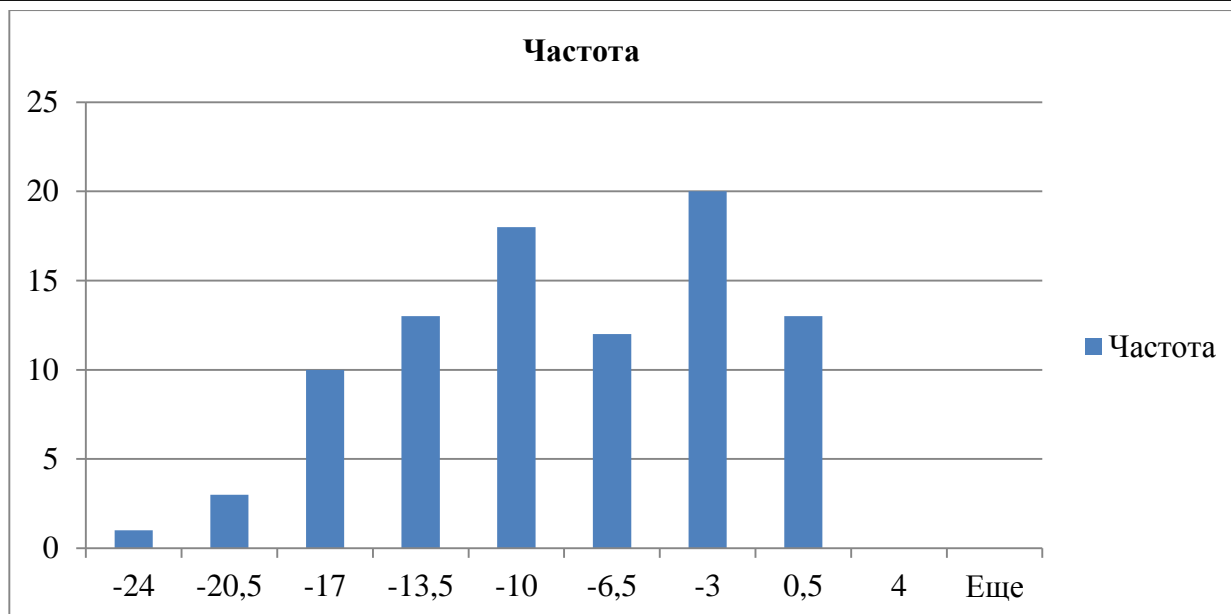


Рис. 2. Гистограмма зимних среднесуточных температур по Ухте.

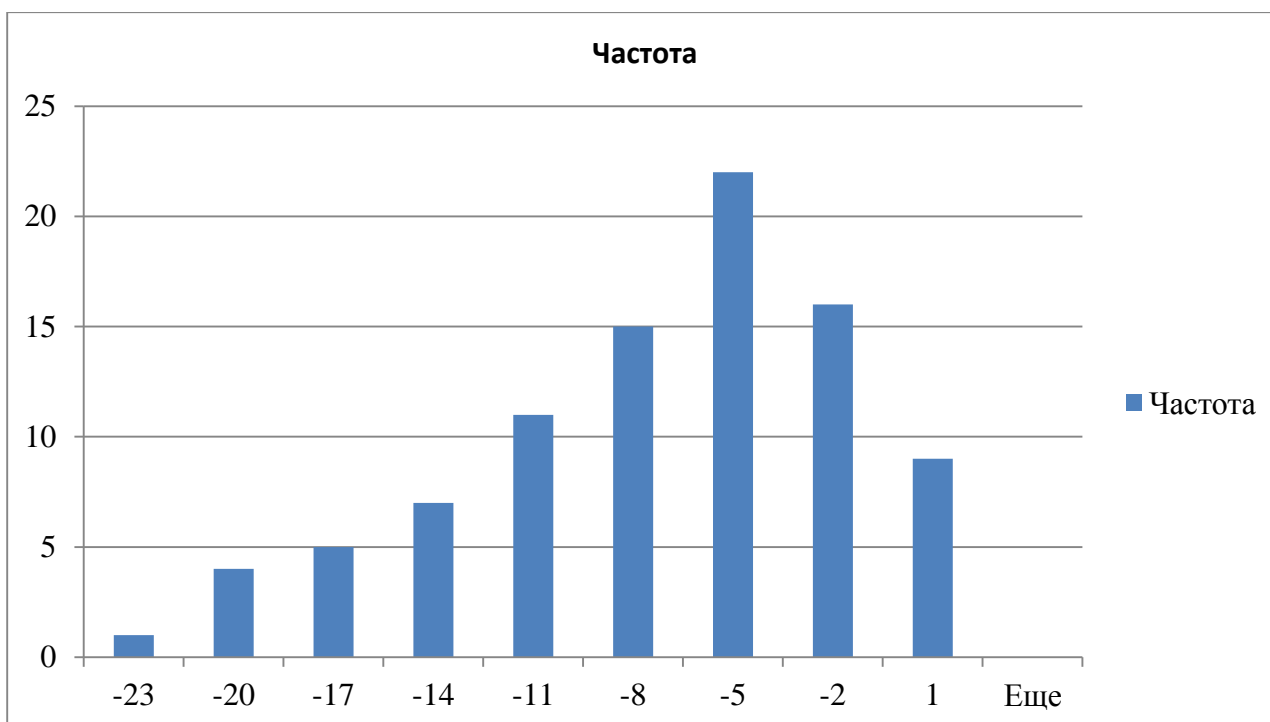


Рис. 3. Гистограмма зимних среднесуточных температур по Сыктывкару.

Для Ухты: среднее значение зимней температуры  $\bar{x} = -9,7^\circ$ , среднее квадратическое отклонение  $S = 6,2$ , выборка объемом  $n = 90$ . Проверяем нулевую гипотезу  $H_0: a_0 = -9^\circ$  при альтернативной гипотезе  $H_1: a_0 \neq -9^\circ$ . Расчетное значение критерия Стьюдента равно  $K_{\text{расч}} = \frac{|-9,7 - (-9)|}{6,2} \cdot \sqrt{90} = 1,07$ . Задаем уровень значимости  $\alpha = 0,05$ ; получаем критическое значение критерия Стьюдента  $K_{\text{крит}} = t(0,05; 90-1) = 2,0$

Так как  $K_{\text{расч}} < K_{\text{крит}}$ , то нет оснований отвергать  $H_0$ . Аналогично проверена нулевая гипотеза для Сыктывкара с выборочными характеристиками  $\bar{x} = -8,32^\circ$ ,  $S = 5,77$ ,  $n = 90$ . Нулевая и альтернативная гипотезы имеют вид:  $H_0: a_0 = -8^\circ$ ,  $H_1: a_0 \neq -8^\circ$

Далее проверку гипотезы о нормальном законе распределения зимних температур осуществляем по критерию  $\chi^2$  [2].

В таблице 2 для примера приведены расчеты теоретических вероятностей и



теоретических частот, необходимых для проверки гипотезы о законе нормального распределения (с параметрами  $a = -9,7$ ,  $\sigma = 6,2$ ) зимней среднесуточной температуры для Ухты и Сыктывкара по критерию  $\chi^2$ .

Таблица 2. Проверка гипотезы о законе нормального распределения зимней среднесуточной температуры для Ухты по критерию  $\chi^2$

Ухта			Сыктывкар		
$m_i$	$p_i$	$m_{i,t}$	$m_i$	$p_i$	$m_{i,t}$
7	0,0302	2,6878	5	0,0168	1,512
7	0,0801	7,1289	5	0,0446	4,014
10	0,1499	13,3411	6	0,0919	8,271
20	0,2131	18,9659	10	0,163	14,67
15	0,211	18,779	17	0,2007	18,063
18	0,1649	14,6761	23	0,1958	17,622
13	0,0896	7,9744	15	0,1486	13,374
			9	0,0841	7,569
$\chi^2_{\text{расч}}=12,49$			$\chi^2_{\text{расч}}=12,57$		
$\chi^2_{\text{крит}}(0,05;7-2-1)=9,49$			$\chi^2_{\text{крит}}(0,05;8-2-1)=11,07$		
$\chi^2_{\text{крит}}(0,01;7-2-1)=13,28$			$\chi^2_{\text{крит}}(0,01;8-2-1)=15,09$		

При  $\alpha = 0,05$  гипотезу о нормальном законе распределения необходимо отвергнуть, так как  $\chi^2_{\text{расч}} > \chi^2_{\text{крит}}$ . Уменьшим уровень значимости  $\alpha$  до 0,01. В этом случае  $\chi^2_{\text{расч}} < \chi^2_{\text{крит}}$  и у нас нет оснований отвергнуть гипотезу о законе нормального распределения.

Такие же расчеты были проведены для Сыктывкара. Доказано, что при уровне значимости  $\alpha=0,01$  нет оснований отвергнуть гипотезу о законе нормального распределения с параметрами  $a = -8,3$ ,  $\sigma = 5,7$ .

Дальше было проверено, насколько существенно различие зимних температур в Ухте и Сыктывкаре, использован t-критерий Стьюдента [2]. Для выбора первой или второй модификации критерия Стьюдента сначала проверяется гипотеза о равенстве дисперсий по критерию Фишера:

Ухта:  $\bar{x} = -9,7^\circ$ ,  $S^2=38,41$ ,  $S=6,2$ ,  $m=90$ ; Сыктывкар:  $\bar{x} = -8,3^\circ$ ,  $S^2=33,34$ ,  $S=5,77$ ,  $n=90$ :

$H_0: DX=DY$ ,  $H_1: DX \neq DY$   $F_{\text{расч}} = \frac{38,41}{33,34} = 1,152$ . При  $F_{\text{крит.}} = (0,05;89;89) = 1,35$ .

$F_{\text{расч.}} < F_{\text{крит.}}$ , поэтому  $H_0$  не отвергается. Так как  $DX=DY$ , то используем первую модификацию t-критерия:

I модификация:  $(DX = DY)$ ,  $H_0: MX=MY$ ,  $H_1: MX \neq MY$

Так как  $DX = DY$ , объединяем обе выборки. Имеем расчёты:

$$S^2 = \frac{3418,9 + 2967,7}{178} = 35,88; S_d^2 = \frac{s^2}{m} + \frac{s^2}{n} = \frac{35,88 + 35,88}{90} = 0,797;$$

$$t_{\text{расч}} = \frac{|-9,7 - (-8,3)|}{\sqrt{0,797}} = 1,57; t_{\text{крит}} = t(0,05;178) = 1,96.$$

Так как  $t_{\text{расч}} < t_{\text{крит}}$ , то нет оснований отвергать  $H_0$ . Различие в зимних среднесуточных температурах Ухты и Сыктывкара статистически незначимо.

Таким образом, получаем вывод: различие зимних температур в г. Ухта и г. Сыктывкар за зиму 2017-2018 года статистически незначимо.

В будущем мы будем использовать изученные вероятностно-статистические методы при анализе определённых зависимостей в конкретных инженерных задачах при эксплуатации и прокладке трубопроводов.

**Библиографический список:**

1. Вероятностные методы исследования зависимостей в нефтяной и газовой промышленности. И.И.Волкова, Е. В. Пластинина, О.М.Прудникова, Е. В. Хабаева. – Ухта: УГТУ, 2014. – 135с.: ил.
2. Волкова И. И. Математические методы анализа информации [Текст]: учебно-методическое пособие для магистрантов направления НГД – «Нефтегазовое дело» / И. И. Волкова, Хозяинова М. С. – Ухта: УГТУ, 2017. – 55 с.

УДК 519.876

**Построение оптимальной транспортной сети**

Пабузин Е.В.

Научный руководитель – Мужикова А. В.

Ухтинский государственный технический университет

Объектом исследования является транспортная сеть (рис. 1). Транспортная сеть – ориентированный граф, в котором каждому ребру приписана неотрицательная пропускная способность, а также выделены две вершины: источник и сток. Транспортные сети встречаются в виде автомобильных сетей дорог, магистральных сетей газопроводов, воздушных транспортных сетей.

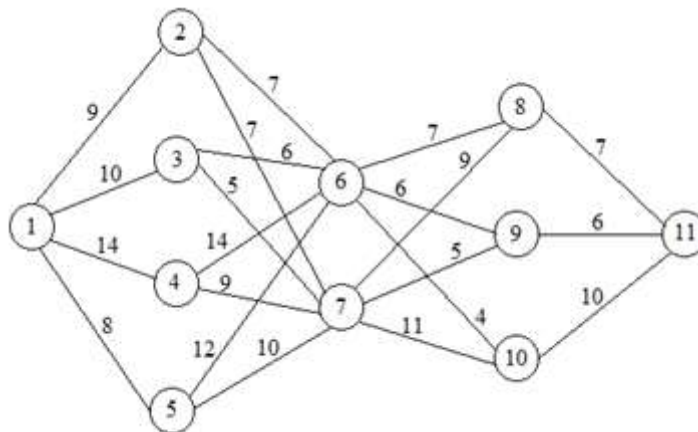


Рис. 1. Транспортная сеть

Целью работы является построение (выбор) оптимального пути в транспортной сети. Критерием оптимальности является максимум (минимум) какой-либо целевой функции. Целевой функцией может являться стоимость, расстояние, время, пропускная стоимость, и т. д. Если критерий один, то задача является однокритериальной, если несколько – многокритериальной.

Цель работы — это построение (выбор) оптимального пути в транспортной сети. Термин «оптимум» был введен в 18 веке Готфридом Лейбницем. До 20 века выявлялись различные математические закономерности, лежащие в основе теории оптимизации. И к 70-м годам 20 века был разработан раздел прикладной математики – теория и методы оптимизации.

Рассмотрим задачу, условие к которой представлено на рисунке 1. На рисунке представлена схема маршрутов из пункта 1 в пункт 11 с соответствующими стоимостями проезда по каждому участку пути. Задача может быть решена тривиальным способом, а именно перебором всех вариантов. В таблице 1 приведены варианты пути из пункта 1 в пункт 11 с указанием стоимости проезда по каждому участку и общая стоимость пути. Минимальные затраты соответствуют 8 пути: 1–3–7–9–11, затраты по которому составляют 26 усл. ден. ед. Таким образом определен оптимальный путь. Данная задача может быть решена и специализированным методом, а именно, методом динамического программирования, основанном на принципе оптимальности Беллмана. Основной принцип

динамического программирования это разбиение решения задачи на отдельные этапы. Чаще всего при решении задачи на каждом последующем этапе используется результат решения задачи на предыдущем этапе. Такой подход значительно сокращает объем вычислений и ускоряет процесс нахождения оптимального решения. Принцип оптимальности Беллмана состоит в том, что «каким бы ни был путь достижения некоторого пункта, последующие решения должны принадлежать оптимальной стратегии для части пути, начинающейся с этого пункта» [1].

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Итого
1 путь	(1;2) 9	(2;6) 7				(6;8) 7		(8;11) 7			30
2 путь	(1;2) 9	(2;7) 7					(7;8) 9	(8;11) 7			32
3 путь	(1;2) 9	(2;7) 7					(7;9) 5		(9;11) 6		27
4 путь	(1;2) 9	(2;6) 7				(6;9) 6			(9;11) 6		28
5 путь	(1;3) 10		(3;6) 6			(6;9) 6			(9;11) 6		28
6 путь	(1;3) 10		(3;6) 6			(6;8) 7		(8;11) 7			30
7 путь	(1;3) 10		(3;6) 6			(6;10) 4				(10;11) 10	30
8 путь	(1;3) 10		(3;7) 5				(7;9) 5		(9;11) 6		<b>26</b>
9 путь	(1;3) 10		(3;7) 5				(7;10) 11			(10;11) 10	36
10 путь	(1;3) 10		(3;7) 5				(7;8) 9	(8;11) 7			31
11 путь	(1;4) 14			(4;6) 14		(6;8) 7		(8;11) 7			42
12 путь	(1;4) 14			(4;6) 14		(6;9) 6			(9;11) 6		40
13 путь	(1;4) 14			(4;6) 14		(6;10) 4				(10;11) 10	42
14 путь	(1;4) 14			(4;7) 9			(7;8) 9	(8;11) 7			41
15 путь	(1;4) 14			(4;7) 9			(7;9) 5		(9;11) 6		34
16 путь	(1;4) 14			(4;7) 9			(7;10) 11			(10;11) 10	44
17 путь	(1;5) 14				(5;6) 12	(6;8) 7		(8;11) 7			40
18 путь	(1;5) 14				(5;6) 12	(6;9) 6			(9;11) 6		38
19 путь	(1;5) 14				(5;6) 12	(6;10) 4				(10;11) 10	40
20 путь	(1;5) 14				(5;7) 10		(7;8) 9	(8;11) 7			40
21 путь	(1;5) 14				(5;7) 10		(7;9) 5		(9;11) 6		35

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Итого
22 путь	(1;5) 14				(5;7) 10		(7;10) 11			(10;11) 10	45
23 путь	(1;2) 9	(2;6) 7				(6;10) 4				(10;11) 10	30
24 путь	(1;2) 9	(2;7) 7					(7;10) 11			(10;11) 10	37

Для решения задачи введем следующие обозначения:  $f_n(i)$  – стоимость, отвечающая стратегии минимальных затрат для пути от пункта  $i$ , если до конечного пункта остается  $n$  шагов;  $P_n(i)$  – решение, позволяющее достичь  $f_n(i)$ . Здесь индекс  $n$  не только равен количеству шагов, оставшихся до конечного пункта, но и совпадает с номером этапа в процессе решения задачи. Таким образом, начинаем поиск оптимального маршрута от конечного пункта, положив

$$n = 1: \quad f_1(8) = c_{8,11} = 7, \quad P_1(8) = 11.$$

$$f_1(9) = c_{9,11} = 6, \quad P_1(9) = 11.$$

$$f_1(10) = c_{10,11} = 10, \quad P_1(10) = 11.$$

$$n = 2: \quad f_2(6) = \min\{c_{6,8} + f_1(8); c_{6,9} + f_1(9)\} = 12, \quad P_2(6) = 9.$$

$$f_2(7) = \min\{c_{7,8} + f_1(8); c_{7,9} + f_1(9)\} = 11, \quad P_2(7) = 9.$$

$$n = 3: \quad f_3(2) = \min\{c_{2,6} + f_2(6); c_{2,7} + f_2(7)\} = \min\{7 + 12; 7 + 11\} = 18, \quad P_3(2) = 7.$$

$$f_3(3) = \min\{c_{3,6} + f_2(6); c_{3,7} + f_2(7)\} = \min\{6 + 12; 5 + 11\} = 16, \quad P_3(3) = 7.$$

$$f_3(4) = \min\{c_{4,6} + f_2(6); c_{4,7} + f_2(7)\} = \min\{14 + 12; 9 + 11\} = 20, \quad P_3(4) = 7.$$

$$f_3(5) = \min\{c_{5,6} + f_2(6); c_{5,7} + f_2(7)\} = \min\{12 + 12; 10 + 11\} = 21, \quad P_3(5) = 7.$$

$$n = 4:$$

$$f_4(1) = \min\{c_{1,2} + f_3(2); c_{1,3} + f_3(3); c_{1,4} + f_3(4); c_{1,5} + f_3(5)\} = \min\{9 + 18; 10 + 16; 14 + 20; 8 + 21\} = 26,$$

$$P_4(1) = 3.$$

Таким образом, определен такой же оптимальный путь 1–3–7–9–11, затраты по которому составляют  $f_4(1) = 26$ . Данная задача на нахождение оптимального маршрута с точки зрения достижения минимальной стоимости проезда является однокритериальной.

Рассмотрим задачу построения оптимальной транспортной сети в случае зависимости решения от двух критериев. Например, возьмем «реальную» задачу: студент-активист из Москвы решил поучаствовать в форуме в столице Казахстана – Астана, но приехать ему нужно как можно быстрее, но в то же время и экономнее. Найдем оптимальный путь. В таблице 2 представлены варианты пути и соответствующие им общее время в пути и стоимость проезда.

Таблица 2

Варианты выбора (стратегии)	Поезд А Время/стоимость/ время пересадки	Поезд Б Время/стоимость/ время пересадки	Поезд В Время/стоимость/ время пересадки
1 путь: Москва-Орша-Астана	77 ч./11042 руб./11ч.	81 ч./ 11042 руб./ 2 ч.	
2 путь: Москва-Минск-Астана	73 ч./12142 руб./ 15 ч.		
3 путь: Москва-Смоленск-Астана	79 ч./11132 руб./ 2ч.	78 ч./11536 руб./ 4ч.	74 ч./12642 руб./ 5ч.
4 путь: Москва-	73 ч./13132 руб./ 2 ч.	77 ч./12080 руб./ 1ч.	

Варианты выбора (стратегии)	Поезд А Время/стоимость/ время пересадки	Поезд Б Время/стоимость/ время пересадки	Поезд В Время/стоимость/ время пересадки
Сухуничи-Астана			
5 путь: Москва-Астана	69 ч./14526 руб. / 0 ч.		

Сложность выбора оптимального пути состоит в том, что критерии для выбора заданы в разных единицах измерения. Перейдем к безразмерным величинам, поделив каждое значение критерия на соответствующий максимум по нему. Значения нормализованных критериев представлены в таблице 3.

Таблица 3

Путь	Поезд	Общее время в пути, $\hat{a}_{i1} = \frac{a_{i1}}{a_1^+}$ (нормализованный критерий)	Стоимость проезда, $\hat{a}_{i2} = \frac{a_{i2}}{a_2^+}$ (нормализованный критерий)	Значение целевой функции, $F_i = \sum_{j=1}^2 \hat{a}_{ij}$
1 путь: Москва-Орша-Астана	1 А	1	0,76	1,76
	2 Б	0,94	0,76	1,70
2 путь: Москва-Минск-Астана	1 А	1	0,84	1,84
3 путь: Москва-Смоленск-Астана	1 А	0,92	0,77	<b>1,69</b>
	2 Б	0,93	0,79	1,72
	3 Б	0,90	0,87	1,75
4 путь: Москва-Сухуничи-Астана	1 А	0,85	0,90	1,75
	2 Б	0,87	0,83	1,70
5 путь: Москва-Астана	1 А	0,78	1	1,78

Найдем значение целевой функции как сумму нормализованных критериев по каждому из 9 вариантов пути. Значения целевой аддитивной функции представлены в последнем столбце в таблице 3. Из таблицы видно, что оптимальным вариантом является 3 путь: Москва-Смоленск-Астана, поезд А. Значение целевой функции для него составляет 1,69. Представим ситуацию, что критерии для принятия решения не являются равнозначными. Т. е. например, стоимость проезда имеет более важное значение, нежели общее время в пути. Тогда введем весовые коэффициенты, придав им значение от 0 до 1 так,

чтобы сумма их была равна 1:  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0$ .

Чем ближе весовой коэффициент к единице, тем более важен для нас этот критерий. Значение целевой функции для каждого варианта пути изменится с учетом влияния каждого весового коэффициента. Значения обобщенной целевой функции, вычисленные по формуле

$F_i = \sum_{j=1}^n \lambda_j \hat{a}_{ij}$ , приведены в таблице 4. Из таблицы видно, что оптимальным вариантом

является 2 путь: Москва-Минск-Астана, поезд А. Значение целевой функции для него составляет 0,814.

Таблица 4

Путь	Поезд	Время, $\hat{a}_{i1}$	Стоимость, $\hat{a}_{i2}$	Значение целевой функции, $F_i$
1 путь: Москва-Орша-Астана	1 А	1	0,76	0,832

Путь	Поезд	Время, $\hat{a}_{i1}$	Стоимость, $\hat{a}_{i2}$	Значение целевой функции, $F_i$
	2 Б	0,94	0,76	<b>0,814</b>
2 путь: Москва-Минск-Астана	1 А	1	0,84	0,888
3 путь: Москва-Смоленск-Астана	1 А	0,92	0,77	0,815
	2 Б	0,93	0,79	0,829
	3 Б	0,90	0,87	0,879
4 путь: Москва-Сухуничи-Астана	1 А	0,85	0,90	0,885
	2 Б	0,87	0,83	0,842
5 путь: Москва-Астана	1 А	0,78	1	0,934
Весовой коэффициент		$\lambda_1 = 0,3$	$\lambda_2 = 0,7$	

Если в последней ситуации время в пути и стоимость проезда должны быть минимальными, то наличие критерия, который должен быть максимально возможным дополнительно усложняет решение задачи. Представим ситуацию, что во внимание берется также то, что студент, который направляется из Москвы в Астану, хотел бы посетить город пересадки и посмотреть его достопримечательности. Озадачимся тем, что стоимость проезда и время в поезде должно быть минимально, а время пересадки максимально. Для того, чтобы рассчитать обобщенную функцию цели, все критерии должны быть либо максимизирующимися, либо минимизирующимися. Каким образом решается данное несоответствие? В нашем случае два критерия минимизируются, а один максимизируется. Так вот, в критерии, который максимизируется необходимо перейти к его минимизации вычитанием каждого нормализованного значения из 1. Тем самым можно говорить о его минимизации, и возможности учитывать все эти три критерия в совокупности. В таблице 5 приведены результаты расчетов: нормализованные критерии, переход в критерии «время пересадки» к его минимизации, весовые коэффициенты, и значение целевой функции для каждого варианта пути. Из таблицы видно, что оптимальным вариантом является 2 путь: Москва-Минск-Астана, поезд А. Значение целевой функции для него составляет 0,606.

Таблица 5

Путь	Поезд	Время, $\hat{a}_{i1}$	Стоимость, $\hat{a}_{i2}$	Время пересадки, $\hat{a}_{i3}$	Значение целевой функции, $F_i$
1 путь: Москва-Орша-Астана	1 А	0,95	0,76	0,27	0,670
	2 Б	1	0,76	0,87	0,865
2 путь: Москва-Минск-Астана	1 А	0,9	0,84	0	<b>0,606</b>
3 путь: Москва-Смоленск-Астана	1 А	0,97	0,77	0,87	0,860
	2 Б	0,96	0,79	0,73	0,823
	3 Б	0,91	0,87	0,67	0,822
4 путь: Москва-Сухуничи-Астана	1 А	0,90	0,90	0,87	0,918
	2 Б	0,95	0,83	0,93	0,896
5 путь: Москва-Астана	1 А	0,85	1	1	0,955
Весовой коэффициент		$\lambda_1 = 0,3$	$\lambda_2 = 0,4$	$\lambda_3 = 0,3$	

Идея нормализации критериев и введения весовых коэффициентов, реализованная в представленных задачах, является центральной в методе аддитивной оптимизации при принятии решений в условиях определенности [2].

**Библиографический список:**

1. Экономика-математические методы и модели : учебное пособие / кол. авторов ; под ред. С. И. Макарова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : КНОРУС, 2009. – 240 с.
2. Исследование операций и принятие решений в экономике. Сборник задач и упражнений : учебное пособие для вузов / В. П. Невежин, С. И. Кружилов, Ю. В. Невежин / под общ. ред. В. П. Невежина. – М. : ФОРУМ, 2012. – 400 с.

УДК 519.876.3

**Применение метода сетевого планирования при строительстве газопровода**

Павленко Т. В.

Научный руководитель – Мужикова А. В.

Ухтинский государственный технический университет

На сегодняшний день строительство играет значимую роль в жизни современного человека. В мире существует большое количество строительных компаний, которые занимаются строительными работами на различных объектах, в том числе и на газопроводах. Планирование и управление большим количеством работ в строительстве является сложной и, как правило, противоречивой задачей. Оценка временных и стоимостных параметров работы системы, выполняемая в пределах этой задачи, осуществляются различными методами. Среди существующих огромное значение имеет метод сетевого планирования.

Сетевое планирование – метод анализа сроков, начала и окончания нереализованных частей проекта, позволяет увязать выполнение различных работ и процессов во времени, получив прогноз общей продолжительности реализации всего проекта.

Следует помнить, что целью сетевого планирования является сведение к минимуму продолжительности проекта, значит, применение сетевых моделей объясняется необходимостью грамотного управления крупными задачами и проектами, строительством и реконструкцией, капитальных ремонтов и тому подобное.

Благодаря сетевой модели руководитель работ может системно и полномасштабно понять весь ход работ, управлять процессом их реализации, а также грамотно распоряжаться ресурсами, что значительно экономит денежные средства.

Задача сетевого планирования заключается в том, чтобы графически, наглядно и системно отобразить, и упорядочить последовательность и взаимозависимость работ, действий или мероприятий, обеспечивающих своевременное и планомерное достижение поставленных целей. Для понимания и восприятия тех или иных действий, ситуаций используются экономика-математические модели, которые называют сетевыми моделями, простейшие из них - сетевые графики.

Уместно вспомнить высказывание советского математика Е. С. Вентцель «Ответственные решения должны приниматься не интуитивно, а на основе предварительных прикидок, математических расчётов...». Вместо того чтобы «пробовать и ошибаться» на реальных объектах, можно использовать построение математической модели, ее количественный анализ и нахождение оптимального решения. В данной задаче планирования строительных работ это именно так. Использование методов сетевого планирования позволяет сократить сроков создания новых объектов на 15-25%, обеспечить рациональное использование трудовых ресурсов и техники.

Следует выделить основные понятия, необходимые для понимания метода сетевого планирования.

Работа – это активный процесс, требующий затрат ресурсов, либо пассивный, приводящий к достижению намеченного результата.

Фиктивная работа – связь между результатами работ, не требующая затрат времени и ресурсов.

Событие – результат выполнения одной или нескольких предшествующих работ.

Путь – любая непрерывная последовательность работ и событий.

Критический путь – это путь, не имеющий резервов и включающий самые напряженные работы комплекса. Работы, расположенные на критическом пути, называются критическими. Все остальные работы называются некритическими и обладают резервами времени, которые позволяют передвигать сроки их выполнения, не влияя на общую продолжительность выполнения всего комплекса работ.

При построении сетевого графика необходимо соблюдать ряд правил.

1) Сетевые модели нужно строить от начала к окончанию, т.е. слева направо.

2) В сетевом графике стрелки, обозначающие работы, ожидания или зависимости, должны идти слева направо, не отклоняясь влево от оси ординат, и всегда быть направленными от предшествующего события к последующему, т.е. от события с меньшим порядковым номером к событию с большим порядковым номером.

4) В сетевой модели не должно быть событий, из которых не выходит ни одна работа, за исключением завершающего события.

5) В сетевой модели нельзя строить замкнутые контуры — пути, соединяющие некоторые события с ними же самими, т.е. не допускается, чтобы один и тот же путь возвращался в то же событие, из которого он вышел.

6) В сетевом графике не должно быть хвостовых событий, т.е. событий, в которые не входит ни одна работа, кроме начального события.

Рассмотрим в качестве примера задачу планирования строительства 1 км газопровода. Вообще говоря, любой производственный процесс, в том числе строительство, это строгая последовательность действий, без окончания выполнения одной задачи, нельзя начинать другую. Строительство газопровода начинается, в первую очередь, с планирования стройплощадки бульдозером. За это время может быть произведен привоз труб трубовозом и завоз трубоукладчика. Далее происходит разработка траншеи экскаватором, сборка труб в звенья. Затем их укладывают в траншеи и производят электросварку. После происходит изоляция труб и испытания газопровода. И только после удачного завершения испытаний, начинается засыпка песка экскаватором и засыпка земли бульдозером. Перечень взаимосвязанных работ, количество необходимого транспорта и длительность каждого вида работ представим в таблице 1.

Таблица 1

Операция	Количество машин	Непосредственно предшествующие операции	Длительность работ на 1 км. строительства, дни.
Завоз б и э			
А. 0-1. Планирование стройплощадки бульдозером	1	-	2
Б. 1-2. Разработка траншеи экскаватором	1	А	3
В. 2-3. Вывоз грунта самосвалом	2	Б	2
Г. 2-4. Привоз труб трубовозом	3	-	3
Завоз т/у	1		3
Д. 4-5. Сборка труб в звенья трубоукл.	3	Г	1
Е. 5-6. Укладка звеньев в траншею трубоукл.	3	Г, Д	2
Ж. 6-7. Электросварка труб	3	Е	23
З. 7-8. Изоляция труб	-	Ж	2



Операция	Количество машин	Непосредственно предшествующие операции	Длительность работ на 1 км. строительства, дни.
И. 8-9. Испытание трубопровода	1	Ж, 3	4
К. 9-10. Засыпка песка экскаватором	1		
К. 9-10. Засыпка земли бульдозером	1	И	2

Обозначим каждую операцию  $b_i$ , где  $i$ -порядковый номер операции, составим математическую модель задачи (таблица 2).

Таблица 2

Работа	Продолжительность работы	Опирается на работы
$b_1$	1	–
$b_2$	3	–
$b_3$	1	–
$b_4$	1	$b_1$
$b_5$	2	$b_4$
$b_6$	1	$b_2$
$b_7$	2	$b_3, b_4, b_6$
$b_8$	23	$b_7$
$b_9$	2	$b_8$
$b_{10}$	4	$b_9$
$b_{11}$	2	$b_{10}$

Для построения сетевого графика последовательность строительных работ лучше представить в компактной записи:

$$b_1(2) \rightarrow b_4(3); b_2(3) \rightarrow b_6(1); b_4(3) \rightarrow b_5(2); b_7(2) \rightarrow b_8(23); b_9(2) \rightarrow b_{10}(4); b_{10}(4) \rightarrow b_{11}(2);$$

$$b_3(3), b_4(3), b_6(1) \rightarrow b_7(2).$$

На основе этих данных и перечисленных выше правил построим сетевой график (рис. 1).

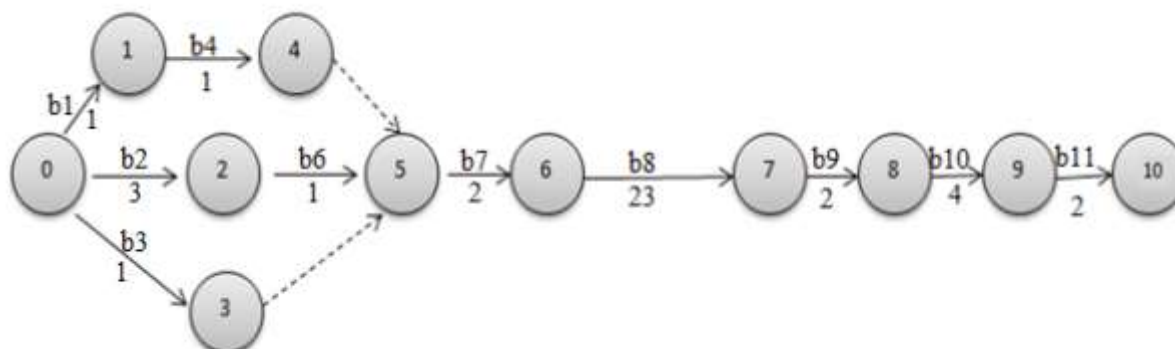


Рис. 1. Сетевой график

Наиболее ранние сроки наступления событий находим по формуле:

$$T_p(i) = \max_{j \subset i} \{T_p(j) + t_{ji}\},$$

где максимум берется по всем событиям  $j$ , непосредственно предшествующим событию  $i$ . Начальному событию присваиваем  $T_p(0) = 0$ . Тогда:

$$T_p(1) = T_p(0) + t_{01} = 0 + 1 = 1;$$

$$T_p(2) = T_p(0) + t_{02} = 0 + 3 = 3;$$

$$T_p(3) = T_p(0) + t_{03} = 0 + 1 = 1;$$

$$T_p(4) = T_p(1) + t_{14} = 1 + 1 = 2;$$

$$T_p(6) = T_p(2) + t_{25} = 3 + 1 = 4;$$

$$T_p(7) = \max\{T_p(4) + t_{14}, T_p(6) + t_{56}, T_p(0) + t_{03}\} = \max\{1 + 1, 4 + 2, 0 + 1\} = 6;$$

$$T_p(8) = T_p(7) + t_{67} = 6 + 23 = 29;$$

$$T_p(9) = T_p(8) + t_{78} = 29 + 2 = 31;$$

$$T_p(10) = T_p(9) + t_{89} = 31 + 4 = 35;$$

$$T_p(11) = T_p(10) + t_{910} = 35 + 2 = 37;$$

Итак, критическое время  $T_{кр} = 37$ .

Наиболее поздние сроки наступления событий находим по формуле  $T_n(i) = \min_{j \subset i} \{T_n(j) - t_{ij}\}$ , где минимум берется по всем событиям  $j$ , непосредственно

следующими за событием  $i$ . Конечному событию присваиваем наиболее поздний срок наступления, равный критическому времени:  $T_n(11) = T_{кр} = 37$ . Тогда:

$$T_n(10) = T_n(11) - t_{910} = 37 - 2 = 35;$$

$$T_n(9) = T_n(10) - t_{89} = 35 - 4 = 31;$$

$$T_n(8) = T_n(9) - t_{78} = 31 - 2 = 29;$$

$$T_n(7) = T_n(8) - t_{67} = 29 - 23 = 6;$$

$$T_n(6) = T_n(7) - t_{56} = 6 - 2 = 4;$$

$$T_n(4) = T_n(6) - t_{14} = 4 - 1 = 3;$$

$$T_n(3) = T_n(6) - t_{25} = 4 - 1 = 3;$$

$$T_n(2) = T_n(6) - t_{03} = 4 - 1 = 3;$$

$$T_n(1) = T_n(4) - t_{01} = 3 - 1 = 2;$$

$$T_n(0) = \min\{T_n(1) - t_{01}, T_n(3) - t_{02}, T_n(2) - t_{03}\} = \min\{2 - 1, 3 - 3, 3 - 1\} = 0.$$

Таблица 3. Найденные временные характеристики событий запишем в таблицу 3/

Событие	Ранний срок $T_p(i)$	Поздний срок $T_n(i)$	Резерв времени $R(i)$
* 0	0	0	0
1	1	2	3
* 2	3	3	0

Событие	Ранний срок $T_p(i)$	Поздний срок $T_n(i)$	Резерв времени $R(i)$
3	1	3	2
4	2	3	1
* 6	4	4	0
* 7	6	6	0
* 8	29	29	0
* 9	31	31	0
* 10	35	35	0
* 11	37	37	0

Резервы времени событий найдены по формуле:  $R(i) = T_n(i) - T_p(i)$ . Критический путь проходит через события с нулевым резервом времени, т. е. через события 0,2,5,6,7,8,9,10,11. Найдем резервы времени работ. Наиболее ранний возможный срок начала работы  $b_k = (i, j)$  равен наиболее раннему сроку наступления события  $i$ :  $S_p(b_k) = T_p(i)$  а наиболее поздний допустимый срок окончания работы  $b_k = (i, j)$  равен наиболее позднему сроку наступления события  $j$ :  $E_n(b_k) = T_n(j)$

Полный резерв времени работ найдем по формуле

$$r_n(b_k) = T_n(i) - T_p(i) = E_n(b_k) - S_p(b_k) - t_{ij}.$$

Независимый резерв времени работ найдем по формуле  $r_n(b_k) = T_n(i) - T_p(i) - t_{ij}$ .

Сведем полученные данные в таблицу 4/

Таблица 4

Работа $b_k = (i, j)$	Продолжительность работы $t(b_k) = t_{ij}$	$S_p(b_k)$	$E_n(b_k)$	$r_n(b_k)$	$r_n(b_k)$
$b_1 = (0,1)$	1	1	2	1	0
* $b_2 = (0,2)$	3	3	3	0	-3
$b_3 = (0,3)$	1	1	3	2	1
$b_4 = (1,4)$	1	2	3	1	0
* $b_5 = (2,5)$	1	4	4	0	-1
* $b_6 = (5,6)$	2	6	6	0	-2
* $b_7 = (6,7)$	23	29	29	0	-23
* $b_8 = (7,8)$	2	31	31	0	-2
* $b_9 = (8,9)$	4	35	35	0	-4
* $b_{10} = (9,10)$	2	37	37	0	-2
$\varphi = (4,5);(3,5)$	0	4,4	4,4	1,2	0,1

Работа  $\varphi = (4,5);(3,5)$  – фиктивная работа, которая дает понять, что работы  $b_3$  и  $b_4$  должны быть выполнены непосредственно до начала работы  $b_6$ . Критические работы –  $b_2, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}$ . И так, критический путь включает операции (0,2), (2,5), (5,6), (6,7), (7,8), (8,9), (9,10) с общим временем выполнения 37 дней. Критическому пути соответствует следующая оптимальная последовательность работ: пока идет планирование площадки

бульдозером, завоз трубоукладчика и разработка траншеи, в это время начинается привоз труб, затем их сборка в звенья, укладка в траншеи, электросварка труб, их изоляция, после начинается испытание трубопровода, и только после удачного прохождения испытаний происходит засыпка траншеи песком. Подводя итоги, можно сделать вывод, что строительство одного километра трубопровода достаточно сложное и долгое дело, в котором не обойтись без метода сетевого планирования.

**Библиографический список:**

1. Экономико-математические методы и модели : учебное пособие / кол. авторов ; под ред. С. И. Макарова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : КНОРУС, 2009. – 240 с.
2. Задачи сетевого планирования : учебное пособие / М. А. Плескунов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014 – 92 с.

УДК 511.143

**Число  $e$  как показатель роста**

Политов Н.М.

Научный руководитель – Габова М. Н.

г. Ухта, Ухтинский государственный технический университет

Уже много тысячелетий числа входят в быт и жизнь людей. Человек использует их не только в математических операциях, но и в играх, например sudoku или шарады. Среди бесконечного множества действительных чисел существуют особенные константы.

В наши дни при изучении курса математики и высшей математики мы встречаем множество различных констант. Таких, как:  $\pi$  – число "Пи" или архимедова константа, которое приближенно равняется 3,14,  $\sqrt{2}$ – константа Пифагора, которая равняется 1,41,  $\sqrt{3}$ – константа Феодора, которая равна 1,73,  $e$ – константа Непера или число Эйлера, которое примерно равно 2,71. Если первые 3 из них часто встречаются в курсе математики, начиная с 8 класса, то число Эйлера появляется первый раз в 10 классе, и многие ученики даже не имеют представления, какое это полезное и уникальное число. Ведь все знают геометрический смысл числа  $\pi$ – это длина окружности с единичным диаметром. А вот каков смысл константы  $e$ ?

Давайте разберемся, что такое число  $e$ . Если мы обратимся в википедию, то энциклопедия выдаст вот такое определение числа Эйлера – основание натурального логарифма, математическая константа, иррациональное и трансцендентное число. Сейчас есть разные способы определения числа  $e$ . Например, через предел:  $e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$  –это есть второй замечательный предел. Так же число Эйлера можно определить как сумму ряда:  $e = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!}$ . Еще есть способ представить число  $a$  как единственное число, для которого выполняется  $\int_1^a \frac{dt}{t} = 1$ .

А кто же все таки открыл эту уникальную константу? Впервые число  $e$  было негласно упомянуто в приложении к переводу на английский язык работы Непера, опубликованной в 1618 году. Негласно, потому что там содержится только таблица натуральных логарифмов, сама же константа не определена. В следующий раз число  $e$  было затронуто в 1647 году бельгийским математиком Сен-Венсаном, когда он находил площадь сектора гиперболы. Но опять, это упоминание лишь косвенно, так как скорее всего Грегуар Де Сен-Венсан не понимал связи с логарифмами. Следующий шаг в открытии был сделан в 1661 Христианом Гюйгенсом. Он понял связь между равнобочной гиперболой и логарифмами и доказал, что площадь под графиком равнобочной гиперболы  $xy = 1$  на промежутке от одного до  $e$  равно 1. Это свойство делаете основанием натуральных логарифмов, но этого не понимали математики того времени. Саму же константу удалось вычислить швейцарскому математику, основателю теории вероятности и математического анализа, Якобу Бернулли. Он пытался

найти  $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$ , используя биномиальную теорему для доказательства того, что этот предел находится между 2 и 3. Саму же букву  $e$  начал использовать швейцарский математик Леонард Эйлер. Эйлер ввел так много различных математических обозначений, что неудивительно, обозначение  $e$  принадлежит тоже ему. Почему же константа обозначается именно буквой  $e$ , не известно. Вероятнее всего, первые 4 латинских буквы алфавита были заняты, поэтому Эйлер решил использовать свободную букву  $e$ .

Разобравшись с историей открытия числа Эйлера, рассмотрим выражение  $\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$ , где  $n$  – натуральное число. Будем давать  $n$  неограниченно возрастающее значение, и вычислять при этом соответствующее значение  $\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$ . Получим следующую таблицу:

$n$	1	2	10	100	1000	10000	...
$\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$	2	2,25	2,594	2,705	2,717	2,718	...

Мы видим, что с возрастанием  $n$  степень  $\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$  изменяется все медленнее и медленнее и, по-видимому, стремится к некоторому пределу, приближенно равному 2,718. Докажем, что это действительно так. Последовательность  $\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) стремится к конечному пределу, заключенному между 2 и 3:  $\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 1 + n \cdot \frac{1}{n} + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^3 + \dots + \frac{n(n-1) \dots [n-(n-1)]}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n} \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^n$  или

$$\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2 + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{n}\right) + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(1 - \frac{2}{n}\right) + \dots + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(1 - \frac{2}{n}\right) \dots \left(1 - \frac{n-1}{n}\right).$$

При  $n > 1$  все слагаемые положительные, причем с возрастанием показателя  $n$  увеличивается число слагаемых, и каждое соответствующее слагаемое становится больше. Следовательно, последовательность  $\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$  начиная с наименьшего значения, равного 2, растет вместе с показателем  $n$ . С другой стороны, каждое слагаемое в правой части формулы увеличится, если все множители знаменателей заменить на двойки, а каждую из скобок заменить единицей. Поэтому:

$$\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n < 2 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \dots + \frac{1}{2^{n-1}}.$$

В силу известной нам формулы для суммы геометрической прогрессии имеем:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \dots + \frac{1}{2^{n-1}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - \frac{1}{2^n}}{1 - \frac{1}{2}} = \frac{\frac{1}{2} - \frac{1}{2^{n+1}}}{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2^{n-1}} < 1.$$

Отсюда:

$$\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n < 3.$$

Таким образом, члены последовательности  $\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$  при неограниченном возрастании  $n$  постоянно возрастают, оставаясь больше 2, но меньше 3.

Следовательно, существует конечный предел этой последовательности, очевидно, принадлежащий отрезку  $[2;3]$ . Этот предел является иррациональным числом и обозначается буквой  $e$ :  $e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$ . Приближенное значение этого числа есть  $e = 2,7182818284$ .

В наше время число  $e$  можно вычислить довольно точно, до 18 и более знаков после запятой, при помощи калькулятора и вычислительных машин. Эйлер же при помощи рядов смог еще в то время вычислить первые 18 десятичных знаков:

$$e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \dots = 2,718281828459045235.$$

А так же Эйлер смог доказать иррациональность числа  $e$ :

$$\frac{e-1}{2} = \frac{1}{1 + \frac{1}{6 + \frac{1}{10 + \frac{1}{14 + \frac{1}{18 + \dots}}}}} \quad \text{и} \quad e = 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{4 + \frac{1}{1 + \frac{1}{6 + \dots}}}}}}$$

Относительно других констант, число  $e$  вошло в обиход математики относительно недавно, но уже широко используется в различных областях науки. Например, в физике число Эйлера используют в Барометрической формуле  $(P = P_0 e^{\frac{-Mgh}{RT}})$  при нахождении давления газа от высоты или в формуле Циолковского  $(\frac{m_0}{m} = e^{\frac{v}{v_{omn}}})$  при определении скорости, которую развивает летательный аппарат под воздействием тяги ракетного двигателя. Так же число  $e$  широко распространено в экономике при вычислении сложных процентов. В реальной же жизни используются некоторые гиперболические функции, в которых содержится число  $e$ : например, в качестве функции активации в нейронных сетях используется гиперболический тангенс; также с помощью гиперболической функции можно описать прогиб каната или слышимость звука пролетающего самолета.

Нельзя не отметить использование числа Эйлера в различных задачах по химии, физики и математики, где число  $e$  определяется как показатель роста. Рассмотрим решения некоторых задач.

*Пример 1:* Пусть некоторая химическая реакция протекает так, что в каждый момент времени  $t$  скорость образования вещества пропорциональна количеству этого вещества, имеющимся в наличии в данный момент времени.

Обозначим через  $Q_0$  начальное количество вещества (то есть количество вещества в момент времени  $t = 0$ ). Промежутки времени  $(0, t)$  разобьем на  $n$  маленьких промежутков:

$$\left(0, \frac{t}{n}\right), \left(\frac{t}{n}, \frac{2t}{n}\right), \dots, \left(\frac{(n-1)t}{n}, \frac{nt}{n}\right).$$

Если в течение каждого из этих весьма малых промежутков скорость реакции считать постоянной, то количества вещества в моменты времени

$$\frac{t}{n}, \frac{2t}{n}, \dots, \frac{nt}{n} = t$$

соответственно будут равны:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_0 + kQ_0 \cdot \frac{t}{n} = Q_0 \left(1 + \frac{kt}{n}\right), \\ Q_2 &= Q_1 + kQ_1 \cdot \frac{t}{n} = Q_1 \left(1 + \frac{kt}{n}\right) = Q_0 \left(1 + \frac{kt}{n}\right)^2, \dots, \\ Q_n &= Q_{n-1} + kQ_{n-1} \cdot \frac{t}{n} = Q_{n-1} \left(1 + \frac{kt}{n}\right) = Q_0 \left(1 + \frac{kt}{n}\right)^n, \end{aligned}$$

где  $k$  – данный коэффициент пропорциональности (закон сложных процентов). Но согласно условию задачи прирост количества вещества происходит непрерывно. Поэтому, чтобы получить точную формулу, нужно предположить, что число наших промежутков неограниченно возрастает, а каждый из них стремится к нулю.

Отсюда, считая, что  $\frac{t}{n} \rightarrow 0$ , для количества вещества  $Q$  в момент времени  $t$  будем иметь такую формулу:

$$Q = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ Q_0 \left(1 + \frac{kt}{n}\right)^n \right].$$

Этот предел легко выразить через число  $e$ . В самом деле, введя обозначение  $\frac{kt}{n} = \alpha$ , где  $\alpha \rightarrow 0$ , получаем:

$$Q = Q_0 \cdot \lim_{\alpha \rightarrow 0} \left[ (1 + \alpha)^{1/\alpha} \right]^{kt},$$

то есть

$$Q = Q_0 e^{kt}.$$

Это и есть закон, по которому происходит рост веществ в наших условиях.

*Пример 2:* Допустим, что у нас в кармане есть 1£ (один фунт). В нашем городе есть

очень щедрый банк, который готов выплачивать 100% дохода каждый год. Мы кладем наш 1£ в банк под 100% годовых. Проходит год и у нас уже есть 2£: 1£ → 2£. Получается, мы уже заработали 1£ помимо того, что у нас был. А теперь представим, что наш друг положил так же 1£ в этот банк, но уже под 50% от дохода каждые полгода. Так лучше или хуже? Давайте разберемся. Сначала у друга был 1£. Через полгода он имеет 50% от вклада, то есть 1£ → 1.50£, а через еще полгода друг уже имеет 50% от 1.50£, получается 1.50£ → 2.25£. Выходит, что у друга был более выгодный вклад, нежели у нас.

А что произойдет, если делать это чаще? Например, каждый месяц? Возьмем  $\frac{1}{12}$  от дохода. Так будет лучше или хуже? Давайте разберемся. По прошествии первого месяца, нужно 1£ умножить на  $(1 + \frac{1}{12})$ . Так мы делаем для первого месяца, затем для второго и так далее, вплоть до 12. Как можно заметить, мы делаем одно и то же действие 12 раз, следовательно, можно возвести  $(1 + \frac{1}{12})$  в 12 степень. Получается:

$$1£ \cdot \left(1 + \frac{1}{12}\right)^{12}$$

Путем несложных математических вычислений получаем 2.61£. Это действительно лучше. Тот факт, что вы чаще получаете доход, означает лучший результат.

А если банк нам будет выплачивать каждую неделю? Получается:

$$1£ \cdot \left(1 + \frac{1}{52}\right)^{52}$$

Вычислим и получим 2.69£.

Обратим внимание, что итоговая сумма всегда увеличивается, а это значит, что происходит непрерывный рост, то есть экспоненциальный рост.

*Пример 3:* Давайте представим, что у нас есть 20 килограмм радиоактивного материала, которые непрерывно распадаются с коэффициентом 100% в год. Как много у нас останется через 3 года? Исходя из условий, уже через год у нас останется ровно ничего. Но все ли так просто?

Мы начинаем с 20 килограмм и ожидаем потерять все к концу уже первого года, так как материал распадается со скоростью 20 кг/год. Наш радиоактивный материал распадается несколько месяцев, и осталось всего 10 кг материала. До полного распада осталось всего полгода? Нет! Теперь мы теряем в весе уже 10 кг/год, так что у нас еще целый год до полного распада.

Мы ждем еще несколько месяцев и доходим до 4 килограмм. Конечно же, дальнейший распад пойдет со скоростью 4 кг/год и у меня опять в запасе полный год. Спустя некоторое время мы доходим до 2 килограмм и опять в запасе есть целый год, потом мы достигаем 1 кг, еще один год.

Если проанализировать распад, то можно увидеть закономерность: с течением времени мы теряем материал, но и скорость распада постепенно уменьшается, поэтому и мой материал не может за год распасться на 100%. Этот постоянно изменяющийся темп и лежит в основе непрерывного роста и распада.

Так сколько у нас останется через три года? Для этого можно вывести формулу:

$$\begin{aligned} \text{рост} &= e^x = e^{\text{прирост} \cdot \text{время}} \\ m_0 \cdot e^x &= m_0 \cdot e^{\text{прирост} \cdot \text{время}} = m \end{aligned}$$

где  $m_0$  – изначальная масса радиоактивного материала, а  $m$  – масса спустя некоторое время.

Но в этом случае нам нужно использовать отрицательную степень числа  $e$  или дробь  $\frac{1}{e^x}$ , так как распад обычно дается в контексте "полураспада". Учитывая это, подставляем в формулу:

$$m_0 \cdot e^x = m_0 \cdot e^{\text{прирост} \cdot \text{время}} = 20 \cdot e^{-1 \cdot 3} = 20 \cdot e^{-3} = 0.996 \text{ килограмм}$$

В заключении хотелось бы еще раз отметить важность и уникальность числа Эйлера. Это непременно важная константа, которую должен знать каждый. Да и ведь некоторым из нас пригодится число  $e$ , когда в вузах введут оценку "ладно". Оценка "ладно" будет

ставиться в том случае, когда экзаменуемый все таки до тройки не дотянул, получая всегда 2, но бесконечно много раз приходил всегда на пересдачу. Оценка ладно будет равна числу  $e$ , а в ведомостях округляться до 3.

**Библиографические ссылки:**

1. Демидович, Б.П. Краткий курс высшей математики: учеб.пособие для вузов / Б.П. Демидович, В. А. Кудрявцев. –М.: АСТ: Астрель, 2008. – 654, [2] с.
2. Юшкевич, А. П. История математики в3-хтомах. Том 3. Математика 18 столетия / А. П. Юшкевич. – М., Наука, 1972. – 496 с.

УДК 519.23

**Статистический анализ летних температур воздуха  
в г. Ухта и г. Сыктывкар**

Поломкин В.А.

Научный руководитель – Волкова И. И.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Статистические методы анализа данных применяются практически во всех областях деятельности человека. Их используют всегда, когда необходимо получить и обосновать какие-либо суждения о группе (объектов или субъектов) с некоторой внутренней неоднородностью.

В данной работе статистические методы используются для анализа зависимостей летних температур воздуха. Знания этих зависимостей очень полезны для организации процесса прокладки магистральных трубопроводов. Были собраны статистические данные о летних температурах воздуха в городах Ухта и Сыктывкар за период июнь, июль, август 2018 года по данным сайта [www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru)

На рисунке 1 представлена часть данных.

Число	День					Вечер				
	Температура	Давление	Облачность	Явления	Ветер	Температура	Давление	Облачность	Явления	Ветер
1	+1	742	☀		↓ С 6м/с	+6	742	☁		↓ С 6м/с
2	+8	737	☁		↓ С 4м/с	+9	737	☀		↓ С 4м/с
3	+6	739	☀		↓ С 4м/с	+8	737	☁		↓ С 4м/с
4	+9	734	☁		↘ СЗ 3м/с	+12	731	☁		↘ СЗ 3м/с
5	+12	726	☀		↗ ЮЗ 2м/с	+9	725	☀	☐	↗ ЮЗ 2м/с
6	+3	732	☀	☐	↘ СЗ 4м/с	+2	740	☁		↘ СЗ 4м/с
7	+10	743	☀		→ З 4м/с	+10	743	☁		→ З 4м/с

Рисунок 1: Данные за июнь 2018 года в г.Ухта

В дальнейшем для анализа использовано 184 данных.

Была проведена первичная статистическая обработка данных:

- Получены средние значения  $\bar{x}$  (ночь, день, среднесуточная)
- Выборочная дисперсия  $S^2$
- Выборочные среднеквадратичные отклонения

Итоги расчетов приведены в таблице 1

Таблица 1: Выборочные числовые характеристики летних температур.

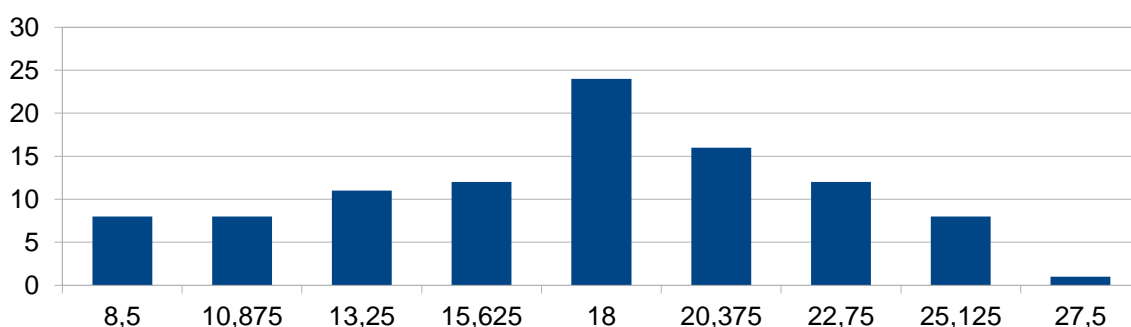
	Среднесуточная	Ночная	Дневная
--	----------------	--------	---------



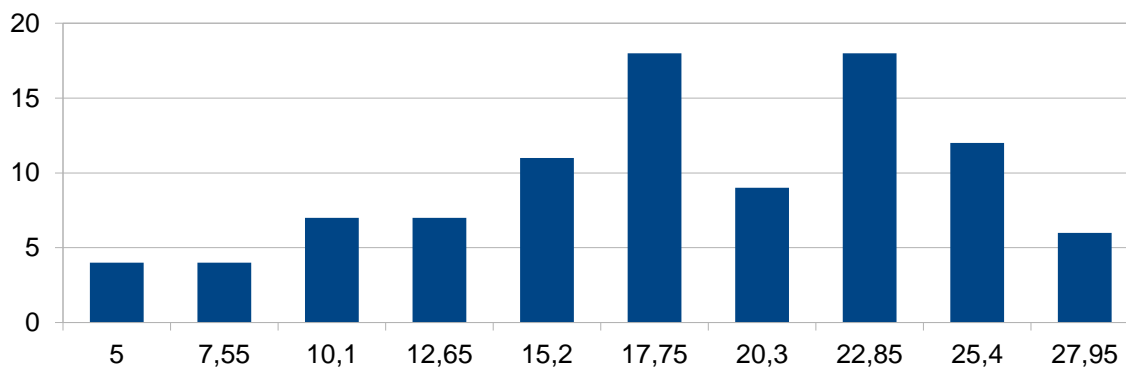
Сыктывкар	$\bar{x}= 17,07$	$\bar{x}= 14,18$	$\bar{x}= 19,04$
	$S^2= 17,1$	$S^2= 13,91$	$S^2= 22,68$
	$S= 4,14$	$S= 3,73$	$S= 4,76$
Ухта	$\bar{x}= 17,67$	$\bar{x}= 16,78$	$\bar{x}= 17,65$
	$S^2= 30,46$	$S^2= 25,87$	$S^2= 33,49$
	$S= 5,52$	$S= 5,09$	$S= 5,79$

Построены гистограммы летних температур в г. Ухта и г. Сыктывкар по всем исходным данным (дневные, ночные, среднесуточные, за июнь, июль и август 2018г)

Так, например: на рисунке 2 представлена гистограмма для летней среднесуточной температуры в г. Сыктывкар, на рисунке 3 соответственно гистограмма для летней среднесуточной температуры в г. Ухта.



**Рисунок 2: Гистограмма для среднесуточных температур в г. Сыктывкар**



**Рисунок 3: Гистограмма для среднесуточных температур в г. Ухта**

Следуя из того, как выглядят гистограммы, были выдвинуты гипотезы о нормальном законе распределения летних температур воздуха.

Вначале проверена гипотеза о параметре  $a$  нормального распределения:

Например, для Ухты:

-среднее значение температуры  $\bar{x}=17,67^\circ$

-Выборочное среднеквадратическое отклонение  $S=5,52$

Для данной работы за нулевую гипотезу мы взяли  $H_0: a= 18^\circ$ , при конкурирующей гипотезе  $H_1: a \neq 18^\circ$ .

Далее уже с известными данными мы находим расчётное значение критерия:

$$K_{расч.} = \frac{|17,67 - 18|}{5,52} * \sqrt{92} = 0,57, \text{ задаём уровень значимости } \alpha = 0,05.$$

Находим по таблице распределения Стьюдента  $K_{крит.} = t(0,05; 92 - 1) = 2.$

Получаем что  $K_{расч.} < K_{крит.}$ . Поэтому нет оснований отвергать данную гипотезу.

Гипотезу о законе нормального распределения проверяли по критерию  $\chi^2[1]$ : Для нормального распределения мы рассчитываем  $p_i$  для каждого интервала  $(x_i ; x_{i+1})$ , далее находим теоретические частоты  $m_{i,T} = N \cdot p_i$ . Все полученные расчеты приведены в таблице 2.

Таблица 2: Найденные теоретические частоты

Ухта			Сыктывкар		
$p_i$	$m_i$	$m_{i,T}$	$p_i$	$m_i$	$m_{i,T}$
0,0429	4	3,9468	0,046	8	4,232
0,0525	7	4,83	0,1106	11	10,1752
0,0933	7	8,5836	0,2133	12	19,6236
0,1361	11	12,5212	0,2318	24	21,3256
0,1612	18	14,8304	0,2008	16	18,4736
0,164	9	15,088	0,1256	12	11,5552
0,143	18	13,156	0,0532	8	4,8944
0,0997	12	9,1724	0,0173	1	1,5916
0,1093	6	10,0556			

Далее подсчитывается величина  $\chi^2_{расч}$  по формуле:  $\chi^2_{расч} = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - m_{i,T})^2}{m_{i,T}}$

Так, в нашем случае для г. Ухта получаем  $\chi^2_{расч} = 8,3028.$

По таблице  $\chi^2$  - распределения находим критическое значение критерия  $\chi^2_{крит} = \chi^2(0,05; 6)$  и оно равняется 12,6.

Получаем, что  $\chi^2_{крит} > \chi^2_{расч}$ , поэтому при  $\alpha = 0.05$  нет основания отвергать гипотезу о нормальном распределении. В дальнейшем будем использовать именно нормальное распределение.

Далее мы проверили, насколько значимо различие температур воздуха в Ухте и Сыктывкаре.

Используя критерий Фишера [2], мы получили, что дисперсии рассматриваемых совокупностей не равны. Поэтому для проверки гипотез о равенстве средних мы использовали вторую модификацию критерия Стьюдента. Рассчитали  $t_{расч} = 0,8344$ . По таблице критерия Стьюдента нашли значение  $t_{крит} = t(0,05; 182) = 1,98$ .

Получаем, что  $t_{расч} < t_{крит}$ , следовательно, нет оснований отвергать данную гипотезу.

Вывод: различие летних температур в городах Ухта и Сыктывкар статистически не значимо.

В дальнейшем эти статистические методы мы собираемся использовать при анализе зависимостей в конкретных задачах при прокладке МГ.

**Библиографический список:**

1. Вероятностные методы исследования зависимостей в нефтяной и газовой промышленности. И.И. Волкова, Е.В. Пластинина, О.М. Прудникова,

Е.В. Хабаева.- Ухта: УГТУ, 2014 – 135с.:ил.

2. Математические методы анализа информации [Текст]: учебно-методическое пособие для магистрантов направления НГД – «Нефтегазовое дело» / И. И. Волкова, Хозяинова М. С. – Ухта: УГТУ, 2017. – 55 с.

3. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов/В.Е. Гмурман. -11-е изд., стер.-479с.:ил.

УДК 550.382.8:572.02

**Исследование влияния естественных магнитных полей на жизнедеятельность человека в зонах геофизических аномалий**

Разуваев И.И.

Научный руководитель – Демченко Н.П.

*Ухтинский государственный технический университет*

Современные медицинские сведения об обширном влиянии естественных магнитных полей земли на человеческий организм, к сожалению, не могут стать достаточно прочным фундаментом для изучения позитивного и негативного влияния этих полей. Механизм прямого воздействия естественного магнитного поля, возбуждаемого солнечной активностью, остается невыясненным. Большинство попыток экспериментально объяснить данный феномен сводятся в итоге к воздействию различных физических и электромагнитных полей и варьированию геомагнитного фона под воздействием Солнца.

Между тем, степень воздействия естественных магнитных полей в зонах геофизических аномалий и геологически активных зонах исследована недостаточно. К настоящему времени сформирована большая исследовательская база данных о влиянии возмущенного магнитного поля на динамику заболеваний и смертности среди жителей нашей планеты. Возбуждённое геомагнитное поле способно влиять на больных, страдающих острыми или хроническими поражениями миокарда – ишемической болезнью сердца. При повышении магнитной активности увеличивается продолжительность свертываемости крови и изменяется количество форменные элементы крови. В 1966 году ученые указывали на наличие тесной корреляционной связи между суточными показателями числа тромбоцитов крови, толерантности жидкой части крови к гепарину и солнечной активностью. Как одно из самых значимых изменений в системе флуктуации, связанных с изменениями геомагнитной активности, выделяется также повышение агрегационной способности тромбоцитов во время магнитной бури. Кроме того, достаточно объективным являются данные о регистрации случаев суицида, несчастных случаев и насильственной смерти в период геомагнитной активности. Известно возрастание таких случаев в определенные периоды, связанные с изменением психического состояния населения. Однако линейная связь динамики насильственной смерти, производственного травматизма и неотложных тяжёлых состояний, вызванных чрезмерным повышением артериального давления с геомагнитной и солнечной активностью пока не имеет прямого подтверждения. Корреляционные связи между этими явлениями неустойчивы и периодически изменяют знак, что свидетельствует о наличии усложненных нелинейных взаимоотношений.

Целью данной работы является оценка влияния естественных магнитных полей на травматизм населения, а также влияния геомагнитных возмущений на частоту суицида населения, проживающего или находящегося длительное время в зонах геомагнитных аномалий.

Последнее время крайне активно обсуждается существование геопатогенных зон, к которым относят активные разломы земного покрова и обусловленные ими зоны повышенной проницаемости —подземные карстовые образования и геологические тела, отличающиеся по составу от вмещающих горных пород. По данным исследований, длительное пребывание над подобными зонами может нести серьезную угрозу безопасности жизнедеятельности и здоровью человека. Аномально высокий уровень влияния

геомагнетизма на число самоубийств был выявлены в исследованиях на части территории Калининского и Василеостровского районов города Санкт-Петербург, расположенных над геологически активной зоной, структура которой является наиболее изученной. Частота суицидов, на которую влияют возмущения магнитного поля, может значительно понижаться вследствие гравитационных всплесков и роста внешнего воздействия на магнитное поле Земли. Представленные факторы, скорее всего, имеют некоторое воздействие на центральную нервную систему человека. Однако, над геологически активными зонами данное воздействие некоторым образом блокируется, и изменения в частоте суицидов не наблюдается. Кроме геологически активных зон, аномально высокий уровень геомагнетизма наблюдается в зоне полярной шапки. Вертикальная составляющая геомагнитного поля в этой зоне заметно выше и регистрируются значительно более интенсивные, чем в средних широтах, геомагнитные возмущения в диапазоне ультранизких частот. На территории Европейской части России находится также Курская магнитная аномалия. В некоторых ее районах геомагнитное поле превосходит по значению фоновый уровень в несколько раз (Белгородская область). Переменная составляющая геомагнитного поля, в этой зоне не имеет каких-либо отличий. Однако из-за неоднородности уровня магнитных полей на местности в процессе передвижения даже в пределах одного населенного пункта контингенты населения подвергаются воздействию постоянного перепада уровня геомагнитного поля в дневное время суток.

Ранее проведенные исследования в 2005 году по данным с 1998 по 2003 годов. На подробную карту Санкт-Петербурга были нанесены известные геотектонические нарушения. На рассматриваемых территориях 234 дома отнесли к группе «А» (принятые как находящиеся вне зоны активности) и 212 домов – к группе «Б», которые находятся непосредственно над зоной активности или в определенной близости к ней. В домах группы «А» в период с 1998 по 2003 гг. было отмечено 128 завершённых суицидов, в то время как в домах группы «Б» отмечено 140 самоубийств, из чего следует, что число суицидов над зоной геологической активности, в частности с прослеживаемой тенденцией изменения геомагнитного фона самой зоны, превышает таковой уровень вне зоны.

Следующим этапом изысканий была оценка влияния лунных ритмов на динамическое количество суицидов у обеих групп. Была рассмотрена и структурирована частота суицидов групп с учетом фаз лунного цикла. Все случаи суицидов были соотнесены с пятидневным промежутком времени между последовательными построениями Луны с Солнцем. Уровень завершённых суицидов в группе «А» был отмечен как наиболее высокий во время минимальных изменений геомагнитного фона и достоверно понижался в новолуние и полнолуние, когда Солнце и Луна были расположены на общей с Землей оси. В это время возмещения достигали своего пика. При этом выявленная закономерность практически не определялось во второй группе. Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о подтверждении гипотезы о том, что частота суицидов, на которую влияют возмущения магнитного поля, может значительно снижаться вследствие гравитационных возмущений, но имеет место быть некоторая «блокировка» данного эффекта над геологически активными зонами.

Затем, в 2017 году были опубликованы результаты исследований особенности влияния геомагнитной активности на безопасность жизнедеятельности в данных зонах, в частности особенности влияния на динамическое количество завершённых самоубийств. Динамику суицидов в составленных ранее группах сопоставили со значениями К-индекса геомагнитного поля с использованием корреляционного анализа. Результаты представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1. Корреляционная зависимость динамики суицидов от 3-х часовых значений геомагнитной активности (с учетом данных 1998-2015 гг.)

Время регистрации К-индекса, ч	Группа «А»		Группа «Б»	
	Коэффициент корреляции r	Вероятность ошибки P	Коэффициент корреляции r	Вероятность ошибки P
0-3	-0,0068	0,7871	0,0361	0,1296
3-6	-0,0206	0,7017	0,0917	0,0404
6-9	-0,0332	0,5486	0,0846	0,0678
9-12	-0,1131	0,0513	0,0608	0,1989
12-15	0,0052	0,9275	0,0613	0,1928
15-18	-0,0387	0,5003	-0,0022	0,9613
18-21	-0,0608	0,2563	0,0069	0,8759
21-24	-0,0493	0,3624	0,0481	0,2713
Суточное значение К-индекса	-0,0787	0,1635	0,1126	0,0174

Таблица 2. Частота значений К-индекса геомагнитного поля в день совершения суицида

Исследуемые группы суицидов	К-индекс геомагнитного полз			
	0-1	2	3	4 и более
В домах группы «А» (вне зоны разломов) Количество суицидов (по данным Росстата за период с 1999 по 2014 гг.) n=149	18,3	41,2	20,3	18,3
В домах группы «Б» (над зоной разломов) Количество суицидов (по данным Росстата за период с 1999 по 2014 гг.) n=153	20,0	51,5	20,8	9,6
P	<0.05			
Всего суицидов по дням с 1999 по 2014 гг. n=172	18,2	45,9	24,0	12,9

Данные, полученные в результате использования метода корреляционного анализа, позволяют отметить наличие реверсивного влияния геомагнитных возмущений на число суицидов у населения, проживающего над зонами активности и вне их.

Небольшие, но достаточно достоверные значения коэффициента были отмечены в группе «Б» между динамикой суицидов и дневными показателями значения К-индекса геомагнитного поля, а также между представленной динамикой и геомагнитной активностью в предрассветные часы.

Чувствительность населения к геомагнитным возмущениям менее выражена в крупных городах, что проявляется в более тесной зависимости динамики производственного травматизма и суицидов от последних. В частности, в Ленинградской и Калининградской областях, в сравнении с Санкт-Петербургом, на чувствительность жителей к геомагнитным возмущениям ( $r = -0,468$ ,  $P < 0,05$ ).

Отмечается, что в 2018 году число самоубийств сократилось, но возросло число насильственных убийств и производственных происшествий. Среди причин смерти по-прежнему выделяют болезни сердечно-сосудистой системы, аварии и сведение счетов с жизнью. По данным Росстата 2017 года в Петербурге скончались 60591 человек, что почти на 1000 меньше, чем в 2016 году. От болезней сердца и заболеваний кровообращения скончались 34620 человек, от онкологических заболеваний – 13560 человек, в результате самоубийств умерло 388 петербуржцев.

Положительные изменения в динамике суицидов относительно значения коэффициента корреляции (а именно общее уменьшения числа завершенных суицидов по годам, включая 2018 год) связывают с активно возросшим электромагнитным загрязнением окружающей среды, в том числе в повышенным использованием сотовой связью.

Рассмотрим так же влияние геомагнитной активности на жителей Мурманской и Белгородской областей, к особенностям которой следует отнести:

- ревальвированную чувствительность на влияние суточного возрастания геомагнитной активности на жителей Кольского Севера. Влияние проявляется в достоверной корреляционной связи ( $P < 0,05$ ) динамики смертей, в частности убийств, в регионе с суточными значениями К-индекса геомагнитной активности.

- при снижении геомагнитной активности в период 12-18 часов число убийств в Мурманской области не менялось, а в Ленинградской области - возрастало на 15%. При этом до данным Госавтоинспекции по г. Санкт-Петербургу, наблюдается обратная зависимость между дорожно-транспортными происшествиями и колебаниями геомагнитной активности в данное время.

- в зоне Курской магнитной аномалии наблюдается парадоксальная реакция на суточные снижения кратковременных пульсаций геомагнитной активности: в периоды падения активности в регионе число травм на производстве снижалось, при этом практически не изменялась в периоды возрастания.

- в геологически активных зонах Кольского Севера, также, как и в Белгородской Ленинградской областях, замечена закономерность экранирования влияния высокой геомагнитной активности, низкого радиоизлучения Солнца 2,8 ГГц и возмущений гравитационной природы на динамику суицидов. Если вне геологически активных зон 50% суицидов происходили на фоне низкого радиоизлучения Солнца и 8,6% на фоне высоких К-индексов, то непосредственно в зонах - в 16,7% и 16,4% случаев соответственно ( $P < 0,05$ ).

- отсутствие реакции на кратковременные снижения геомагнитной активности в дневное время. Аналогичная закономерность обнаруживалась у работников городского электротранспорта Санкт-Петербурга, которые, как и жители Кольского севера подвергаются воздействию магнитных полей ультранизких частот: кратковременные колебания геомагнитной активности практически не оказывали влияния на динамику производственного травматизма.

Влияние факторов Курской магнитной аномалии на организм человека при вариациях солнечной и геомагнитной активности характеризуется отсутствием реакции на короткопериодные изменения геомагнитной активности (3-24 часа) и парадоксальной реакцией на суточные изменения геомагнитного поля.

Из всего вышеперечисленного можно сказать, что на чувствительность человека к вариациям естественного геомагнитного поля активно влияют определенные части спектра излучения Солнца на фоне высоких К-индексов, весьма близкие к частотам работы сотовой связи (1,8 ГГц), которые имеют свойство блокироваться в зонах геомагнитной активности и зонах геофизических аномалий. Геомагнитная активность может способствовать возрастанию случаев суицида, насильственных смертей, бытового и производственного травматизма в определенные периоды, связанные с психическим состоянием населения. Так же нарастающее электромагнитное загрязнение окружающей среды оказывает экранирующее влияние на последствия геомагнитных аномалий для человека и его психики. Однако необходимо провести расширенный комплекс исследований влияния техногенного измененного геомагнитного поля на безопасность жизнедеятельности с целью выявления всех возможных негативных эффектов.

#### ***Библиографический список:***

1. Серпов В.Ю., Безопасность жизнедеятельности человека в зонах геофизических аномалий Европейской России – СПб., Медицинская пресса, 2005 – 128 с.

2. Ермолаев Ю. И., М. Ю. Ермолаев, Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: аспекты космической погоды, Геофизические процессы и биосфера, 2009, Т. 8, № 1, с. 5–35

3. Авдонина Е.Н. Некоторые гелиогеофизические характеристики серий особо опасных преступлений/ Е.Н. Авдонина, Е.Г. Самовичев //Биофизика.- 1995.- Т. 40.- № 5.- С. 1060-1063.

4. Виллорези Дж. Влияние межпланетных и геомагнитных возмущений на возрастание числа клинически тяжелых медицинских патологий (инфарктов миокарда и инсультов) / Дж. Виллорези, Т.К. Бреус, Л.И. Дорман //Биофизика.- 1995.- Т. 40.- № 5.- С. 983-993.

5. Бреус Т.К. Воздействие геомагнитной активности на организм человека, находящего в экстремальных условиях/ Т.К. Бреус, Р.М. Баевский, Г.А. Никулина //Биофизика.- 1998.- Т. 43.- № 5 С. 811-818.

УДК 519.233

**Соотношения между суммарными, средними и предельными величинами в экономике**

Ракетская И. Ю., Смирнова Я. А.

Научный руководитель – Прудникова О. М.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

Математические модели и методы в настоящее время являются необходимым элементом для современной экономической теории, как на микро-, так и на макроуровне. Использование математики в экономике позволяет:

1) находить и описывать связи между переменными и экономическими показателями;

2) оценивать форму и параметры зависимостей переменных, которые в большей степени соответствуют имеющимся наблюдениям;

3) излагать положения экономической теории, используя язык математических формул и символов, в точной и компактной форме формулировать основные понятия, делать выводы.

Грамотное применение математического аппарата позволит экономисту и менеджеру при планировании и ведении бизнеса четко описывать и анализировать связи между экономическими показателями. Благодаря этому в деятельности предприятия уменьшится уровень риска, повысится эффективность инвестиций за счет результативной организации производства.

Реализация прикладной направленности преподавания различных разделов математики в вузе для экономических направлений определяется конкретными целями и формами использования соответствующих математических понятий и математического аппарата при решении задач, относящихся к сфере деятельности будущих специалистов.

В данной статье предполагается не только рассмотреть понятия суммарных, средних и предельных величин экономического анализа, но и показать на наглядных примерах как устанавливаются соотношения между ними посредством элементов математического анализа.

Многообразие экономических показателей представляется *абсолютными и относительными* значениями. *Абсолютные* показатели выражаются в количественных, объёмных или денежных единицах и подразделяются на *потоковые*, представленные величинами за определённый период времени, и *запасовые*, то есть рассчитанными на определённую дату или момент времени. Примером абсолютных показателей может являться общий объём прибыли предприятия. *Относительные* показатели представляют собой отношение количества единиц одного показателя на одну единицу другого. Это могут быть не только отношения одного и того же показателя в разные моменты времени, но и

разных показателей в один и тот же промежуток времени. Примером относительных показателей может рассматриваться доход на душу населения. Для комплексного анализа экономической ситуации важны как абсолютные, так и относительные показатели. Но вот, например, при решении задачи максимизации прибыли фирма использует такие типы относительных показателей, как *средние*, представленные величинами показателя прибыли, издержек, выручки в расчёте на единицу выпуска продукции, или *предельные*, оценивающие прирост соответствующего показателя в расчёте на единицу прироста выпуска.

Пример. Пусть средняя выручка превышает средние издержки, тогда руководитель предприятия получает прибыль и производить продукцию ему выгодно. Если же при этом предельная выручка превышает предельные издержки, то ему выгодно расширять производство, увеличивать объём прибыли. Если же средние издержки превышают среднюю выручку, то приходим к убытку предприятия, а если предельные издержки превышают предельную выручку, то объём производства нужно сокращать.

Далее будут подробно рассмотрены проблемы анализа и особенности управленческого учета субъектов рынка с расчетом всех указанных показателей. Приведем формальные определения суммарных, средних и предельных величин.

Суммарная величина  $F(x)$  — любая функция независимой переменной  $F(x)$ . Как правило, в экономике под суммарными величинами понимают абсолютные величины, в роли которых выступают следующие: доход (выручка)  $R(Q)$  или издержки  $C(Q)$  как функции объема выпуска  $Q$ , объем выпуска как функция от количества переменного ресурса, например, труда  $Q(L)$ , полезность как функция количества потребляемого блага  $U(x)$  и др. (любая из перечисленных функций может быть задана формулой, таблицей или графиком).

Средняя величина  $AF(x)$  определяется как отношение суммарной величины  $F(x)$  к независимой переменной  $x$ , т. е.

$$AF(x) = F(x) / x,$$

где буква  $A$  — сокращение английского Average (средняя).

Средняя величина обозначается так же, как  $F$ . Пример средних величин в экономике — это среднедушевой объем потребления, средняя фондоотдача, средняя выручка (доход)  $AR = R(Q)/Q$ , средние издержки  $AC = C(Q)/Q$ , средний продукт труда  $AQ_L = Q(L)/L$  и др. (средняя величина как функция независимой переменной также может задаваться в виде формулы или графика, рис. 4.3. а).

Маржинальная, или предельная, величина  $MF(x)$  определяется как производная суммарной величины  $F(x)$  по независимой переменной  $x$ , т. е.

$MF(x) = F'(x)$ , если  $x$  — непрерывная величина;  $MF(x) = \Delta F / \Delta x$ , если  $x$  — величина дискретная.

На рисунке показаны соотношения между суммарными (а), средними (б) и предельными величинами в экономике.

Примерами предельных величин в экономике могут быть названы перечисленные выше показатели, применимые к средним величинам.

Найти маржинальную величину по суммарной величине (для непрерывного случая) можно на базе формулы:

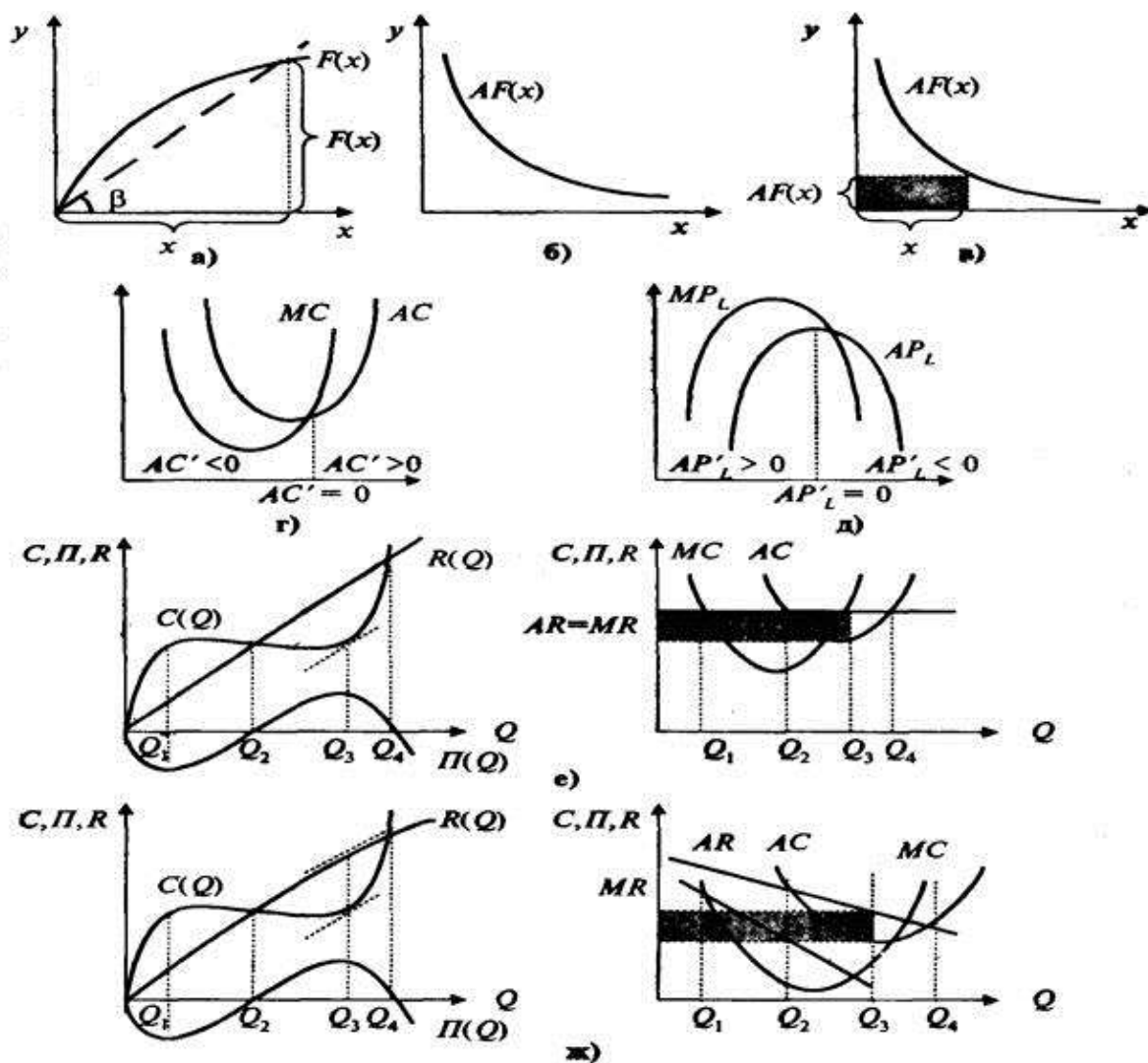
$$MF(x) = F'(x).$$

Если, например,  $F(x) = ax - bx^4$ , то  $MF(x) = a - 4bx^3$ .

Если, например,  $F(x) = ax - bx^4$ , то  $MF(x) = a - 4bx^3$ .

Если суммарная величина задается выпуклой кривой  $F(x)$  в виде графика, то необходимо через точку  $A$  графика суммарной величины, имеющую координаты  $[x, F(x)]$ , провести касательную к графику. Тангенс угла наклона касательной к графику суммарной величины численно равняется производной суммарной величины, и следовательно, является предельной величиной  $MF(x) = F'(x) = \text{tga}$  (рис.б).





Если предельная величина задана графиком, то площадь под графиком функции предельной величины в диапазоне изменения независимой переменной от нуля до  $x$  равняется суммарной величине минус постоянная  $C$  (рис.в).

В – нахождение суммарной величины по средней; г(д) – соотношение между графиками средних и предельных издержек  $AC$  и  $MC$  (продуктов труда  $AP$  и  $MP$ ); е(ж) - соотношения между предельными, средними и суммарными величинами для рыночной структуры конкуренции (монополии),  $R$  - доход;  $C$  - издержки;  $\Pi$  - прибыль;  $Q$  - объем выпуска.

Соотношения между средними  $AF$ , суммарными  $F$  и маргинальными (предельными)  $MF$  величинами независимой непрерывной переменной  $x$  находятся легко: например, если задана средняя величина  $AF(x)$ , то суммарная величина  $F(x) = xAF(x)$ , а предельная величина  $MF(x) = F'(x) = (xAF(x))' = AF(x) + xAF'(x)$ .

Аналогичным образом можно выразить среднюю величину через суммарную величину  $y$ :  $AF(x) = y/x$ . Примеры соотношения между графиками средних  $AC$  и предельных  $MC$  издержек среднего  $AP_L$  и предельного  $MP_L$  продуктов труда приведены на рис.г, д.

Если же независимая переменная  $x$  может принимать только дискретные значения (например, количество выпуска штучной продукции, количество рабочих и т.п.), то все полученные выше соотношения сохраняют свой вид при следующих условиях:

а) производная функция  $F'(x)$  заменяется соотношением  $\Delta F/\Delta x$ ;

б) интеграл  $\int MF(x)dx$  заменяется на конечную сумму  $\sum MF(x)$  ;

в) касательная к графику функции  $F(x)$  заменяется прямой линией, проходящую через две точки с координатами  $(x, F(x))$  и  $(x + \Delta x, F(x + \Delta x))$ .

Соотношение между средними и предельными величинами в дискретном случае имеет простую интерпретацию: если ученик — «ударник» получает только «хорошо», то его средняя оценка также «хорошо». Каждая последующая оценка может интерпретироваться как предельная оценка, при этом если он получает только «отлично», то его средняя оценка постепенно повышается, а если — лишь «удовлетворительно», то предельная оценка станет ниже средней и его средняя оценка понизится.

Анализ показателей и их соотношений как предельных, средних и суммарных величин, характеризующих работу субъекта рынка. Если в качестве примера соотношений между предельными, средними и суммарными величинами рассмотреть показатели, характеризующие работу одного и того же субъекта рынка, работающего по законам:

а) совершенно конкурентной фирмы,

б) фирмы-монополиста, то можно констатировать следующее (для понимания рассуждений введем ряд обозначений показателей:

$Q$  — объем выпуска продукции;  $p$  — цена;  $R = p(Q) \cdot Q$  — доход (выручка);  $C$  — издержки;  $\Pi = R - C$  — прибыль,  $q$  — величина спроса).

1. Если субъект рынка выступает как совершенно конкурентная фирма, то цена на ее продукцию постоянна и не зависит от объема производства данной фирмы, определяясь рынком, т. е.  $p(Q) = p$ , и, следовательно,  $R(q) = pQ$ . Доход является линейной функцией объема выпуска. Для типичной функции издержек, растущих быстрее, чем доход при малых объемах выпуска, графики дохода  $R(q)$ , издержек  $C(Q)$  и прибыли  $\Pi(Q)$  имеют вид (рис. 4.3, е). По ним можно построить графики средних и предельных величин. Так как  $MR = (pQ)' = p = pQ/Q = AR$ , то графики среднего и предельного доходов имеют вид прямой, параллельной оси  $Q$ .

График средних издержек совпадает с графиком среднего дохода при объемах выпуска  $Q_2$  и  $Q_4$  (так как в этих точках значения функций  $C(Q)$  и  $R(Q)$  совпадают), лежит выше его при  $Q < Q_2$  и

$Q > Q_4$  (из  $C(Q) > R(Q)$  —  $+AC(Q) = C(Q) / Q > R(Q) / Q = MC(Q)$ )

и лежит ниже его при  $Q_2 < Q < Q_4$ . В точке, лежащей чуть ниже  $Q_3$ , средние издержки минимальны. Эту точку можно найти, проведя из начала координат прямую, касающуюся графика  $C(Q)$ .

График предельных издержек можно построить, анализируя изменение наклона касательной к графику  $C(Q)$ . В точках  $Q_1$  и  $Q_3$  касательная к графику  $C(Q)$  параллельна графику дохода  $R(Q)$ . Следовательно, в этих точках предельные издержки совпадают с предельным доходом, и имеет место минимум прибыли (максимум убытков) в точке  $Q_1$  и максимум прибыли в точке  $Q_3$  ( $\Pi' = R' - C' = MK - MC = 0$ ), так как прибыль положительна при объеме выпуска  $Q_2 < Q < Q_4$  и отрицательна при  $Q < Q_2$  и  $Q > Q_4$ . Величину прибыли при оптимальном объеме выпуска  $Q_3$  можно найти как площадь заштрихованного прямоугольника по графикам средних издержек и среднего дохода (вершины этого прямоугольника находятся в точках с координатами:  $A(Q_3, p)$ ;  $B(0, AC(Q_3))$ ;  $C(0, AC(Q_3))$ ;  $D(0, P)$ ).

2. Если субъект рынка выступает как монополия фирма, то она сама выбирает цену исходя из кривой спроса  $p(Q)$  на ее продукцию. Так как  $p(Q)$  — убывающая функция, то  $p'(Q) < 0$ . При той же функции издержек, что и в первом случае, графики суммарных, средних и предельных показателей приведены на рис. 1.3, ж, при этом графики суммарных, средних и предельных издержек имеют аналогичный первому случаю вид.

График среднего дохода  $AR = p(Q) \cdot Q/Q = p(Q)$  совпадает с графиком функции спроса и пересекает график средних издержек в точках  $Q_2$  и  $Q_4$ , где  $R(Q) = C(Q)$ . График предельного дохода лежит ниже графика среднего дохода при любых объемах выпуска, так

как  $MR = R'(Q) = p(Q) + Qp'(Q) = AR + Qp'(Q) < AR$  и  $p'(Q) < 0$  и пересекает график предельных издержек в точках  $Q_1$  и  $Q_3$ , в которых касательные к графикам дохода и издержек имеют одинаковый наклон. При этих объемах выпуска прибыль, как и в первом случае, принимает минимальное и максимальное значения соответственно. Это обусловлено тем, что необходимое условие максимума прибыли записывается аналогично как  $\Pi' = R' - C' = MR - MC = 0$ , и в оптимальной точке предельный доход обязательно равен предельным издержкам. Аналогично первому случаю прибыль на графиках средних и предельных величин можно определить как площадь заштрихованного прямоугольника, построенного между графиками среднего дохода и средних издержек, при этом вершины прямоугольника находятся в точках:  $A(0, AR(Q_3))$ ;  $B(0, AC(Q_3))$ ;  $C(0, AC(Q_3))$ ;  $D(0, AR(Q_3))$ .

Таким образом, при определении оптимального объема производства фирмы, если известны ее функции суммарного дохода и издержек  $R(Q)$  и  $C(Q)$  (предполагается, что эти функции дифференцируемы), средние и предельные показатели могут быть использованы следующим образом:

а) вначале находятся точки, в которых величина предельного дохода равна величине предельных издержек, т. е.  $MR(Q) = MC(Q)$ ; если таких точек нет, то фирме либо невыгодно производить вообще продукцию (при  $R(Q) < C(Q)$ ), либо выгодно сколько угодно наращивать объем производства (при  $R(Q) > C(Q)$ );

б) в найденных точках может достигаться максимум прибыли, максимум убытка, минимум прибыли, минимум убытка, либо ничего из перечисленного; поэтому далее среди этих точек находятся те, в которых функция прибыли  $\Pi(Q) = R(Q) - C(Q)$  достигает максимума (ее производная меняет знак с плюса на минус). Эти точки являются точками максимума прибыли или минимума убытка;

в) необходимо выбрать точки (точку), где величина прибыли положительна; признаком этого может быть превышение среднего дохода над средними издержками:  $AR(Q) > MR(Q)$ . Если такая точка найдена, то она является точкой (локального) максимума прибыли фирмы.

Рассмотрим особенности моделей полезности и производственных функций и их применения в экономических задачах.

По проделанной работе можно сделать вывод, что все математические модели и методы в настоящее время являются необходимым элементом для экономической теории и практики.

#### ***Библиографический список:***

1. Математические методы анализа информации [Текст]: учебно-методическое пособие для магистрантов направления НГД – «Нефтегазовое дело» / И. И. Волкова, Хозяинова М. С. – Ухта: УГТУ, 2017. – 55 с.

2. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов/В.Е. Гмурман. -11-е изд., стер. - 479с

УДК 519.723

#### **Энтропия в задачах, связанных с профессиональной деятельностью**

Рябева А. Н.

Научный руководитель – Мотрюк Е. Н.

*Ухтинский государственный технический университет г. Ухта*

В федеральный государственных образовательных стандартах высшего образования направления 09.03.01 Информатика и вычислительная техника и 09.03.02 Информационные системы и технологии есть компетенция ОПК-2, которую нужно развить на занятиях по высшей математике. По данной компетенции необходимо развить способность: использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; применять методы математического анализа и моделирования, теоретического

и экспериментального исследования. Для этого на практических занятиях по высшей математике преподаватель должен разбирать решение не только обычных задач, но и задач, связанных с профессиональной деятельностью. Это позволит понять студентам, как можно в дальнейшем использовать полученные знания. Поэтому для студентов этих направлений можно, на примере энтропии и информации, показать, как работает аппарат теории вероятности в задачах, связанных с их профессиональной деятельностью.

Для этого сначала разберемся, что это такое энтропия и информация и как они связаны. Понятие энтропии есть в различных областях науки, таких как термодинамика, социология и в теории информации, поэтому точного и единственного определения у этого понятия нет. Наиболее общим же является следующее: **энтропия** – мера неопределенности, мера хаоса. **Информация** – это любая совокупность сигналов, которые воспринимаются как входная информация, если пришли из какого-либо источника, исходная информация, если наоборот или внутренняя информация, если сохраняются внутри какой-либо среды.

В теории информации определяют **информационную энтропию** – мера неопределенности или непредсказуемости информации. Энтропия, где есть неопределенность появления какого-либо символа алфавита, численно равна количеству информации, приходящейся на символ передаваемого сообщения.

Клод Шеннон предложил использовать величину  $H(A)$ , которую назвал энтропией:

$$H(A) = H(p_1, p_2, \dots, p_n) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \frac{1}{p_i}, \text{ где } A - \text{ это конечное множество}$$

$A_1, A_2, \dots, A_n$  различных состояний случайного объекта с соответствующими вероятностями  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . Данная величина определяет количество информации. **Единицей измерения количества информации** является бит. 1 бит – это символ, у которого два равновероятных значения.

Если все события имеют равные вероятности  $p_1 = p_2 = \dots = p_n$ , то количество информации задается формулой, которую предложил американский инженер Ральф Хартли:

$$H(A) = -\log_2 p = \log_2 \frac{1}{p}.$$

**Условной энтропией** дискретной величины  $Y$  при наблюдении дискретной величины  $X$ , как и при условной вероятности можно определить следующим образом:

$$H_X(Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i y_j) \log_2 \frac{1}{p_{x_i}(y_j)},$$

где  $p(x_i y_j) = p(x_i) p_{x_i}(y_j) = p(y_j) p_{y_j}(x_i)$  - теорема умножения вероятностей,

$$p(x_i) = \sum_{j=1}^m p(x_i y_j) \text{ или } p(y_j) = \sum_{i=1}^n p(x_i y_j) - \text{ формула полной вероятности,}$$

$$p_{x_i}(y_j) = \frac{p(y_j) p_{y_j}(x_i)}{p(x_i)} - \text{ формула Байеса.}$$

$$\text{Тогда величина } H(X, Y) = H(X) + H(Y), \quad H(X, Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i y_j) \log_2 \frac{1}{p(x_i y_j)}, \text{ где } X \text{ и } Y$$

- это различная информация из информационных систем, которая нужна потребителю.

В общем случае информация различна. Если  $X$  и  $Y$  - сообщения, опубликованные различными источниками, то для получения большей суммарной (совместной) информации, минимальной должна быть взаимная (одинаковая в этом случае) информация. Если  $X$  и  $Y$  - сообщения на входе и на выходе канала связи с помехами, то для получения большей информации получателем, необходимо, чтобы взаимная информация была наибольшей.

Тогда условная энтропия  $H_Y(X)$  - это потери информации в канале связи. **Условная энтропия**  $H_X(Y)$  - это информация о помехах, поступающая в канал связи или создаваемая внутренними помехами в канале.

**Взаимная информация** величин  $X$  и  $Y$  (рис.1) на рисунке она показана серого цвета и обозначена  $I(X,Y)$ . С помощью взаимной информации можно найти среднее количество информации содержащейся в сообщении  $X$  относительно сообщения  $Y$  или, наоборот, в сообщении  $Y$  относительно сообщения  $X$ .

$$I(X,Y) = H(X) - H_Y(X),$$

$$I(Y,X) = H(Y) - H_X(Y).$$

Если  $X$  и  $Y$  независимы, то  $I(X,Y) = 0$ . Если  $X$  и  $Y$  полностью зависимы (содержат одну и ту же информацию), то  $I(X,Y) = H(X) = H(Y)$ . Тогда  $I(X,Y) = H(X) + H(Y) - H(X,Y)$ .

Так же взаимную информацию можно найти следующим образом:

$$I(X,Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i y_j) \log_2 \frac{p(x_i y_j)}{p(x_i) p(y_j)},$$

причем  $0 \leq I(X,Y) \leq H(X)$  и  $0 \leq I(X,Y) \leq H(Y)$ .

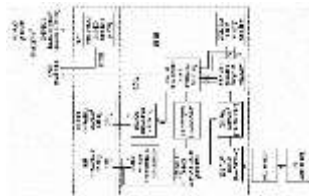


Рисунок 1 – Взаимная информация  $I(X,Y)$

Рассмотрим пример.

Канал связи описан следующей канальной матрицей  $P_X(Y) = \begin{pmatrix} 0,98 & 0,1 & 0,2 \\ 0,01 & 0,75 & 0,3 \\ 0,01 & 0,15 & 0,5 \end{pmatrix}$ .

Найти: 1) среднее количество информации, которое переносится одним символом сообщения, если вероятности появления символов источника сообщений равны  $p(x_1) = 0,7$ ,  $p(x_2) = 0,2$ ,  $p(x_3) = 0,1$ . 2) информационные потери при передаче сообщения из 1000 символов алфавита  $x_1, x_2, x_3$ . 3) количество принятой информации.

Решение: В матрице первый столбик это первый символ источника сообщений, второй столбик это второй символ и третий столбик это третий символ, тогда:

1) Среднее количество информации определяется по формуле Шеннона:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^{n=3} p(x_i) \log_2 p(x_i) = -(p(x_1) \log_2 p(x_1) + p(x_2) \log_2 p(x_2) + p(x_3) \log_2 p(x_3)) =$$

$$= -(0,7 \cdot \log_2 0,7 + 0,2 \cdot \log_2 0,2 + 0,1 \cdot \log_2 0,1) = -(0,7 \cdot (-0,52) + 0,2 \cdot (-2,32) + 0,1 \cdot (-3,32)) =$$

$$= -(-1,16) = 1,16 \text{ бит}$$

2) Для нахождения информационных потерь при передаче сообщения из  $k$  символов, нужно воспользоваться формулой  $\Delta I = k \cdot H_X(Y)$ , где  $H_X(Y)$  - условная энтропия:

$$H_X(Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i y_j) \log_2 \frac{1}{p_{x_i}(y_j)} = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i) p_{x_i}(y_j) \log_2 p_{x_i}(y_j) =$$

$$= -[0,7(0,98 \cdot \log_2 0,98 + 0,01 \cdot \log_2 0,01 + 0,01 \cdot \log_2 0,01) + 0,2(0,1 \cdot \log_2 0,1 + 0,75 \cdot \log_2 0,75 +$$

$$+ 0,15 \cdot \log_2 0,15) + 0,1(0,2 \cdot \log_2 0,2 + 0,3 \cdot \log_2 0,3 + 0,5 \cdot \log_2 0,5)] =$$

$$= -[0,7(0,98 \cdot (-0,03) + 0,01 \cdot (-6,6) + 0,01 \cdot (-6,6)) + 0,2(0,1 \cdot (-3,4) + 0,75 \cdot (-0,41) + 0,15 \cdot (-2,7)) + 0,1(0,2 \cdot (-2,1) + 0,3 \cdot (-1,6) + 0,5 \cdot (-1))] = -[0,7 \cdot (-0,1614) + 0,2 \cdot (-1,0525) + 0,1 \cdot (-1,4)] = 0,463$$

бит это помехи, которые попадают в канал связи из вне или которые создаются внутри канала связи. Тогда потери в канале связи будут  $\Delta I = k \cdot H_X(Y) = 1000 \cdot 0,463 = 463$  бит.

3) Чтобы найти количество принятой информации, нужно найти количество взаимной информации  $I = k \cdot (H(Y) - H_X(Y))$ .

$H(Y) = -\sum_{j=1}^m p(y_j) \log_2 p(y_j)$  используя формулу умножения вероятностей

$p(x_i, y_j) = p(x_i) p_{x_i}(y_j)$ , найдем исходную матрицу

$$P(X, Y) = \begin{pmatrix} 0,7 \cdot 0,98 & 0,2 \cdot 0,1 & 0,1 \cdot 0,2 \\ 0,7 \cdot 0,01 & 0,2 \cdot 0,75 & 0,1 \cdot 0,3 \\ 0,7 \cdot 0,01 & 0,2 \cdot 0,15 & 0,1 \cdot 0,5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,686 & 0,02 & 0,02 \\ 0,007 & 0,15 & 0,03 \\ 0,007 & 0,03 & 0,05 \end{pmatrix}. \text{ Суммируя элементы строк,}$$

получим  $p(y_j)$ .  $p(y_1) = 0,686 + 0,02 + 0,02 = 0,726$ ,  $p(y_2) = 0,007 + 0,15 + 0,03 = 0,187$ ,

$p(y_3) = 0,007 + 0,03 + 0,05 = 0,087$ . Подставляем в формулу

$$H(Y) = -(0,726 \cdot \log_2 0,726 + 0,187 \cdot \log_2 0,187 + 0,087 \cdot \log_2 0,087) = -(0,726 \cdot (-0,46) + 0,187 \cdot (-2,42) + 0,087 \cdot (-3,52)) = 1,09274 \text{ бит. Тогда количество принятой информации } I = k \cdot (H(Y) - H_X(Y)) = 1000 \cdot (1,09274 - 0,463) = 629,74 \text{ бит.}$$

Данный пример дает возможность развить у студентов умение правильно использовать основные законы высшей математики, в частности, понятие энтропии и количества информации, в профессиональной деятельности и применять их на практике.

#### **Библиографический список:**

1. Яглом И. М., Яглом А. М. Вероятность и информация. Изд. 5-е, - М.: КомКнига, 2007. - 512 с.

УДК 372.851

### **Метод малых групп на занятиях по высшей математике**

Рябева А. Н.

*Ухтинский государственный технический университет г. Ухта*

В условиях научно-технического прогресса практически любая деятельность проходит в коллективе. Все специалисты в компаниях работают в коллективе и принимают коллективные решения. Поэтому обучение навыкам межличностного общения, а также привитие навыков самообразования, творческого использования полученных знаний также должно входить в задачу обучения студентов.

Работа по методу «малых групп» на занятиях по высшей математике дает возможность студентам творчески распорядиться своими знаниями, а также практиковать навыки сотрудничества и межличностного общения, в частности, умение активно слушать, вырабатывать общее мнение, разрешать возникающие разногласия.

Под «малой группой» понимают малочисленную социальную группу, члены которой объединены общей деятельностью и находятся в непосредственном личном контакте, что является основой для возникновения как эмоциональных отношений в группе, так и особых групповых ценностей и норм поведения.

С помощью метода «малых групп» можно:

- вызывать познавательную активность студента, поднимая её до исследовательского уровня;
- развить мышление и профессиональные способности, а также саморазвитие;

- максимально приближаться к реальной профессиональной ситуации, одновременно дающей студенту возможность для самостоятельной деятельности.

Работа в малых группах предусматривает:

- индивидуальное решение задачи каждым участником;
- активное участие всех участников в дискуссии при принятии решения в группе.

При организации такого метода, следует обратить внимание на студентов, обладают ли они необходимыми знаниями и умениями для выполнения такого задания. Если нет, то студенты не захотят прилагать какие-то усилия для его выполнения. Инструкции, которые дает преподаватель, должны быть максимально точными и понятными.

Группы должны быть образованы с малым количеством человек, так как это дает возможность каждому человеку высказать своё мнение и более эффективно работать.

В работе по методу «малых групп» должен соблюдаться регламент времени данного на проведении этапов задания, иначе группа может не успеть решить задачу или оформить решение. Все это может неблагоприятно сказаться на моральном состоянии группы.

Когда начинается работа в подгруппе, то первое, что выполняется это избирание лидера группы. Очень важно, чтобы в процессе работы каждый из студентов хотя бы один раз побывал в роли лидера. Лидер должен сам вести дискуссии с участниками группы, организовывать время работы, распределять роли в группе. С помощью этого студенты совершенствуют управленческие умения, которые необходимы каждому специалисту.

Желательно не менять состав группы в продолжение всей программы обучения, так как полезно сохранять стабильный состав группы, чтобы группа смогла добиться успеха. Если каждый раз расформировывать группы, то студенты не смогут приобрести навыки, необходимые для совместного разрешения проблем.

При применении этого метода особые требования предъявляются не только к студентам, но и к преподавателю. Он должен уметь руководить дискуссией, дать анализ отдельных высказываний, сделать заключение по всей дискуссии. Рассмотрим на примере темы «Неопределенный интеграл» как можно работать в малых группах.

Цели занятия:

- проверить усвоение изученного материала: решение неопределенного интеграла методом замены переменной, интегрирование по частям, интегралы от тригонометрических функций, интегрирование дробей, интегралы от дробно-рациональных функций.

- развить творческое мышление, познавательную активность, самостоятельность в принятии решений;

- сформировать умение работать в коллективе, чувство ответственности.

Предварительная подготовка к занятию:

1. Разбить группу студентов на «малые» группы по 6 человек. Всего 5 групп. Существует много способов распределения студентов по группам, вот самые востребованные:

- Первый – преподаватель сам разбивает студентов по группам и доводит эти сведения до студентов.

- Второй – попросить студентов рассчитаться на первый-второй-третий и т.д. до пяти. После расчета первые номера составляют первую группу, вторые номера – вторую группу и т.д.

- Третий вариант и самый сложный это когда студенты сами по своему желанию распределяются по группам. Этот вариант не очень удачный, так как студенты в основном распределяются на успевающих студентов и средне успевающих, этим и неудачный вариант. Группа лучше будет работать, если в ней будут успевающие и средне успевающие студенты. В разнородных группах отмечается более активное творческое мышление, студенты чаще обмениваются объяснениями и более полное обсуждение результатов работы

2. Выбрать лидера в каждой группе. Группа самостоятельно должна выбрать лидера, либо открытым голосованием, либо закрытым по желанию студентов.

3. Каждой группе придумать название группы, девиз на математическую тематику.

4. Лидер распределяет роли в группе. Роли могут быть следующие: организатор деятельности группы; регистратор – записывает результаты работы группы; докладчик - докладывает результаты работы всему коллективу; журналист – задает уточняющие вопросы своей группе, которые могут возникнуть у другой стороны; хронометрист – следит за временем, отпущенным на выполнение задания.

На предыдущем занятии дать домашнее задание, чтобы посмотрели лекции по этой теме и решили задания:

Найти неопределенный интеграл: a)  $\int \frac{dx}{\sqrt[3]{(2-3x)^2}}$ , b)  $\int x \ln x dx$ , c)  $\int \sin x \sin 3x dx$ , d)  $\int \frac{x dx}{x-3}$ ,

e)  $\int \frac{(43x-67)dx}{(x-1)(x^2-x-12)}$ .

Ход занятия:

1. Организационный момент

- постановка цели и задач:

Цель: сформировать умения использовать теоретический материал в практических задачах;

Задачи: изучить теоретический материал по предложенной теме; найти различные варианты решения задач; подготовить доклад о вариантах решения; представить результаты работы.

- сообщение плана работы

После того как лидеры получают карточки с заданиями, лидеры должны распределить роли в группе. После этого все приступают к решению заданий и обсуждению, как представить данный материал другой стороне, чтобы они поняли, как его надо решать и какие варианты решений существуют. Далее выступление и вопросы другой стороны. Затем каждая группа выставляет свои оценки другой стороне за доклад.

• вызываются 5 лидеров. Они выбирают карточки с заданиями и карточки с теоретическими вопросами. Например,

<p>Интегрирование дробей. Составить алгоритм решения заданий:</p> <p>1. <math>\int \frac{x^2 dx}{x^2+5}</math>    2. <math>\int \frac{x^2 dx}{2x-1}</math>    3. <math>\int \frac{dx}{2x^2-5}</math></p> <p>4. <math>\int \frac{dx}{x^2-2x+10}</math>    5. <math>\int \frac{(3x+2)dx}{x^2+x-1}</math></p> <p>6. <math>\int \frac{(8-13x)dx}{\sqrt{x^2-1}}</math></p>	<p>Интегрирование дробей. Теоретические вопросы:</p> <p>1. Какие существуют методы интегрирования дробей?</p> <p>2. В каждом методе какие есть варианты решения интегралов?</p>
---	---

- преподаватель сообщает об этапах работы и о регламенте времени на каждый этап:

1 этап – это распределение ролей и составление плана решения заданий, на это дается 10 минут.

2 этап – ответы на теоретические вопросы, 10 минут.

3 этап – решение заданий из карточки, 20 минут.

4 этап – защита решений перед аудиторией, каждая группа по 10 минут.

5 этап – подведение итогов и выставление баллов.

2. Самостоятельная работа студентов в «малых группах»:

1 этап: лидер вместе с одноклассниками составляет план решения заданий, распределяет их по студентам и по методам решений интегралов, а также выбирает студентов, которые будут отвечать на теоретические вопросы. В это время преподаватель ходит, и смотри на работу групп и выставляет баллы подгруппам по пятибалльной системе.

2 этап: ответы на теоретические вопросы. Из группы один студент отвечает на один вопрос из карточки. Преподаватель и другие подгруппы оценивают ответы по пятибалльной системе.

3 этап: решение заданий из карточки. Лидер распределяет по студентам задания.



Каждый решает и пишет ход решения для докладчика. Докладчик вместе с группой обсуждает каждое решение и пытается сделать связный и логически выстроенный доклад.

4 этап: Защита решений проходит перед всей аудиторией. Студент пишет решение и объясняет ход решения. В это время другие подгруппы могут задавать интересующие вопросы по ходу решения. Ответы оценивает преподаватель. Другие подгруппы дают анализ выступления. Ответы каждого оцениваются.

5 этап: Подведение итогов. Выставление оценок. Обсуждение пройденного занятия (что понравилось, а что нет). А также желательно поговорить о том, каким образом группе удалось или не удалось достичь высоких результатов, какие были трудности и кто помогал их разрешить.

Во время самостоятельной работы студентов, преподаватель должен быть только слушателем и смотрящим. Вмешательство преподавателя должно быть минимальным, так как студенты совместно, благодаря друг другу открывают, изучают что-то новое, обучают, проверяют. Подлинное сотрудничество возможно только среди студентов. Если возникают споры, то преподаватель должен напомнить студентам, что группы не соперничают друг с другом, а успех группы зависит от слаженной работы всех студентов.

Данный метод помогает студентам разнообразить свою деятельность на занятиях, развить творческий подход к решению задач и самостоятельность мышления. А самое главное помогает студентам развить свои коммуникативные навыки общения, так как некоторые студенты боятся высказывать свою точку зрения в большой группе. С помощью этого метода студенты открывают в себе сильные стороны, повышают свою самооценку и учатся работать в коллективе.

#### ***Библиографический список:***

1. Кидинов А. В. Психология внутригрупповых отношений: социально-динамический подход / диссертация на соискание ученой степени доктора психологических наук. – Москва, 2016г.- 330стр.

2. Рожкова Ф. А. Активные методы обучения. Работа в малых группах [Электронный ресурс]// Социальная сеть работников образования. – Режим доступа: nsportal.ru

УДК 001.891.573

#### **Моделирование динамики температуры в скважине**

Савельев Д. Ю.

Научный руководитель – Чупров И. Ф.

*Ухтинский государственный технический университет*

Увеличение в мировой структуре углеводородных ресурсов доли высоковязкой нефти и битумов становится характерной особенностью современной нефтедобычи. С целью повышения коэффициента нефтеотдачи месторождений с трудноизвлекаемыми запасами была создана группа методов, основанных на тепловом воздействии на пласт [3].

При внедрении тепловых методов повышения нефтеотдачи особое внимание уделяется изучению различных процессов переноса тепловой энергии как в скважинах, так и пласте в целом. Одним из методов контроля за тепловым воздействием являются термометрические исследования скважин.

Сегодня термические исследования стали неотъемлемой частью широкого комплекса геофизических методов безкернаго изучения технологического состояния скважин, известного под общим названием промысловой геофизики.

Исследование искусственных тепловых полей позволяет решить такие задачи как выделение работающих интервалов, определение местоположения затрубной циркуляции и притоков вод в скважину, выявление мест негерметичности обсадной колонны и НКТ, оценка расхода жидкости в скважине, осуществление контроля за перфорацией колонны и гидроразрывом пласта и ряд других.

Для решения задач по контролю и анализу процессов закачки теплоносителя и теплопереноса в скважинах необходимо глубокое понимание влияния различных тепловых явлений и других факторов на нефтеизвлечение углеводородов. Качественный контроль

теплового воздействия на скважину возможен только при умении правильно интерпретировать результаты термометрических исследований. Для этого интерпретатору нужно иметь обширные знания в геологии, тепловой физике и некоторых других областях [1].

В настоящее время для исследования таких сложных и визуально не наблюдаемых процессов, как теплопередача в скважинах, активно применяются инструменты физического и математического моделирования. Изучение хорошо проработанной модели дает возможность получить комплексное представление о механизмах теплопередачи в скважинах. Это позволит проводить более точную интерпретацию результатов термометрии, а соответственно – и более качественный контроль процесса закачки теплоносителя.

Целью данной работы является выявление общих закономерностей в поведении динамики температуры и её распределении при закачке теплоносителя в скважину. В статье будут подробно рассмотрены типичные профили распределения температуры в скважине после термической обработки с течением времени. Также будут приведены результаты начальных этапов физического и математического моделирования тепловых процессов. В заключение будет проведен анализ и сравнение полученных результатов, будут сделаны выводы и рекомендации для дальнейшей работы.

В качестве объекта исследования была выбрана пермо-карбоновая залежь Усинского месторождения. Начальная пластовая температура пласта составляет 23,1°C. Это обстоятельство является одной из причин того, что нефть на данном месторождении характеризуется высокой вязкостью. С 1992 года на месторождении начались работы по применению технологии площадной закачки пара. В процессе опытно-промышленных работ данная технология хорошо себя зарекомендовала и поэтому применяется по настоящее время.

В течение всего периода закачки пара в некоторых скважинах проводились геофизические исследования с целью мониторинга и контроля. В результате за почти 17 лет исследований образовалась база данных из более чем 1000 профилей распределения температуры в скважинах. Эти данные стали основой для дальнейшего изучения тепловых явлений в скважинах Усинского месторождения.

В качестве типичного примера рассмотрим профили распределения температуры в скважине №2893, в которую закачивался пар при температуре 270°C. Термометрические исследования были проведены 13 августа (спустя 12 ч после остановки скважины) и 2 сентября (спустя 24 ч) 2009 года (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1, участок скважины в интервале глубины 0-400 м характеризуется значительным начальным колебанием температуры. Данное явление можно объяснить пониженным тепловым сопротивлением колонны обсадных труб, в связи с чем на верхнем участке скважины часто наблюдается повышение температуры, а на нижнем участке – понижение. При этом для одних скважин эти колебания довольно существенны, а для других – практически незаметны, что объясняется особенностями конструкции обсадных колонн.

Из рисунка также видно, что в средней части скважины (400-1120 м) искажающее влияние колонны обсадных труб почти полностью исчезает. При этом распределение температуры на этом участке становится близким к линейному («аномальные» участки будут рассмотрены далее). Резкое увеличение температуры до 230°C в нижней части скважины объясняется наличием в интервале 1284,4-1312,2 м перфорационных каналов, по которым происходит наиболее активный теплообмен.

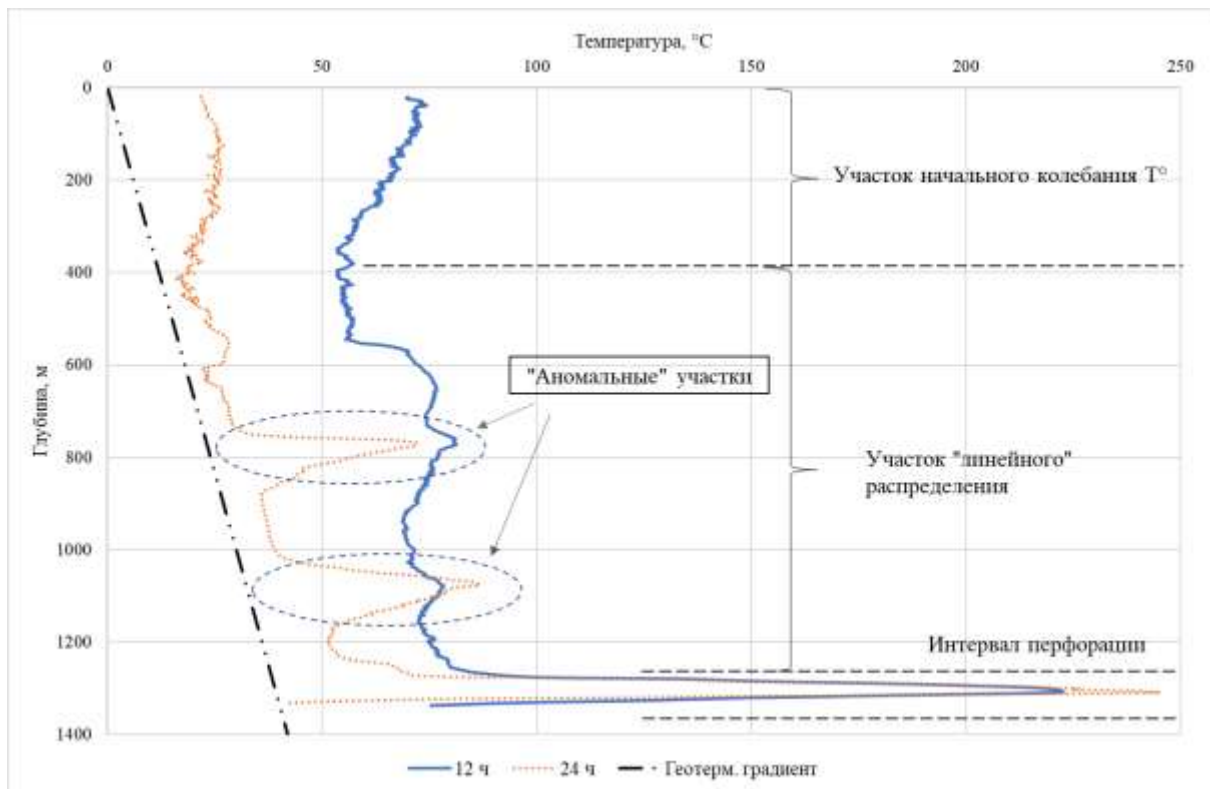


Рисунок 1 – Профили распределения температуры в скважине №2893

На рисунке 1 также показана линия геотермического градиента. На Усинском месторождении при среднем региональном геотермическом градиенте  $0,03^{\circ}\text{C}/\text{м}$  на глубине 1100 м температура составляет  $33^{\circ}\text{C}$ . Градиент можно описать простой линейной функцией:

$$T_r = 0,03 \cdot H, \quad (1)$$

где  $T_r$  – естественная температура среды на данной глубине,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$H$  – текущая глубина, м.

Для лучшего понимания того, как ведут себя функции распределения температуры на тех или иных интервалах скважины, была выполнена аппроксимация линий участков скважины с использованием линейных и кубических функций. Так как наибольший интерес для изучения представляют участки скважины с линейным распределением температуры, то приведем результаты аппроксимации только для этих интервалов.

Температурный профиль скважины через 12 ч после остановки определяется функцией:

$$T_{12} = 0,027 \cdot H + 43,713. \quad (2)$$

Величина достоверности аппроксимации  $R_{12}^2 = 0,983$ .

Температурный профиль скважины через 24 ч определяется функцией:

$$T_{24} = 0,034 \cdot H + 4,747. \quad (3)$$

Величина достоверности аппроксимации  $R_{24}^2 = 0,910$ .

Результаты расчета сведены в график на рисунке 2а.

Из рисунка 2а и полученных аппроксимирующих функций видно, что графики распределения температуры имеют почти такой же угол наклона прямой, как и геотермический градиент. Это подтверждает теорию о том, что в средней части скважины влияние сторонних факторов минимально.

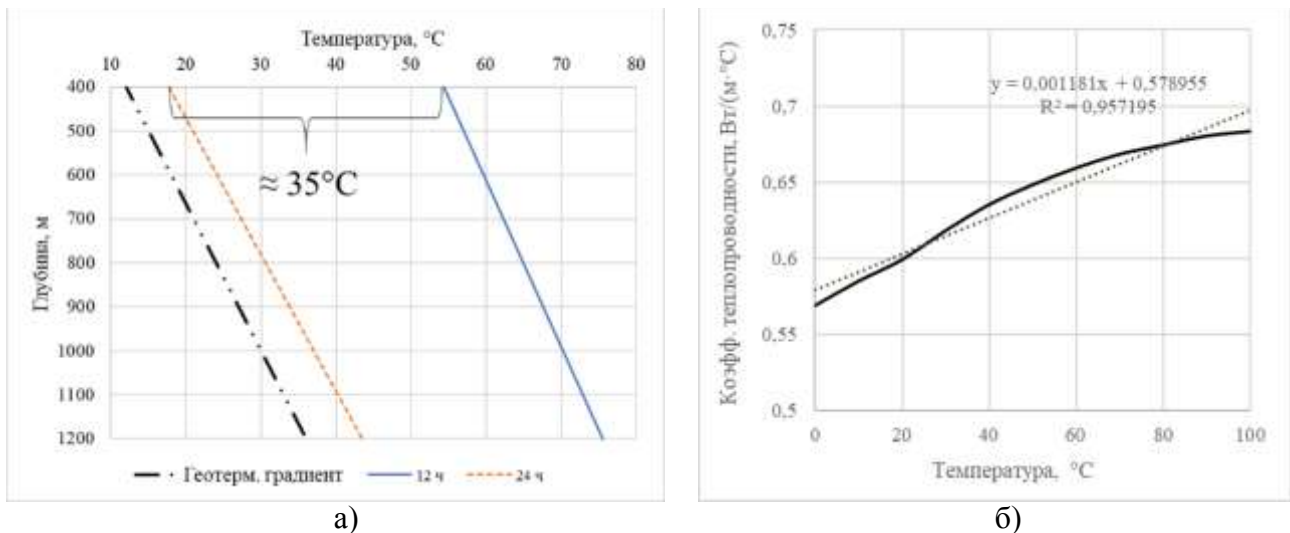


Рисунок 2 – Графики функций линейного распределения температуры в скважине (а) и экспериментальная зависимость коэффициента теплопроводности воды от температуры (б)

На рисунке 2а также отмечено, что за время с 12 до 24 ч с момента остановки скважины температура в среднем снизилась на 35°C, а спустя сутки разница с геотермическим градиентом составила 5°C. Из этого следует, что средний темп остывания внутреннего пространства скважины составил 2,917 °C/ч. Тем не менее, данный показатель не может быть использован для определения динамики температуры в скважине в разные моменты времени, так как процесс остывания является нелинейным процессом. Из закона охлаждения Ньютона-Рихмана известно, что скорость остывания внутреннего пространства скважины примерно пропорциональна градиенту температуры между этим пространством и окружающим его пластом:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \cdot S \cdot (T_s - T). \quad (4)$$

где  $S$  – площадь поверхности скважины, м<sup>2</sup>;  
 $T_s$  – температура окружающих пород, °C;  
 $T$  – текущая температура в скважине, °C;  
 $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·K);

Поскольку  $Q=C \cdot T$ , где  $C$  – теплоемкость тела, то дифференциальное уравнение можно записать следующим образом:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\alpha \cdot S}{C} \cdot (T_s - T). \quad (5)$$

Решив данное уравнение, получим формулу:

$$T(t) = T_s + (T_0 - T_s) \cdot e^{-(\alpha S/C)t}. \quad (6)$$

Таким образом, температура в скважине уменьшается экспоненциально по мере охлаждения, приближаясь к температуре окружающих пород. Коэффициент теплоотдачи не является физической постоянной вещества. Данный параметр отражает совместное действие конвекции и излучения и зависит от многих факторов, включая форму поверхности тела и положения его в пространстве, виды конвекции (свободная или вынужденная), толщину пограничного слоя и режима движения среды в нем, скорость движения среды, температурный коэффициент объемного расширения среды  $\beta = 1/T$ , физические свойства среды, в том числе коэффициент теплопроводности  $\lambda$  и др.

При расчетах коэффициент теплопроводности  $\lambda$  часто принимают постоянным и равным некоторому среднему значению. В действительности этот коэффициент зависит от свойств вещества и температуры и чаще всего определяется опытным путем (рисунок 2б).

Для многих материалов с достаточной для практики точностью зависимость коэффициента теплопроводности от температуры можно принять линейной:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 + b \cdot (T - T_0)) = (\lambda_0 \cdot b) \cdot T + \lambda_0 \cdot (1 - b \cdot T_0). \quad (7)$$

где  $\lambda_0$  – значение коэффициента теплопроводности при температуре  $T_0$ ;  
 $b$  – постоянная, определяемая экспериментально.

Преобразуя уравнение (7) и аппроксимируя линейной функцией график на рисунке 2б, получаем:

$$\lambda = 0,001181 \cdot T + 0,578955. \quad (8)$$

Проверим возможность применения полученных формул. Для этого рассчитаем динамику изменения температуры в скважине через 24 ч после остановки. По рисунку 2а видно, что на глубине 800 м температура в скважине через сутки составит 30,6 °С. Такой результата примем за эталонный.

Рассчитаем коэффициент теплопроводности по уравнению (8):

$$\lambda = 0,001181 \cdot 30,6 + 0,578955 = 0,6151 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

Нахождение коэффициента теплоотдачи является весьма сложной задачей и нет универсального способа его определения [2]. Для получения результата с достаточной для данного расчета точностью преобразуем формулу (5) с использованием закона Фурье и получим:

$$\alpha = - \frac{\lambda}{T_{\text{скв}} - T_s} \cdot \frac{\partial T}{\partial n}. \quad (9)$$

где  $\frac{\partial T}{\partial n}$  – градиент температуры по направлению к нормали, °С/м.

Учитывая, что  $S = c_p \cdot \pi \cdot r_c^2 \cdot H \cdot \rho_v$ , где  $c_p$  – удельная теплоемкость воды,  $\rho_v$  – плотность воды,  $H$  – высота участка скважины,  $r_c$  – радиус скважины, а  $S = 2 \cdot \pi \cdot r_c \cdot H$ , преобразуем формулу (6) и получаем:

$$T(t) = T_s + (T_0 - T_s) \cdot e^{-\left(\frac{\alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_c \cdot H}{c_p \cdot \pi \cdot r_c^2 \cdot H \cdot \rho_v}\right) t} = T_s + (T_0 - T_s) \cdot e^{-\left(\frac{\alpha \cdot 2 \cdot t}{c_p \cdot r_c \cdot \rho_v}\right)}. \quad (10)$$

Определим неизвестные параметры уравнения в справочных и технических источниках:  $T_0 = T(12) = 64,95$  °С (по уравнению (2)),  $c_p = 4187$  Дж/(кг·°С),  $\rho_v = 1050$  кг/м<sup>3</sup>,  $r_c = 73$  мм, толщина стенки обсадной колонны составляет 7,7 мм, 12 ч = 43600 с. Подставив (9) в (10), получим:

$$T(24) = 25 + (64,95 - 25) \cdot e^{-\left(\frac{0,6151}{(30,6-25)} \frac{30,6-25}{0,073+0,0077} \frac{2 \cdot 43600}{4187 \cdot 0,073 \cdot 1050}\right)} \approx 30,036 \text{ °С}.$$

### **Выводы и рекомендации**

Из расчета следует, разница с замеренным значением температуры составила 30,6-30,036 = 0,564 °С. Полученный результат можно считать удовлетворительным. Однако стоит учитывать, что расчет динамики температуры является весьма сложной задачей со своими нюансами. Если в данном случае по специально подобранным формулам (8)-(10) удалось получить приемлемый результат, то уже при других условиях данные формулы окажутся некорректными. Больше всего проблем возникает при вычислении коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ , получаемого либо экспериментально, либо рассчитываемого по индивидуально подобранным зависимостям.

Другой важной проблемой при изучении тепловых процессов в скважине является появление на термограммах участков с нелинейным распределением температуры («аномальные» участки на рисунке 1). Генезис данных явлений до конца не ясен, поэтому для лучшего понимания причин появления таких «аномалий» необходимо не только задействовать математический аппарат, но и глубже изучить физическую сторону вопроса. В связи с этим было решено провести ряд экспериментов на физической модели скважины. В качестве таковой используется полый стальной цилиндр, заполненный водой и установленный вертикально (рисунок 4). Данная модель позволит изучить различные

тепловые процессы, в том числе влияние рассеяния тепла и конвекции на распределение температуры. Результаты первых экспериментов представлены на рисунке 4.

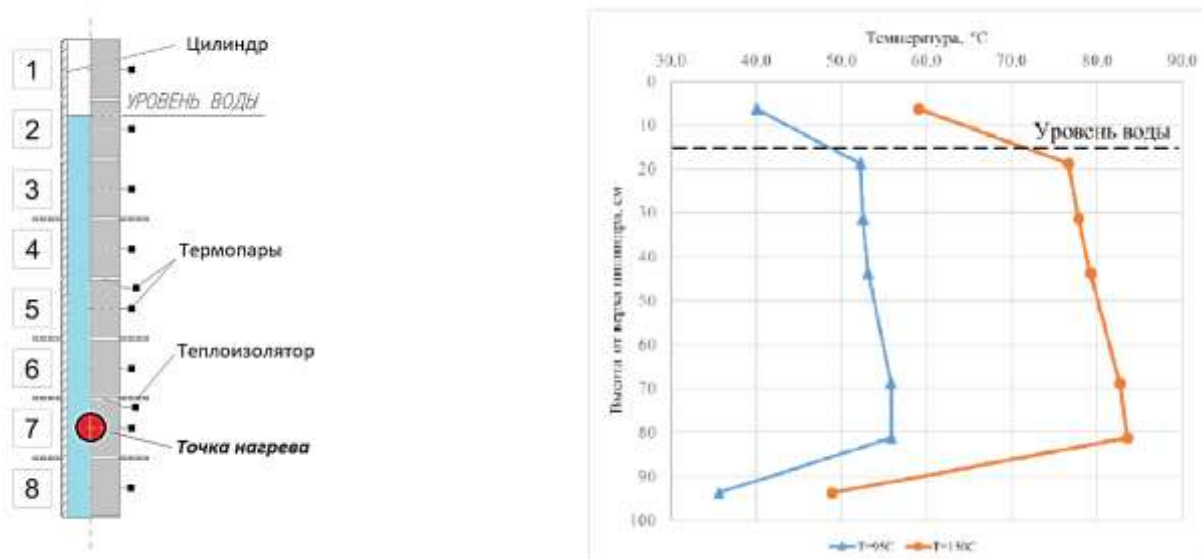


Рисунок 4 – Схема физической модели (слева) и график распределения температуры в цилиндре после стабилизации (справа)

#### **Библиографический список:**

1. Дахнов, В Н. Термические исследования скважин [Текст] : учеб. пособие / В Н. Дахнов, Д. И. Дьяконов. – М : Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1952. – 251 с.
2. Проселков, Ю. М. Теплопередача в скважинах [Текст] : учеб. пособие / Ю. М. Проселков. – М : Недра, 1975. – 224 с.
3. Рузин, Л. М Разработка залежей высоковязких нефтей и битумов с применением тепловых методов [Текст] : учеб. пособие / Л. М. Рузин, О. А. Морозюк. – Ухта : УГТУ, 2015. – 166 с.

УДК 535-45

### **Математический аппарат для расчёта характеристик полностью поляризованного света**

Савич Д. Е.

Научный руководитель – Криштоп В. В.

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск*

При описании различного рода задач на определение состояния поляризации оптического излучения встаёт вопрос об унификации математического аппарата вне зависимости от анизотропной системы, а также характеристик самого излучения. Иными словами, процесс формализации, а также непосредственные и/или опосредованные вычисления сводятся к постановке и решению *прямой трансформативной задачи* – задачи о преобразовании состояния поляризации последовательностью анизотропных элементов (оптическим трактом).

*Целью работы* является анализ работы анизотропных оптических устройств посредством реализации самого распространённого простейшего типа трансформативных задач – прямой проходной, при которой известными параметрами являются характеристики входного излучения и самого оптического тракта.

*Актуальность* работы обусловлена всё большей распространённостью оптических трактов, представляющих собой как небольшие фазовые пластинки, так и многокаскадные поляризационные фильтры.

При описании полностью поляризованного излучения наибольшее распространение получил метод Джонса ввиду относительной простоты расчётов, представленных в векторно-матричной форме. Пусть исходное излучение характеризуется известным вектором Джонса  $D$ , представляющим собой столбец комплексных амплитуд двух ортогональных компонент волны [1]:

$$D = \begin{pmatrix} A_x \cdot \exp(j\Phi_x) \\ A_y \cdot \exp(j\Phi_y) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $A_x$  и  $A_y$  –  $x$  и  $y$ -компоненты полной амплитуды волны соответственно;  $\Phi_x$  и  $\Phi_y$  – математические ожидания фазовых составляющих для  $x$  и  $y$ -компонент соответственно.

Целью решения прямой трансформативной задачи является нахождение другого вектора  $D'$ , который описывает излучение, преобразованное оптическим трактом. В самом простом случае такое преобразование можно описать системой линейных уравнений:

$$\begin{cases} D'_x = t_{11}D_x + t_{12}D_y \\ D'_y = t_{21}D_x + t_{22}D_y \end{cases} \quad (2)$$

где  $D'_x$  и  $D'_y$  –  $x$  и  $y$ -компоненты вектора Джонса  $D'$  для выходного излучения;  $D_x$  и  $D_y$  –  $x$  и  $y$ -компоненты Джонса  $D$  для входного излучения.

Комплексные коэффициента преобразования в (2)  $t_{ik}$  образуют комплексную матрицу Джонса  $T$  размером  $2 \times 2$ , называемую также оператором Джонса:

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

так что преобразование (2) можно представить в виде матричного соотношения:

$$D' = TD. \quad (4)$$

В простейшем случае, когда собственные поляризации являются ортогональными линейными, причём плоскости колебаний ортогональных векторов  $E$  совпадают с координатными осями, матрица Джонса диагональна:

$$T = \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – собственные энергетические коэффициенты пропускания тракта.

Дальнейшие расчёты направлены на поиск выходных значений интенсивности оптического излучения  $I'$ , истинного коэффициента пропускания оптического тракта  $\tau$ , поляризационной переменной  $\Gamma'$ , азимута поляризации  $\psi'$  и угла эллиптичности  $\chi'$  по следующим формулам:

$$I' = |D'_x|^2 + |D'_y|^2; \quad (6)$$

$$\tau = \frac{I'}{I}; \quad (7)$$

$$\Gamma' = \frac{D'_y}{D'_x}; \quad (8)$$

$$\psi' = \frac{1}{2} \arctg \left( \frac{2 \cdot \operatorname{Re}(\Gamma')}{1 - |\Gamma'|^2} \right); \quad (9)$$

$$\chi' = \frac{1}{2} \arcsin \left( \frac{2 \cdot \operatorname{Im}(\Gamma')}{1 + |\Gamma'|^2} \right). \quad (10)$$

Если при решении трансформативных задач в оптическом тракте возникают деполаризующие составляющие, то описание частично поляризованного излучения проводится уже при помощи векторов Стокса  $S$  и  $S'$ , характеризующих входное и выходное излучение, связанных между собой матрицей Мюллера  $M$  по аналогии с выражением (4) [2]:

$$S' = MS. \quad (11)$$

Вектор Стокса  $S$  представляет собой матрицу размером  $4 \times 1$ , в которой каждый коэффициент рассчитывается по определённой формуле:

$$S = \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix}; \quad (12)$$

$$\begin{cases} S_0 = |D_x|^2 + |D_y|^2 \\ S_1 = |D_x|^2 - |D_y|^2 \\ S_2 = 2 \cdot \operatorname{Re}(D_x \cdot D_y) \\ S_3 = 2 \cdot \operatorname{Im}(D_x \cdot D_y) \end{cases}. \quad (13)$$

В случае рассмотрения матрицы Джонса (3) вида:

$$T = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}, \quad (14)$$

учитывая выражение (5), матрица Мюллера размерности  $4 \times 4$  будет иметь следующий вид:

$$M = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{pmatrix}; \quad (15)$$

$$M_{11} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} |A|^2 + |D|^2 & |A|^2 - |D|^2 \\ |A|^2 - |D|^2 & |A|^2 + |D|^2 \end{pmatrix}; \quad (16)$$

$$M_{12} = M_{21} = 0; \quad (17)$$

$$M_{22} = \begin{pmatrix} \operatorname{Re} A \cdot D & -\operatorname{Im} A \cdot D \\ \operatorname{Im} A \cdot D & \operatorname{Re} A \cdot D \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Несмотря на то, что метод Стокса-Мюллера направлен на определение характеристик излучения при наличии в оптическом тракте деполяризующих элементов, с его помощью можно проверить правильность расчётов по методу Джонса, используя следующие формулы [3]:

$$I' = S'_0; \quad (19)$$

$$\psi' = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left( \frac{S'_2}{S'_1} \right); \quad (20)$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{arcsin} \left( \frac{S'_3}{\sqrt{(S'_1)^2 + (S'_2)^2 + (S'_3)^2}} \right). \quad (21)$$

Проверить корректность расчёта можно также используя матрицу когерентности  $J$  для входного излучения:

$$J = \begin{pmatrix} J_{xx} & J_{xy} \\ J_{yx} & J_{yy} \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} S_0 + S_1 & S_2 - jS_3 \\ S_2 + jS_3 & S_0 - S_1 \end{pmatrix}, \quad (22)$$

при помощи которой можно определить матрицу когерентности  $J'$  для выходного излучения, используя следующую формулу:

$$J' = T J T^+, \quad (23)$$

где  $T^+$  – эрмитово сопряжённая матрица. Проверка расчётов интенсивности, азимута поляризации и угла эллиптичности производится по следующим формулам:

$$I' = J'_{xx} + J'_{yy}; \quad (24)$$

$$\psi' = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left( \frac{2 \cdot \operatorname{Re}(J'_{yx})}{J'_{xx} + J'_{yy}} \right); \quad (25)$$

$$\chi' = \frac{1}{2} \operatorname{arcsin} \left( \frac{2 \cdot \operatorname{Re}(J'_{yx})}{J'_{xx} + J'_{yy}} \right). \quad (26)$$

Рассматривая простейший пример, при котором полностью поляризованное излучение с интенсивностью  $I$  проходит через линейный амплитудный анизотропный тракт с собственными коэффициентами пропускания тракта  $\tau_1$  и  $\tau_2$  ( $\tau_1 > \tau_2$ ), а также плоскость колебаний вектора  $E$  падающего излучения составляет с прозрачной осью тракта угол  $\alpha$



(рисунок 1), можно вычислить все перечисленные выше характеристики выходного электромагнитного излучения оптического диапазона.

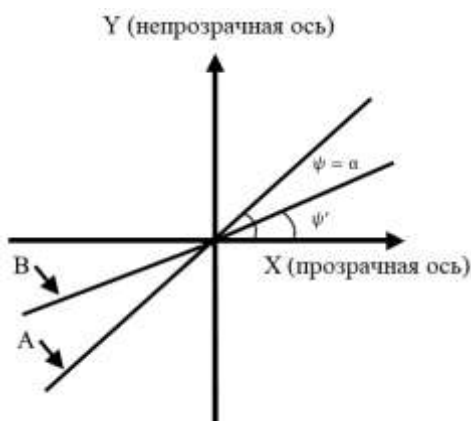


Рисунок 1 – Пример расчёта полностью поляризованного света для линейного амплитудного модулятора

Используя формулы (5), (12), (13), (15), (16), (17), (18) и (22) составим соответствующие матрицы Джонса  $T$  и Мюллера  $M$ , векторы Джонса  $D$  и Стокса  $S$ , матрицу когерентности  $J$ , характеризующие входное излучение:

$$T = \begin{pmatrix} \sqrt{\tau_1} & 0 \\ 0 & \sqrt{\tau_2} \end{pmatrix}; \quad (27)$$

$$M = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2) & \frac{1}{2}(\tau_1 - \tau_2) & 0 & 0 \\ \frac{1}{2}(\tau_1 - \tau_2) & \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{\tau_1\tau_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{\tau_1\tau_2} \end{pmatrix}; \quad (28)$$

$$D = \sqrt{I} \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix}; \quad (29)$$

$$S = I \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha \\ \sin 2\alpha \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (30)$$

$$J = \frac{1}{2} I \begin{pmatrix} 1 + \cos 2\alpha & \sin 2\alpha \\ \sin 2\alpha & 1 - \cos 2\alpha \end{pmatrix}. \quad (31)$$

Далее, по формулам (4), (11) и (23) найдём матрицы Джонса и Мюллера, а также матрицу когерентности, характеризующие выходное излучение:

$$D' = TD = \begin{pmatrix} \sqrt{\tau_1} & 0 \\ 0 & \sqrt{\tau_2} \end{pmatrix} \sqrt{I} \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix} = \sqrt{I} \begin{pmatrix} \sqrt{\tau_1} \cos \alpha \\ \sqrt{\tau_2} \sin \alpha \end{pmatrix}; \quad (32)$$

$$S' = MS = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2) & \frac{1}{2}(\tau_1 - \tau_2) & 0 & 0 \\ \frac{1}{2}(\tau_1 - \tau_2) & \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{\tau_1\tau_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{\tau_1\tau_2} \end{pmatrix} I \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha \\ \sin 2\alpha \\ 0 \end{pmatrix} =$$

$$= I \begin{pmatrix} \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2) + \frac{1}{2}(\tau_1 - \tau_2) \cos 2\alpha \\ \frac{1}{2}(\tau_1 - \tau_2) + \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2) \cos 2\alpha \\ \sqrt{\tau_1 \tau_2} \sin 2\alpha \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (33)$$

$$J' = T J T^+ = \begin{pmatrix} \sqrt{\tau_1} & 0 \\ 0 & \sqrt{\tau_2} \end{pmatrix} \frac{1}{2} I \begin{pmatrix} 1 + \cos 2\alpha & \sin 2\alpha \\ \sin 2\alpha & 1 - \cos 2\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sqrt{\tau_1} & 0 \\ 0 & \sqrt{\tau_2} \end{pmatrix} = \\ = \frac{1}{2} I \begin{pmatrix} \tau_1(1 + \cos 2\alpha) & \sqrt{\tau_1 \tau_2} \sin 2\alpha \\ \sqrt{\tau_1 \tau_2} \sin 2\alpha & \tau_2(1 - \cos 2\alpha) \end{pmatrix}. \quad (34)$$

Дальнейшие расчёты призваны найти и проверить правильность расчётов выходных значений интенсивности оптического излучения  $I'$  (формулы (6), (19) и (24)), истинного коэффициента пропускания оптического тракта  $\tau$  (формула (7)), поляризационной переменной  $\Gamma'$  (формула (8)), азимута поляризации  $\psi'$  (формулы (9), (20) и (25)) и угла эллиптичности  $\chi'$  (формулы (10), (21) и (26)) [3]:

$$I' = I(\tau_1 \cos^2 \alpha + \tau_2 \sin^2 \alpha); \quad (35)$$

$$\tau = \frac{I'}{I} = \tau_1 \cos^2 \alpha + \tau_2 \sin^2 \alpha; \quad (36)$$

$$\Gamma' = \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}} \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (37)$$

$$\psi' = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right); \quad (38)$$

$$\chi' = \frac{1}{2} \arcsin 0 = 0. \quad (39)$$

Результаты вычислений демонстрируют, что по всем три метода являются эффективными для постановки, формализации и решения прямой трансформативной задачи, выявляя при этом зависимость вычисленных в (35)-(39) параметров от значений собственных энергетических коэффициентов пропускания тракта и угла между плоскостью колебания вектора  $E$  и прозрачной осью амплитудного модулятора. Стоит отметить, что таким образом можно рассчитывать и иные анизотропные структуры, занимаясь не только аналитическими, но и синтетическими задачами.

#### **Библиографический список:**

1. Тронько В. Д. Магнитооптические среды, обладающие линейным и круговым дихроизмом. Матрицы Джонса / В. Д. Тронько, Г. П. Головач // Кристаллография. – 1975. – Т. 20. – № 3. – С. 477–484.
2. Розенберг Г. В. Вектор-параметр Стокса. Матричные методы учёта поляризации излучения в приближении лучевой оптики / Г. В. Розенберг // УФН. – 1955. – Т. 56. – № 1. – С. 77–110.
3. Ищенко Е. Ф. Поляризационная оптика / Е. Ф. Ищенко, А. Л. Соколов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 456 с.

**Решение геометрических задач в комплексных числах**

Сазанова Н.В.

Научный руководитель – Хабаева Е.В.

Ухтинский государственный технический университет

Комплексное число является одним из фундаментальных понятий современной математики. Комплексные числа применяются в теории движений и подобий, в механике, физике, электротехнике и других областях науки. Их обширно применял отец русской авиации Николай Егорович Жуковский (1847 – 1921), создатель теории крыла.

Впервые мнимые величины упоминаются в труде Кардано «Великое искусство, или об алгебраических правилах» (1545) в решении задачи по вычислению двух чисел, дающих в сумме 10, а при перемножении - 40. Математик получил квадратное уравнение для одного из слагаемых и нашёл его корни:  $5 + \sqrt{-15}$  и  $5 - \sqrt{-15}$ . В примечании к решению он написал: «эти сложнейшие величины бесполезны, хотя и весьма хитроумны» и «Арифметические соображения становятся все более неуловимыми, достигая предела столь же утонченного, сколь и бесполезного». Использование мнимых величин при решении кубического уравнения в неприводимом случае (когда вещественные корни многочлена выражаются через кубические корни из мнимых величин), впервые описал Бомбелли (1572). Ученый написал о правилах сложения, вычитания, умножения и деления комплексных чисел. Выражения вида  $a + b\sqrt{-1}$  называть «мнимыми» впервые предложил Декарт в XVI—XVII веках. Такое название они получили из-за отторжения их реальности. Для многих крупных ученых XVII века природа и право на существование мнимых величин представлялись весьма сомнительными, так же как сомнительными в те века считали и иррациональные числа, и даже отрицательные величины. Задачу о выражении корней степени  $n$  из комплексного числа решили Муавр (1707) и Котс (1722). Символ для обозначения мнимой единицы был предложен Эйлером (1777, опубл. 1794). Эйлер взял для этой цели слово латинского происхождения «*imaginarium*» (переводится как «мнимый») и стал записывать первую букву этого слова. Он же и распространил на комплексную область все базовые функции, включая логарифм. В 1751 году Эйлер сделал предположение об алгебраической замкнутости поля комплексных чисел. Таких же мыслей придерживался и д'Аламбер (1747). Но доказал этот факт Гаусс (1799), он же ввёл в 1831 году в свободное употребление понятие «комплексное число». Арифметическая (стандартная) модель комплексных чисел как пар вещественных чисел была построена Гамильтоном (1837). В 1685 году в труде «Алгебра» Валлис, английский ученый, доказал, что комплексные корни квадратного уравнения с вещественными коэффициентами можно представить геометрически, точками на плоскости. Термины «модуль», «аргумент» комплексного числа, «сопряжённое число» ввёл Коши.

Метод комплексных чисел в разделе геометрии - планиметрии позволяет решать задачи с помощью готовых формул. В этом заключается простота данного метода в отличие от векторного и координатного. Рассмотрим это на примерах.

*Задача №1*

В прямоугольном треугольнике  $ABC$  на прямой, содержащей медиану  $AD$  выбрана точка  $E$ , которая находится на расстоянии, равном 4 от точки  $A$ . Известно, что  $BC=6$ ,  $AC=4$ . Найти площадь треугольника  $BCE$ .

Решение:

Возможны два случая расположения точки  $E$  относительно точек  $A$  и  $D$ . Рассмотрим каждый из них.

*I случай.* (точка  $E$  лежит между точками  $D$  и  $A$ )

1. Так как точка  $D$  - середина  $CB$ , то  $CD=3$ .  
 $CA=4$ , тогда  $AD=5$ , следовательно,  $DE=1$ .

2. Введем комплексную плоскость

(Рисунок 1), где:

$C$  – начало координат;  $CA$  – действительная ось;

$CB$  – мнимая ось.

Тогда в этой плоскости

точка  $A$  соответствует комплексному числу

$4 + 0i$ , обозначим  $A(4)$ ;

точка  $B$  соответствует комплексному числу  $0 + 6i$ ,

обозначим  $B(6i)$ ;

точка  $D$  соответствует комплексному числу  $0 + 3i$ ,

обозначим  $D(3i)$ ;

точка  $C$  соответствует комплексному числу  $0 + 0i$ , обозначим  $C(0)$ .

Пусть точка  $E$  соответствует комплексному числу  $e$ , обозначим  $E(e)$ .

3. Так как точки  $A$ ,  $E$  и  $D$  коллинеарны, то  $\frac{e-4}{3i-e}=4$ ; Таким образом,  $e = \frac{12i+4}{5}$ .

4. Если в комплексной плоскости вершины треугольника имеют вид  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , то площадь треугольника вычисляется по формуле:  $S = \frac{i}{4}(a(\bar{b} - \bar{c}) + b(\bar{c} - \bar{a}) + c(\bar{a} - \bar{b}))$ .

Тогда, в нашем случае

$$S_{CBE} = \frac{i}{4}(0(-6i + e) + 6i(-e - 0) + e(0 - 6i)) = \left[ \frac{i}{4}(e6\bar{i} + 6i(-\bar{e})) \right] = \left[ \frac{6i^2}{4}(e - \bar{e}) \right] = 2.4$$

*II случай* (точка  $A$  лежит между точками  $D$  и  $E$ )

1. Так как точка  $D$  - середина  $CB$ , то  $CD=3$ .

$CA=4$ , тогда  $AD=5$ , следовательно,  $AE=4$ .

2. Введем комплексную плоскость

(Рисунок 2):

$C$  – начало координат;  $CA$  – действительная ось;

$CB$  – мнимая ось.

Тогда

точка  $A$  соответствует комплексному числу  $4 + 0i$ ,

обозначим  $A(4)$ ;

точка  $B$  соответствует комплексному числу  $0 + 6i$ ,

обозначим  $B(6i)$ ;

точка  $D$  соответствует комплексному числу  $0 + 3i$ ,

обозначим  $D(3i)$ ;

точка  $C$  соответствует комплексному числу  $0 +$

$0i$ , обозначим  $C(0)$ .

Пусть точка  $E$  соответствует комплексному числу  $e$ , обозначим  $E(e)$ .

3. Из коллинеарности точек  $A$ ,  $E$  и  $D$  следует  $\frac{4-e}{3i-4} = \frac{4}{5}$ , т.е.  $e = \frac{36-12i}{5}$

4. Если в комплексной плоскости вершины треугольника имеют вид  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , то площадь треугольника вычислим по формуле:  $S = \frac{i}{4}(a(\bar{b} - \bar{c}) + b(\bar{c} - \bar{a}) + c(\bar{a} - \bar{b}))$ .

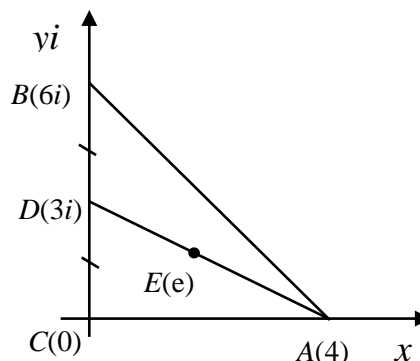


Рисунок 1

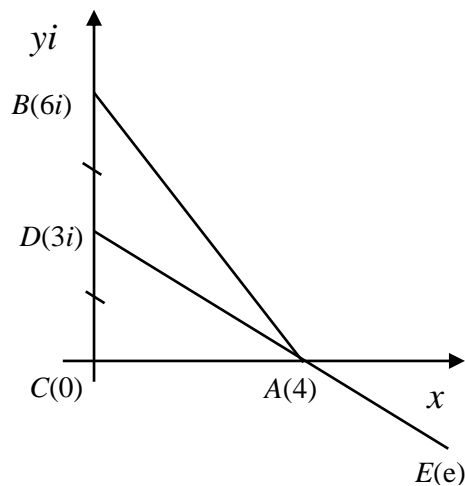


Рисунок 2

$$\text{Тогда } S_{CBE} = \left[ \frac{3i^2}{2} \left( \frac{36-12i}{5} - \frac{-36-12i}{5} \right) \right] = 21.6$$

Ответ:  $S_{CBE} = 2,4$ ;  $S_{CBE} = 21,6$

Задача №2

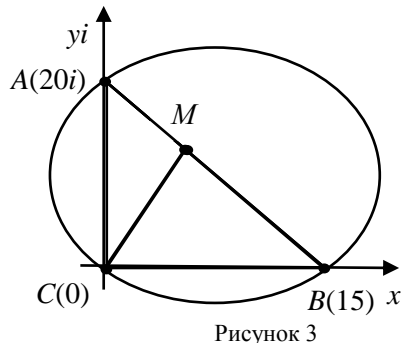


Рисунок 3

На диаметре  $AB$  окружности отмечена точка  $M$  и точка  $C$ . Точка  $C$  удалена от точек  $A$ ,  $M$  и  $B$  на расстояния 20, 14 и 15 соответственно. Найти площадь треугольника  $CBM$ .

Решение:

Введем комплексную плоскость (Рисунок 3), где:

$C$  – начало координат;  $CB$  – действительная ось;  $CA$  – мнимая ось.

Тогда в этой плоскости

точка  $A$  соответствует комплексному числу  $0 + 20i$ , обозначим  $A(20i)$ ;

точка  $B$  соответствует комплексному числу  $15 + 0i$ , обозначим  $B(15)$ ;

точка  $C$  соответствует комплексному числу  $0 + 0i$ , обозначим  $C(0)$ .

Пусть точка  $M$  соответствует комплексному числу  $z$ , обозначим  $M(z)$ .

Точки  $A$  и  $B$  фиксируем, а точку  $M$  будем считать переменной. Обозначим ее координату через  $z$ .

Если в комплексной плоскости точки имеют вид  $a, b, z$ , то уравнение прямой

определяется формулой:  $(\bar{a} - \bar{b})z + (b - a)\bar{z} + a\bar{b} - b\bar{a} = 0$ .

Тогда уравнение прямой  $AB$  будет иметь вид:

$$(-20i - 15)z + (15 - 20i)\bar{z} + 20i * 15 - 15(-20i) = 0$$

$$-20iz - 15z + 15z - 20i\bar{z} + 20i * 15 + 15 * 20i = 15(z + 20i) + 20i(15 - z) + z(-20i - 15) = 0$$

Заменив  $\bar{z} = \frac{196}{z}$ , получим:

$$15\left(\frac{196}{z} + 20i\right) + 20i\left(15 - \frac{196}{z}\right) + z(-20i - 15) = 0$$

$$\frac{15(196 + 20iz) + 20i * 15 * z - 196 * 20i + z^2(-20i - 15)}{z} = 0$$

$$15 * 196 + 15 * 20i * z + 15 * 20i * z - 20i * 196 - 20iz^2 - 15z^2 = 0$$

$$15 * 196 + 30 * 20i * z - 5z^2(4i + 3) - 20i * 196 = 0$$

$$-20i * 196 - 5z^2(4i + 3) + 600iz + 14^2 * 15 = 0$$

$$-4i * 196 - z^2(4i + 3) + 120iz + \frac{14^2 * 3}{5} = 0$$

$$-z^2(4i + 3) + 120iz - 14^2(4i - 3) = 0$$

$$25z^2 - 120iz(4i - 3) + 14^2(4i - 3)^2 = 0$$

$$120i^2(4i - 3)^2 - 4 * 25 * 14^2(4i - 3)^2 = (4i - 3)^2 16 * 25(-36 + 49(4i - 3)^2)$$

$$z_{1,2} = \frac{120i(4i - 3) \pm (4i - 3) * 4 * 5 \sqrt{-36 + 49(4i - 3)^2}}{50} = \frac{10 * 2(4i - 3)(6i \pm \sqrt{13})}{50} = \frac{2(4i - 3)(6i \pm \sqrt{13})}{5}$$



Лейбниц в 1693 году представил идею общего метода решения систем линейных уравнений, которая была реализована швейцарским математиком Крамером в 1752 году. Он сформулировал и обосновал правило, согласно которому каждая неизвестная равна отношению двух определителей. Фактически, он был основоположником теории определителей. Обширное исследование определителей в 1772 году опубликовал Вандермонд. Систематическое изложение этой теории определителей относится к периоду 1812-1815 гг., авторами которой являются Бине и Коши.

При неизвестных системы линейных уравнений коэффициенты и свободные члены удобно представлять матрицами системы. Впервые матричный метод решения систем линейных уравнений был изложен в древнекитайском трактате «Девять книг о математическом искусстве» (II век до н.э.), где система линейных уравнений записывается в виде матрицы, столбцы которой составлены из коэффициентов при неизвестных и свободных членах. В данном труде система решается **методом исключения**, впоследствии заново сформулированном Гауссом в 1849 году. Данный метод заключается в правилах преобразования расширенной матрицы системы.

Новыми понятиями и задачами развили теорию матриц исследования Вейерштрасса и Фробениуса. Фробениус ввел понятие ранга матрицы в 1877 году. Это понятие используется в теореме и дает ответ на вопрос: при каких условиях система  $m$  линейных уравнений с  $n$  неизвестными имеет решение. (Кронекер и Капелли в лекциях 1883-92 гг.).

Решение систем линейных алгебраических уравнений есть образец численных расчетов, которыми занимались еще в древности. Он является основой для алгоритмов решения большинства задач, в которых используются математические модели.

Рассмотрим решение системы при помощи обратной матрицы. Вычислительные потери в этом случае очень большие. Если нет необходимости исследовать непосредственно элементы обратной матрицы, то лучше ее не вычислять. Для численного решения систем высокого порядка (а именно такие встречаются при решении разного рода инженерных задач) метод Крамера не пригоден, так как требует вычисления  $(n+1)$ -го определителя. Даже при выборе наилучшего метода вычисления отдельно взятого определителя потребуются такое же время, как и для решения самой системы в случае использования современных численных методов.

Методы решения СЛАУ [1,2,3] условно можно разбить на два класса: **прямые** (или точные) и **итерационные**. Также имеются и «гибридные» методы.

**Прямые методы** позволяют получить точное решение системы за конечное число действий. «Точное решение» здесь понимается условно, как характеристика алгоритма, а не реального вычислительного процесса.

Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений основаны на сведении матрицы системы  $A$  при помощи конечного числа элементарных преобразований к матрице диагонально или треугольной – и тогда решение находится с помощью последовательных подстановок.

**Метод Гаусса** называют методом последовательного исключения. Алгоритм исключения неизвестных датируется где-то в 250-м году до н.э. Суть метода заключается в получении эквивалентной системы (т.е. система с тем же самым решением) с треугольной матрицей  $A$ . Процесс решения состоит из нескольких этапов: прямого и обратного хода. В результате прямого хода, система приводится к системе с треугольной матрицей, а при выполнении обратного хода вычисляются последовательно все неизвестные значения. В процессе решения системы возможны три случая:

1. Решение системы существует и является единственным, когда матрица коэффициентов является невырожденной (на последнем шаге решения получается одно уравнение с одним неизвестным).

2. Система уравнений не имеет решений (на некотором шаге получается строка, в которой все коэффициенты при неизвестных равны нулю, а свободный член не равен нулю).

3. Система уравнений имеет бесконечное множество решений (на некотором шаге в

системе получается строка, в которой коэффициенты и свободный член равны нулю).

**Метод прогонки.** Метод прогонки является специфическим вариантом метода Гаусса для частного случая систем линейных уравнений. Метод прогонки состоит из двух этапов: прямой и обратной прогонки. При прямой прогонке каждое неизвестное  $x_i$  выражается через  $x_{i+1}$  с помощью прогоночных коэффициентов.

Алгоритм метода прогонки:

1. Вычисляются прогоночные коэффициенты  $U_i, V_i$  по формулам:

$$U_i = -\frac{c_i}{L_i},$$

$$V_i = \frac{b_i - a_i V_{i-1}}{L_i}, \quad L_i = a_i U_{i-1} + b_i.$$

для  $i = 1, 2, \dots, n-1$  при условии, что  $U_0 = 0, V_0 = 0$ .

2. Решения  $x_n$  определяются из выражения  $x_n = \frac{d_n - a_n V_{n-1}}{b_n + a_n U_{n-1}}$

3. Все остальные неизвестные  $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_2, x_1$  последовательно вычисляются по формуле  $x_i = U_i x_{i+1} + V_{i-1}, i = 1, 2, 3, \dots$ .

**Метод Крамера.** Метод Крамера позволяет решать системы линейных алгебраических уравнений с числом уравнений, равным числу неизвестных, с ненулевым определителем матрицы коэффициентов системы.

**Итерационные методы** показывают решение системы уравнений в виде предела последовательности некоторых векторов, построение которых осуществляется посредством итерационным процессом. При этом приближенное решение системы находится с заданной точностью. Выбор того или иного метода зависит от многих обстоятельств: от вида матрицы коэффициентов; от порядка системы; от имеющегося программного обеспечения; от объема оперативной памяти ЭВМ и др.

**Метод Якоби** - один из наиболее простых методов приведения системы матрицы к виду, удобному для итерации: из 1-го уравнения матрицы выражаем неизвестное  $x_1$ , из 2-го выражаем неизвестное  $x_2$  т.д. Результатом служит матрица  $B$ , на главной диагонали в которой находятся нулевые элементы, а остальные вычисляются по формуле

$$b_{ij} = \frac{-a_{ij}}{a_{ij}}, \quad ij = 1, 2, 3, \dots$$

$$d_i = \frac{b_i}{a_{ii}} \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Расчетная формула метода простой итерации:

$$x^{(n+1)} = Bx^{(x)} + d.$$

Матричная формула метода интерации:

$$x_i^{n+1} = b_{i1} x^{n1} + b_{i2} x^{n2} + \dots + b.$$

**Метод Зейделя** - метод является модификацией метода Якоби. Здесь при вычислении очередного  $(n+1)$  - го приближения к неизвестному  $x_i$  при  $i > 1$  используют уже найденные  $(n+1)$  - е приближения к неизвестным  $x_1, x_2, \dots, x_{i-1}$ , а не  $n$  - ое приближение, как в методе Якоби.

**Метод Холецкого [2]** основан на представлении симметричной положительно-определённой матрицы  $A$  в виде  $A=LL^T$ , где  $L$  - нижняя треугольная матрица со строго положительными элементами на диагонали. Разложение матрицы системы иногда записывается и в эквивалентной форме:  $A=U^TU$ , где  $U=L^T$  - верхняя треугольная матрица. Для любой симметричной положительно-определённой матрицы разложение Холецкого всегда существует и является единственным.

Говоря о **качестве решения**, необходимо учитывать обусловленность систем линейных уравнений.

Обусловленность матрицы системы является качественной характеристикой, хотя ее можно оценить и количественно. Существует несколько способов оценки обусловленности. Например, обусловленность матрицы системы можно оценить с помощью меры обусловленности  $\mu(A): \mu(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\|$ , где  $\|A\|$  - норма матрицы  $A$ ;  $\|A^{-1}\|$  - норма обратной матрицы. Данное число служит коэффициентом оценки роста относительных



погрешностей при неточном задании элементов матрицы  $A$ . Чем больше  $\mu(A)$ , тем сильнее возмущения в исходных данных сказываются на решении системы линейных уравнений. Если число  $\mu(A)$  велико, то система считается плохо обусловленной. Говорить о том, «что такое хорошо, а что такое плохо» в отрыве от контекста решаемой задачи бессмысленно, так как здесь могут играть роль размерность задачи, точность, с которой должно быть найденное решение, точность представления чисел в ЭВМ и т.п. Но следует также помнить, что оценка снизу меры обусловленности  $\mu(A)$  не может быть меньше 1. Матрица, а соответственно, и система уравнений, будет хорошо обусловленной, если  $\mu(A)$  стремится к единице. Из этого следует мысль о том, что обусловленность характеризует **устойчивость решения системы относительно исходных данных**.

Задача решения СЛАУ является **корректной**, если решение существует, оно единственно ( $\det A \neq 0$ ) и непрерывно зависит от исходных данных, т.е. малым изменениям исходных данных соответствуют малые изменения полученного решения задачи. Между плохо обусловленной задачей и плохо обусловленными вычислениями есть некоторое различие. Если задача плохо обусловлена, то никакие усилия, потраченные на организацию хороших вычислений, не могут дать правильный ответ, исключая случайность. С плохо обусловленными задачами можно столкнуться, например при анализе условий размещения нефтегазовых комплексов на основе матричной модели. Модель позволяет оценить в каком состоянии находится объект в настоящий момент и спрогнозировать ее изменение на последующих стадиях развития.

Все плохо обусловленные вычисления являются результатом применения численно неустойчивых алгоритмов. Например, метод исключения Гаусса без выбора главного элемента таким недостатком может обладать. Обратная матрица плохо обусловленной матрицы является неустойчивой, т.е. элементы обратной матрицы значительно изменяются при малом изменении элементов в исходной матрице.

При помощи численных методов решения СЛАУ рассчитывают забойное давление в скважинах с целью выбора способов подъема жидкости из глубины на поверхность, оценки фазового состояния нефти и воды, а также используют для вычисления градиентов пластового давления с целью определения скоростей перемещения фильтрующихся веществ, границ разделов между нефтью и водой необходимо ещё знать и поле пластового давления. При решении плоских задач вытеснения нефти водой численными методами на ЭВМ поле пластового давления вычисляют одновременно с полем водонасыщенности и нефтенасыщенности.

Процесс неустановившейся фильтрации газа или жидкости в пористой среде описываются дифференциальными уравнениями. Численные методы и ЭВМ в настоящее время позволяют нам решать многочисленные разнообразные прикладные задачи, которые описываются многомерными дифференциальными уравнениями.

В данной работе средствами Excel были протестированы метод Гаусса, прогонки, Якоби. Дана система четырех линейных уравнений с четырьмя неизвестными  $x_1, x_2, x_3, x_4$ . Расширенная матрица этой системы имеет вид:

$$A = \left( \begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & b_3 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & b_4 \end{array} \right), \quad A = \left( \begin{array}{cccc|c} 10 & -2 & 1 & 3 & 4 \\ 2 & 9 & -2 & 1 & -3 \\ -1 & 2 & -9 & 3 & 5 \\ 1 & 3 & -3 & 8 & 9 \end{array} \right),$$

где  $V=(b_1, b_2, b_3, b_4)^T$ - столбец свободных членов системы  $Ax = V$ . Система решалась с точностью  $\varepsilon=0,0001$ .

Мера обусловленности системы 5,3702, не так далеко от 1, поэтому можно сказать, что система не является плохо обусловленной. Далее приводятся полученные решения.

Решение	Метод Гаусса	Метод Якоби	Метод Прогонки
x <sub>1</sub>	-0,0463	-0,0368	-0,0463
x <sub>2</sub>	-0,5164	-0,5075	-0,5164
x <sub>3</sub>	-0,2556	-0,2896	-0,2556
x <sub>4</sub>	1,2286	1,2398	1,2286

Как видим, решение методом Якоби для данной системы отличается от решений, полученных методами Гаусса и прогонки со среднеквадратической погрешностью 0,038.

Решение систем линейных алгебраических уравнений является одной из основных задач вычислительной линейной алгебры. Умение эффективно решать данные системы важно для осуществления возможности математического моделирования самых разнообразных процессов с применением ЭВМ.

#### **Библиографический список:**

1. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.
2. Васильев Ф. П. Методы оптимизации.– Факториал Пресс. – 2002г. – 824 с.
3. Кашеварова Г.Г., Пермьякова Т.Б., Лаищева М.Е. Численные методы решения задач строительства. – Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2015г. – 161с.

УДК 517.974

### **Возможность применения программного комплекса Statistica в преподавании математики**

Терентьева Е. А.

*Ухтинский государственный технический университет в г. Ухте*

В настоящее время растет роль использования компьютерных технологий при работе со студентами. Новые технологии не только освобождают преподавателя от рутинных методов преподавания, но и наглядно дополняют лекционные занятия. Таблицы, графики, диаграммы, аудиовизуальные средства играют существенную роль в развитии интеллектуальной и познавательной деятельности обучающихся.

Компьютерные технологии возможно применять на практических занятиях по математике. На втором курсе студенты технического вуза изучают элементы математической статистики. Обучающиеся знакомятся с основами математической статистики: первичной обработкой статистических данных, выборочными числовыми характеристиками, понятием оценок параметров, понятием доверительных интервалов, общими принципами проверки статистических гипотез.

При решении задач по данной теме возникают громоздкие расчеты, в которых студенты допускают ошибки и приходят к неправильным выводам. Перед преподавателем встает задача – научить студентов правильно обрабатывать статистические данные и делать верные выводы. Существует достаточно компьютерных программ, позволяющих решать задачи математической статистики. В данной статье рассматривается возможность использования программного комплекса Statistica, предназначенного для статистического анализа, визуализации данных и разработки пользовательских приложений.

Программа анализа данных Statistica широко применяется в финансовой, промышленной, медицинской, экономической и некоммерческой сферах деятельности людей. Продукт удобен в использовании, легок в освоении, оснащен понятным интерфейсом.

Преимущества программы:

1. наличие качественных инструментов для построения графиков и схем,
2. сформированные отчеты можно анализировать в Word,
3. высокая точность расчетов,
4. наличие руководства по решению статистических операций,

5. разнообразные методы редактирования графиков, схем, диаграмм,

Решим задачу математической статистики, используя программный комплекс Statistica.

Задача. Известны  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - результаты независимых наблюдений над случайной величиной  $X$  :

18.0	26.0	9.0	5.0	7.0	40.0	23.0	15.0	15.0	8.0
15.0	27.0	15.0	29.0	25.0	19.0	2.0	5.0	5.0	6.0
24.0	30.0	5.0	15.0	55.0	17.0	1.0	22.0	22.0	20.0
3.0	8.0	3.0	9.0	11.0	2.0	22.0	33.0	33.0	18.0
23.0	37.0	7.0	3.3	13.0	4.0	14.0	9.0	9.0	13.0
7.0	21.0	21.0	8.0	9.0	7.0	16.0	3.0	3.0	13.0
31.0	13.0	2.0	9.0	11.0	3.5	35.0	30.0	30.0	5.0
1.0	29.0	13.0	12.0	1.0	2.0	5.0	5.0	5.0	19.0
9.0	10.0	6.0	9.0	31.0					

### 1. Сгруппировать данные в интервальную таблицу

При выполнении данного задания «вручную» студенты часто делают ошибки при нахождении наибольшего и наименьшего значения случайной величины, подсчете количества данных в каждом из частичных интервалов.

В программе Statistica результаты группировки данных в интервальную таблицу имеет вид (таб. 1).

	Частота	% всех
$0,000000 < x \leq 10,000000$	40	47
$10,000000 < x \leq 20,000000$	21	25
$20,000000 < x \leq 30,000000$	16	19
$30,000000 < x \leq 40,000000$	7	8
$40,000000 < x \leq 50,000000$	0	0
$50,000000 < x \leq 60,000000$	1	1

Таблица 1 – Интервальная таблица данных

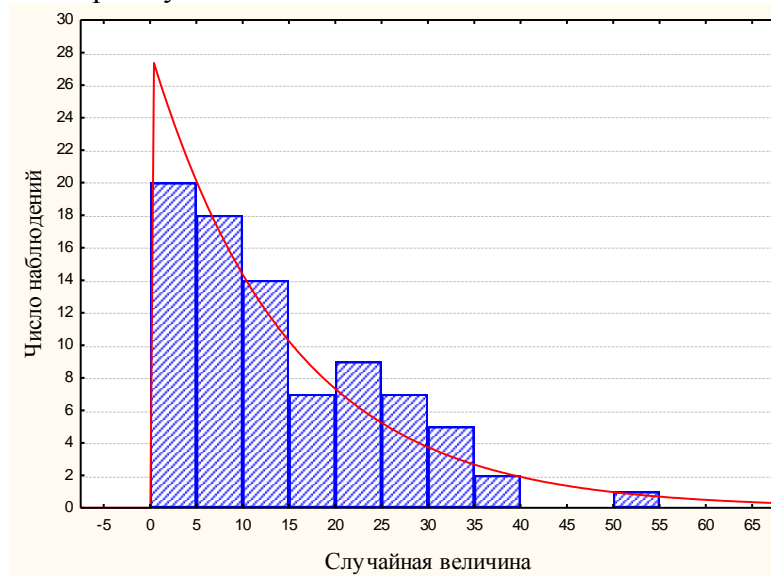
1. Найти математическое ожидание, медиану, моду и квартили.

При вычислении дисперсии случайной величины возникают громоздкие вычисления, которые можно избежать, воспользовавшись возможностями программы (таб. 2).

Число набл.	Среднее	Медиана	Мода	Минимум	Максимум	Дисперс.
85	14,78313	13,00000	Множест.	1,00000	55,00000	120,80610

Таблица 2 – Описательные статистики

2. Построить гистограмму частот



В программе возможно построение таблиц, гистограмм, диаграмм, графиков различных зависимостей.

4. Проверить гипотезу о нормальном распределении выборки

Проверим гипотезу с помощью критерия Пирсона (критерий  $\chi^2$ ). Его достоинство по сравнению с другими критериями состоит в том, что он может быть применен к различным законам распределения.

Результаты проверки приведены в таблице 2.

Верхняя граница	Распред.:Нормальное Хи-квадрат = 32,71124, сс = 5 (скорр.) , p = 0,00000					
	Наблюд. частота	Кумул. Наблюд.	Процент Наблюд.	Ожидаем. частота	Процент Ожидаем.	Наблюд.- Ожидаем.
<= 0,00000	0	0	0,00000	7,41295	8,93127	-7,41295
5,00000	20	20	24,09637	8,08389	9,73967	11,9161
10,00000	18	38	21,68674	12,03561	14,50077	5,96440
15,00000	14	52	16,86741	14,62081	17,61541	-0,62081
20,00000	7	59	8,43370	14,49241	17,46071	-7,49241
25,00000	9	68	10,84333	11,72121	14,12191	-2,72121
30,00000	7	75	8,43370	7,73500	9,31931	-0,73500
35,00000	5	80	6,02410	4,16480	5,01781	0,83520
40,00000	2	82	2,40964	1,82958	2,20431	0,17042
45,00000	0	82	0,00000	0,65570	0,79001	-0,65570
50,00000	0	82	0,00000	0,19170	0,23091	-0,19170
55,00000	1	83	1,20482	0,04570	0,05501	0,95421
60,00000	0	83	0,00000	0,00880	0,01071	-0,00880
< бесконеч.	0	83	0,00000	0,00160	0,00191	-0,00160

Таблица 2 – Проверка гипотезы

Вверху таблицы выводится значение статистики критерия  $\chi^2$ , число степеней свободы и вычисленный уровень значимости. Для нашей задачи получено  $\chi^2 = 32,71$ , число степеней свободы  $k = 5$ , уровень значимости  $p = 0,0000$ .

Значение вероятности  $p = P(\chi^2 > 32,7) = 0,0000$  означает, что если гипотеза верна, вероятность получить 32,7 и больше равна 0,0000. Это слишком мало, чтобы поверить в нормальность распределения. Гипотезу о нормальном распределении отклоняем.

Если посмотреть на гистограмму частот, то мы увидим, что значения выборки подчинены показательному закону.

Программный комплекс Statistica позволяет решать задачи математической статистики: вычислять выборочные характеристики, строить гистограммы, проверять гипотезы. Система не требует от студентов громоздких вычислений, помогает оптимально спланировать будущие эксперименты и создает качественные отчеты. Важно научить обучающихся правильно работать с программой, чтобы собранные данные грамотно обработать и извлечь из них максимум информации. Программа Statistica снабжена подсказками, какие методы анализа существуют и какие из них лучше всего подходят для тех или иных задач. Она станет настоящим помощником для написания практической части выпускной квалификационной работы.

#### **Библиографический список:**

1. Стукач О.В. Программный комплекс Statistica в решении задач управления качеством : учебное пособие / О. В. Стукач. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 163 с. Режим доступа : <http://ieeep.tpu.ru/books/statistica.html>

УДК 622.276.031:532.5

#### **Определение о особенности фильтрации**

Тетерина К. С., Михайлова Ю. Е.

Научный руководитель –Хозяинова М.С.

г. Ухта, Ухтинский государственный технический университет

Аннотация: В данной статье поясняется, как и для чего осуществляется процесс фильтрации. Рассматривается проблема, возникающая в ходе поиска решения уравнения движения вязкой жидкости. Представлены две упрощенные модели среды, которые дают возможность рассмотреть фильтрацию с гидродинамической точки зрения. На основе этого сделан вывод о том, что скорость фильтрации отличается от истинной скорости движения жидкостей и газов.

Ключевые слова: фильтрация, поровые каналы, поперечное сечение, скважина, пласт, песчинки, пористость, идеальный грунт, фиктивный грунт.

Фильтрация – это особое движение жидкости и газа по каналам в продуктивных пластах. Такие каналы имеют очень маленькие размеры и образуются преимущественно двумя способами. В первом случае каналы образуются системой соединенных между собой пор среди зёрен горной породы, во втором же - это трещины в скелете некоторой породы.

Фильтрация отличается от обычного движения жидкости и газа по трубам. Во-первых, поровые каналы имеют очень маленькое поперечное сечение. Во-вторых, жидкость движется по каналам очень медленно. В-третьих, при фильтрации неизбежно возникает сила трения, обусловленная тем, что жидкость обладает вязкостью, а поверхность стенок поровых каналов велика.

Для наглядности рассмотрим в качестве примера среднезернистый песок, состоящий из отдельных песчинок диаметром в 0,2 мм. В таком песке поровые каналы будут иметь максимально возможный диаметр порядка нескольких сотых долей миллиметра. Для сравнения, диаметр трубы измеряется в сантиметрах, а это в разы больше, чем в поровых каналах. Следует учесть и то, что поверхность поровых каналов шероховатая, а их форма неправильная.

Жидкости и газы двигаясь по трубам, имеют скорость, размерность которой составляет в обычном случае несколько метров или сантиметров в секунду, а вблизи

скважины жидкость двигается со скоростью в разы меньше. Рассмотрим на конкретном примере. Имея скважину с расходом в  $100 \text{ м}^3$  в сутки и пласт мощность которого составляет  $10 \text{ м}$  с пористостью в  $20\%$ , мы получим, что скорость плоско-радиального движения жидкости по направлению к скважине на расстоянии  $100 \text{ метров}$  от нее будет меньше одного микрона в секунду.

Чтобы оценить влияние размеров поверхностей поровых каналов на величину сил сопротивления, определим суммарную поверхность песчинок, заключенных в  $1 \text{ м}^3$  песчаного пласта. Примем форму песчинок шарообразной, диаметр их одинаковым и обозначим:

Для того, чтобы произвести оценку влияния размеров поровых каналов на величину силы сопротивления, необходимо определить сумму поверхностей всех песчинок, находящихся в  $1 \text{ м}^3$  песчаного пласта. Для этого будем считать, что песчинка имеет шарообразную форму, а диаметр у всех песчинок одинаковый. Получим, что:

$$N = \frac{(1 - m)}{\omega} = \frac{3(1 - m)}{4\pi r^3}, \quad (1)$$

где:  $N$ - число песчинок в  $1 \text{ м}^3$  пласта;

$r$ - радиус песчинки;

$f = 4\pi r^2$  - поверхность песчинки;

$\omega = \frac{4}{3}\pi r^3$  - объем песчинки;

$m$ -пористость пласта.

Зная число песчинок в  $1 \text{ м}^3$  пласта и поверхность одной песчинки, можно найти полную поверхность  $S$  песчинок, занимающих  $1 \text{ м}^3$  песчаного пласта:

$$S = N \cdot f = \frac{3(1 - m) \cdot 4\pi r^2}{4\pi r^3} = \frac{3(1 - m)}{r}. \quad (2)$$

При пористости пласта  $m = 0,20$  и радиусе песчинки  $r = 0,1 \text{ мм} = 10^{-4} \text{ м}$ .

Если принять пористость пласта  $m = 0,20$ , а радиусе песчинки  $r = 0,1 \text{ мм} = 10^{-4} \text{ м}$ , то получим полную поверхность песчинок равную:

$$S = \frac{3(1 - 0,2)}{10^{-4}} = 2,4 \cdot 10^4 \text{ м}^2.$$

Следовательно, можно говорить о том, что в  $1 \text{ м}^3$  среднезернистого песчаного пласта полная поверхность поровых каналов будет больше  $20000 \text{ м}^2$ . Если рассматривать мелкозернистый песок, то полная поверхность будет еще больше, чем у среднезернистого песчаного пласта. Именно поэтому между вязкой жидкостью, двигающейся с небольшой по величине скоростью, и стенками поровых каналов будет возникать огромная сила трения.

Учитывая то, что поровые каналы имеют нестандартную форму, а их сечения изменяются в пространстве беспорядочно, потому что пористая среда состоит из частиц разной формы и размеров, можно сделать вывод о невозможности поиска решения уравнения движения вязкой жидкости. Для того, чтобы найти точное решение уравнения, необходимо изменить условия. По этой причине, изучая фильтрацию с гидродинамической точки зрения, используют упрощенную модель среды, а именно: идеальный и фиктивный грунты.

Идеальный грунт – это такая пористая среда, где все поровые каналы являются совокупностью цилиндрических трубок с параллельными осями.

Под фиктивным грунтом понимается такая пористая среда, где все частицы имеют одинаковый диаметр и одинаковую шарообразную форму. Именно фиктивный грунт является самой удобной упрощенной моделью естественного грунта, поэтому данную модель чаще всего используют для математического изучения.

Скорость фильтрации и её связь со скоростью движения.

Расход  $v$  жидкости, приходящийся на единицу поперечного сечения пласта, можно определить по формуле:

$$v = \frac{Q}{F}, \quad (3)$$

Q- объемный расход жидкости через поперечное сечение рассматриваемого элемента пористого пласта, F- площадь нормального к направлению движения жидкости поперечного сечения пласта.

Величина v- это скорость фильтрации. Если рассматривать скорость фильтрации с физической точки зрения, то она является фиктивной скоростью. С другой стороны, если бы пористая среда отсутствовала (коэффициент пористости  $m=1$ ) и движение происходило в свободном пространстве, ограниченном кровлей и подошвой пласта, то жидкость бы двигалась.

По данной формуле можно узнать среднюю величину скорости фильтрации в сечении F. В случаях, когда скорость фильтрации не меняется по сечению пласта, она будет совпадать с истинной скоростью фильтрации. В общем случае в разных точках сечения F скорость фильтрации может быть неравной. Таким образом, истинное значение скорости фильтрации в любой точки пласта принимает вид:

$$v = \frac{dQ}{dF}, \quad (4)$$

dQ- величина объемного расхода жидкости сквозь проходящую через данную точку элементарную площадку dF, нормальную к направлению скорости фильтрации v.

Установим размерность скорости фильтрации. За единицу длины примем L , а T- единицу времени :

$$[v] = \frac{(Q)}{(F)} = \frac{L^3 T^{-1}}{L^2} = L T^{-1}$$

Другими словами можно сказать, что скорость фильтрации имеет размерность скорости.

Скорость фильтрации отличается от истинной скорости движения жидкостей и газов. Для того, чтобы определить среднюю скорость w движения жидкости или газа нужно его объемный расход Q разделить на площадь S нормального к направлению движения поперечного сечения поровых каналов.

Средняя величина площади проходов определяется по формуле:

$$\tilde{S} = mF \quad (5)$$

Получается, что средняя скорость движения жидкости равна:

$$w = \frac{Q}{\tilde{S}} = \frac{Q}{mF} \quad (6)$$

Подставляя в последнюю формулу вместо величины  $\frac{Q}{F}$  скорость фильтрации v, получим:

$$w = \frac{v}{m}$$

Выходит, для того, чтобы найти среднюю скорость движения жидкостей или газа нужно ее скорость фильтрации разделить на пористость.

Понятие скорости фильтрации предоставляет нам возможность рассматривать пласт как непрерывное поле скоростей фильтрации и давлений, величина которых в каждой точке пласта является функцией координат этой точки и времени. Имея данные о величине скорости фильтрации v и площади сечения пласта F, можно найти дебит (расход) жидкости или газа, не рассматривая микро картины движения жидкостей или газов в резко изменяющихся по форме поровых каналах. Также практичным является пользование понятием скорости фильтрации при решении задач о распределении давления в пласте, о взаимодействии скважин и пр.

При решении практических вопросов, связанных с разработкой нефтяных и газовых

месторождений, приходится еще решать задачи о продвижении контуров нефтеносности и газоносности, о времени обводнения нефтяных и газовых скважин, о скоростях движения газа и воды от нагнетательных скважин к эксплуатационным при применении вторичных методов добычи нефти и др. В этих случаях важно знать о средних скоростях движения жидкостей в поровых каналах, определить которых возможно по формуле:

$$w = \frac{v}{m} \quad (7)$$

В гидрогеологической практике исследованы различные эмпирические методы определения скорости движения подземных вод. Для применения их в простейшем случае нужны две буровые скважины, которые расположены по направлению потока. Через находящуюся выше (считая по течению) скважину в поток воды вводится индикатор и отмечается время его ввода. Затем устанавливается время появления индикатора в расположенной ниже скважине. Далее определяют максимальную скорость движения грунтовых вод, разделив расстояние между скважинами на время, которое истекло с момента ввода в пласт индикатора до момента появления его в нижней (контрольной) скважине. В гидравлической практике вместо индикаторов используются красящие вещества, хлористые соли, присутствие которых в воде значительно повышает ее электропроводность, что дает обнаружить их появление в контрольной скважине электрическим способом (без отбора проб воды), и др. вещества.

#### **Библиографический список**

1. Щелкачев, В. Н. Подземная гидравлика [Текст]: учеб. пособие / В. Н. Щелкачев / Б. Б. Лапук – М: Гостоптехиздат, 1949. – 510 с.

УДК 336.783

#### **Финансовые вычисления на примере обучения в ГОУ ВО КРАГСиУ**

Шатохина М.Ю.

Научный руководитель – Масляев Д.А.

ГОУ ВО «Коми Республиканская Академия Государственной Службы и Управления», г. Сыктывкар

**Цель исследования** - определить период окупаемости проекта получения высшего образования на платном отделении, провести сравнительный анализ с случаем, когда человек не учится, а все время работает по специальности, не требующей высшего образования.

**Задачи исследования** - построить финансовую модель обучения на платном отделении, построить альтернативную модель и провести их сравнение по критерию чистой приведенной стоимости.

**Инвестиционный проект** – это долгосрочный календарный план вложения средств фирмы в такие активы, как оборудование, здания, земля, технологии и т.п. и получения доходов от этих вложений. В нашем случае мы рассматриваем инвестиции в образование: человек получает высшее образование и может претендовать на должность с более высокой заработной платой [1].

В каждом периоде времени инвестиционный проект предполагает как доходы, так и затраты. Часто доходы называют *притоком* денежных средств, а затраты – *оттоком*. Инвестиционный проект порождает поток денежных средств, каждый элемент которого равен разности между притоком и оттоком денежных средств. Эти суммы принято называть платежом.

В нашем исследовании мы использовали коэффициент дисконтирования, чтобы рассчитать текущую сумму денежных средств, которая означает сегодняшнюю стоимость сумм, которые будут получены в будущем, то есть через определённый период времени.

**Дисконтирование денежных потоков** – это приведение стоимости будущих (ожидаемых) денежных платежей к текущему моменту времени.



**Коэффициент дисконтирования** используется для приведения будущих доходов к текущей стоимости за счет перемножения коэффициента дисконтирования и потоков платежей [2]. Ниже показана формула (1.1) расчета коэффициента дисконтирования:

$$k_d = \frac{1}{(1+r)^i}; \quad (1.1)$$

где:  $r$  – ставка дисконтирования,  $i$  – номер временного периода.

### Дисконтирование денежных потоков. Формула расчета (1.2)

$$DCF = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i}; \quad (1.2)$$

где: DCF – дисконтированный денежный поток;

CF – денежный поток в период времени  $i$ ;

$r$  – ставка дисконтирования (норма дохода);

$n$  – количество временных периодов, по которым появляются денежные потоки.

Ключевым элементом в формуле дисконтирования денежных потоков (1.2) является ставка дисконтирования (СД). Она показывает, какую норму прибыли следует ожидать инвестору при вложении в тот или иной инвестиционный проект. СД использует множество факторов, которые зависят от объекта оценки, и может в себя включать: инфляционную составляющую, доходность по безрисковым активам, дополнительную норму прибыли за риск, ставку рефинансирования, средневзвешенную стоимость капитала, процент по банковским вкладам и т.д.

В статье мы рассматриваем два проекта (ситуации), определяем ставку дисконтирования, подбираем другие параметры и сравниваем проекты по периоду их окупаемости. Все вычисления мы производили при помощи программы Excel.

Рассмотрим следующий проект: студент учится на заочном отделении по профилю государственное и муниципальное управление на платной основе, по окончании обучения устраивается на работу по специальности, где получает среднюю по Республике Коми заработную плату в своей сфере. Будем сравнивать этот случай с тем, как если бы он не учился, а все время работал и получал заработную плату в размере минимального прожиточного минимума (заработная плата меньше, поскольку у него нет высшего образования). Мы хотим найти период окупаемости данного проекта, а также период, необходимый на то, чтобы «догнать» по чистой приведенной стоимости второй случай. Также мы хотим найти размер заработной платы (по окончании академии) в проекте, которая позволила бы «догнать» по чистой приведенной стоимости второй случай всего лишь за год.

Нам необходимо установить, какой из этих проектов окажется более выгодным для человека в перспективе. Для начала необходимо рассмотреть условия, которые одинаковы для обоих проектов.

Ставка дисконтирования в нашем проекте была взята - 7%. Её мы вычислили, учитывая ставку по вкладам в Центральном Банке России. Уровень инфляции и остальные риски мы не рассматривали. Соответственно, месячная ставка дисконтирования рассчитывается как  $0,07 \div 12 = 0,005833$ . Из этого следует, что КД в период  $t$  вычисляется:  $k_d = (1+0,005833)^{-t}$ .

Согласно данным Территориального органа федеральной статистики по Республике Коми [4], минимальный размер оплаты труда в 2018 году составил 12128 тыс. руб., средняя заработная плата на государственной службе составила 54268 тыс. руб., что в дальнейшем будет являться доходами студента во втором и в первом проектах соответственно. Помимо доходов, студент из первого проекта должен оплачивать свою учёбу: стоимость обучения на заочном отделении в КРАГСИУ составляет 55000 руб. в год.

Чистый денежный поток (ЧДП) рассчитывается как положительный денежный поток (ПДП), минус отрицательный денежный поток (ОДП).

Чтобы рассчитать период окупаемости, необходимо вычислить кумулятивный денежный поток (КДП). Рассчитывается он как сумма всех предыдущих и нынешних дисконтированных денежных потоков.

В таблицах 1, 2, 3 мы указали только данные на начало учебного года, чтобы сэкономить место в тексте статьи, поскольку все расчёты делались по месяцам.

Рассмотрим первую ситуацию. Студент начинает работать по специальности сразу после окончания вуза, но во время обучения никаких доходов не имеет, соответственно КДП будет уменьшаться с каждым годом. На конец обучения он составит -238943,7 руб. Как только студент заканчивает учиться, он устраивается на работу и получает заработную плату, денежный поток увеличивается, соответственно он начинает окупать свои затраты на обучение. Согласно расчетам, которые можно увидеть в Таблице 1, студент сможет окупить своё обучение за 7 месяцев после окончания вуза, получая среднюю заработную плату государственного служащего по Республике Коми.

Таблица 1 Студент работает по специальности после окончания ВУЗа

Год	Расходы	Доходы	Денежный поток	Дисконтированный денежный поток	Кумулятивный денежный поток
1	55000	0	-55000	-54681,0	-54681,0
2	55000	0	-55000	-50994,6	-105675,6
3	55000	0	-55000	-47556,7	-153232,4
4	55000	0	-55000	-44350,6	-197583,0
5	55000	0	-55000	-41360,7	-238943,7
6(61)	0	54268	54268	38058,9	-200884,8
6(67)	0	54268	54268	36753,6	22878,1

Рассмотри вторую ситуацию (Таблица 2). Здесь студент не учится все 5 лет, а работает и получает доход в виде минимального размера оплаты труда. За 6 лет кумулятивный денежный поток студента составит 612488,2 тыс. руб.

Таблица 2 Студент получает минимальную заработную плату

Год	Расходы	Доходы	Денежный поток	Дисконтированный денежный поток	Кумулятивный денежный поток
1	0	12128	12128	11310,4	140164,8
2	0	12128	12128	10547,9	270880,1
3	0	12128	12128	9836,8	392783,0
4	0	12128	12128	9173,6	506467,7
5	0	12128	12128	8555,2	612488,2

Мы выяснили, что он должен зарабатывать 104500 тыс. руб., чтобы сравнить кумулятивный денежный поток с предыдущей ситуацией (Таблица 3).

Таблица 3. Расчет необходимой заработной платы

Месяц	Расход	Доход	Денежный поток	Дисконтированный денежный поток	Кумулятивный денежный поток
1	0	104500	104500	73287,3	-165656,4
2	0	104500	104500	72862,3	-92794,1
3	0	104500	104500	72439,7	-20354,4
4	0	104500	104500	72019,6	51665,2
5	0	104500	104500	71601,9	123267,2
6	0	104500	104500	71186,7	194453,9
7	0	104500	104500	70773,8	265227,7
8	0	104500	104500	70363,4	335591,1
9	0	104500	104500	69955,3	405546,4
10	0	104500	104500	69549,6	475095,9
11	0	104500	104500	69146,2	544242,2
12	0	104500	104500	68745,2	612987,4

И в третьей ситуации (Таблица 4) мы рассматривали тот случай, когда студент получает после окончания обучения среднюю заработную плату по специальности. Получается, что он сможет заработать 612488,2 тыс. руб. за 24 месяца или 2 года.

Таблица 4 Срок окупаемости при средней заработной плате государственного служащего

Месяц	Расход	Доход	Денежный поток	Дисконтированный денежный поток	Кумулятивный денежный поток
1	0	54268	54268	38058,9	-200884,8
12	0	54268	54268	35700,2	203473,5
24	0	54268	54268	33293,4	616054,5

Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. Если студент устроится на работу по специальности сразу же после окончания ВУЗа, то сможет через 7 месяцев окупить свои расходы на платное обучение.

2. Если он будет получать минимальную заработную плату без высшего образования, то за 5 лет заработает такую сумму, которую может заработать за 2 года при наличии высшего образования.

3. Таким образом, наилучшим вариантом для человека в перспективе будет отучиться по специальности и устроиться на работу по специальности, при этом он сможет окупить все свои затраты на обучение (за достаточно небольшой промежуток времени) и будет иметь хороший доход в будущем.

#### **Библиографический список:**

1. Бухвалов А. В., Бухвалова В. В. Финансовые вычисления для менеджеров: Учеб. пособие. 3-е изд., испр. и доп./ А.В Бухвалов, В.В. Бухвалова; Высшая школа менеджмента СПбГУ. – СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента», 2010. – 368с.

2. Ковалев В. В.. Финансовый менеджмент; теория и практика. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ТК Велби, Изд-во Проспект. — 1024 с. – 2007.

3. Мазова Е.А., Мандрыко А.В., Скорикова Е.Н., Ожерельева Н.Р. ФИНАНСОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ (учебное пособие) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 11-1. – С. 123-124.

УДК 519.257:62-45

**Математическое моделирование максимально допустимых параметров магистральных газопроводов**

Шиловский И. А.

Научный руководитель – Волкова И.И.

*г. Ухта, Ухтинский государственный технический университет*

Магистральный газопровод- это система труб и сооружений, предназначенная для транспортировки природного газа. Трасса газопровода может пересекать естественные и искусственные препятствия. Выбор способа прокладки трубопровода на таких участках зависит от типа препятствия в частности, для канав, каналов и несудоходных рек применяют надземный тип исполнения.

Надземный переход магистрального газопровода является потенциально опасным участком линейной части, т.к. проседание и размывание грунта, разрушение опор и другие причины могут повлечь за собой возникновение напряженного состояния с дальнейшим возникновением аварии.

Контроль за техническим состоянием таких участков является одной из приоритетных задач предприятий энергетического комплекса. На основе информации о целостности металла и об остаточном ресурсе эксплуатации трубопроводов газотранспортные компании могут прогнозировать состояния активов на ближайшие годы. Однако существующие линейные методы расчёта по глубине коррозии не в полной мере отображают истинные значения остаточных ресурсов объектов.

Цель работы: провести анализ данных диагностического обследования надземных переходов, получение допустимых параметров газопровода, выполнить вероятностный расчет остаточного ресурса.

Были поставлены следующие задачи: провести анализ результатов неразрушающего контроля (толщинометрии) 11 надземных переходов с наличием НДС, построить профиль надземного перехода по данным геодезической съёмки, провести расчет на прочность, согласно СП 36.13330.2012 п.12.5, провести расчет на минимально-допустимую толщину стенки, согласно СП 36.13330.2012, выполнить вероятностный расчет остаточного ресурса (по функции Вейбулла).

В данной работе рассмотрены 15 многопролетных переходов через реки, в 11 из которых обнаружены напряженно-деформированные состояния (таблица 1). В большинстве случаев это было вызвано проседанием или разрушением опоры.

Таблица 1-Сводная таблица переходов с обнаруженными НДС.

	Пролёты									
	1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	7/1	8/1	9/1	10/2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
МГ "Грозный-Гойты" переход через р.Сунжа	-/-	+/-	-/-	-/-	-/-	+/-	+/-			
МГ "Грозный-Гойты" переход через оросительный канал "Атаги-Гойтинский"	-/-	+/-	-/-							
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Гумс	+/-	-/-	-/-							
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Гонсол	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	+/-				
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Мичик	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-				
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Иснерк	-/-	-/-	-/-							
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Хумык	-/-	-/-	-/-							
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход	-/-	-/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-	+/-	+/-	+/-

	Пролёты									
	1/1 1	2/1 2	3/1 3	4/1 4	5/1 5	6/1 6	7/1 7	8/1 8	9/1 9	10/2 0
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Хумык	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-					
Газопровод-отвод к ГРС "Урус-Мартан"	-/-	-/-	-/-	-/-						
МГ "Аксай-Гудермес-Грозный" переход через реку Джалка	-/-	+/-	-/-							
МГ "Аксай-Гудермес-Грозный" переход через реку Аргун	-/+	+/+	-/-	-/-	-/-	+/-	-/-	+/-	-/-	-/-
МГ "Кази-Магомед-Моздок" воздушный переход	-/+	+/+	+/-	-/-	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
ГП-перемычка "Моздок-Кази-Магомед"- "Аксай-Грозный"	+/-	-/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-	+/-	-/-	-/-
МГ "Аксай-Гудермес-Грозный" переход через р. Белка	-/-	+/-	-/-	-/+	-/-	-/-	+/-	+/-	-/-	-/-

Была проведена толщинометрия газопроводов, и выполнено сравнение значений между участками без напряженного состояния в проектном положении и участками с напряженным состоянием. Данное сравнение выполнено для проверки - влияет ли наличие напряженного состояния на скорость коррозии. Выявлено, что толщина стенки в напряженных участках слабо отличается от толщины стенки без напряженного состояния (таблица 2). Максимальная разница между средней толщиной без НДС и с НДС составляет 6%, средняя разница между средней толщиной без НДС и с НДС 1,9%, максимальная разница между минимальной толщиной без НДС и с НДС 6,5%, средняя разница между минимальной толщиной без НДС и с НДС 1,6%.

Наличие такого непроектного состояния может повлечь возникновение дефектов в виде трещин, расслоений и других внутренних дефектов швов.

На надземных переходах выполнена геодезическая съёмка для оценки прогиба. Прогиб между опорами и в местах с разрушенными опорами находится в пределах максимального значения, которое прописано в СП 86.13330.2014 в таблице 10. На рисунке 1 представлен профиль высотных отметок надземного перехода магистрального газопровода через р. Сунжа.

Таблица 2- Сводная таблица анализа толщинометрии.

	Ср.δ (без НДС), мм	Мин. δ (без НДС), мм	Ср. δ (с НДС), мм	Мин. δ (с НДС), мм
МГ "Грозный-Гойты" переход через р.Сунжа	6,4	6,0	6,3	6,0
МГ "Грозный-Гойты" переход через оросительный канал "Атаги-Гойтинский"	6,4	6,3	6,4	6,3
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Гумс	7,6	7,5	7,5	7,4
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Хумык	7,7	7,6	7,9	7,7
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Хулхулау	7,9	7,7	7,3	7,2
МГ "Новогрозный-Сержень-Юрт" переход через р.Хумык	7,4	7,3	7,2	6,9
МГ "Аксай-Гудермес-Грозный" переход через реку Джалка	7,9	7,8	7,8	7,7
МГ "Аксай-Гудермес-Грозный" переход через реку	7,9	7,7	7,8	7,7

	Ср.δ (без НДС), мм	Мин. δ (без НДС), мм	Ср. δ (с НДС), мм	Мин. δ (с НДС), мм
Аргун				
МГ "Кази-Магомед-Моздок" воздушный переход через реку Терек	14,3	14,0	14,2	14,0
ГП-перемычка "Моздок-Кази-Магомед"- "Аксай-Гудермес-Грозный"	6,7	6,4	6,4	6,2
МГ "Аксай-Гудермес-Грозный" переход через р. Белка	7,5	7,2	7,2	7,1

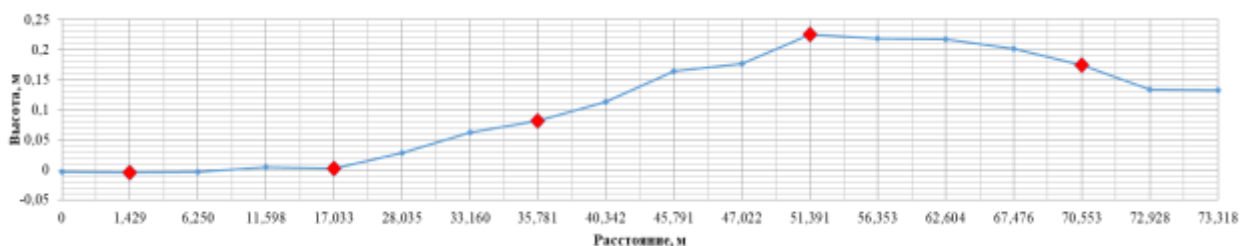


Рисунок 1- Высотные отметки надземного перехода магистрального газопровода.

Далее был проведен расчет на прочность и устойчивость надземных переходов согласно СП 36.13330.2012. Расчетные формулы представлены ниже.

Проверку на прочность надземных трубопроводов следует производить из условия:

$$|\delta_{пр}| \leq \psi_4 \cdot R_2$$

где  $\delta_{пр}$  – максимальные продольные напряжения в трубопроводе от расчетных нагрузок и воздействий, МПа;

$\psi_4$  – коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб; при растягивающих продольных напряжениях ( $\delta_{пр} \geq 0$ ) принимаемый равным единице, при сжимающих ( $\delta_{пр} \leq 0$ ) – определяемый по формуле:

$$\psi_4 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{\delta_{кц}}{R_2}\right)^2} - 0,5 \cdot \frac{\delta_{кц}}{R_2}$$

где  $R_2$  – расчетное сопротивление, МПа, определяемое по формуле:

$$R_2 = \frac{R_2^n \cdot m}{k_2 \cdot k_n}$$

где  $R_2^n$  – нормативное сопротивление растяжению (сжатию) металла труб, принимаемое равным минимальному значению предела текучести, МПа (ГОСТ 10705-80);

$m$  – коэффициент условий работы трубопровода, табл. 1 СП 36.13330.2012;

$k_2$  – коэффициент надежности по материалу, табл. 11 СП 36.13330.2012;

$k_n$  – коэффициент надежности по ответственности газопровода, табл. 12 СП 36.13330.2012;

$\delta_{кц}$  – кольцевые напряжения от расчетного внутреннего давления, МПа, определяемые по формуле:

$$\delta_{кц} = \frac{n \cdot p(D_n - 2\sigma_n)}{2\sigma_n}$$

где  $n$  – коэффициент надежности по нагрузке, табл. 14 СП 36.13330.2012;

$p$  – рабочее давление, МПа;

$D_n$  – наружный диаметр, м;

$\sigma_n$  – номинальная толщина стенки, м.

Максимальные продольные напряжения в трубопроводе:

$$\delta_{пр} = 0,3\delta_{кц} - \alpha E \Delta t \pm \delta_n$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения, табл. 13 СП 36.13330.2012;

$E$  – модуль упругости, табл. 13 СП 36.13330.2012;

$\Delta t$  – температурный перепад;

$\delta_{из}$  – изгибные напряжения, МПа, по формуле:

$$\delta_{из} = \frac{ED_n}{2\rho}$$

где  $\rho$  – минимально-допустимый радиус упругого изгиба, табл. 9.3 СП 86.13330.2014.

Условием прочности в данном расчете является неравенство  $|\delta_{пр}| \leq \psi_4 \cdot R_2$ . Так как данные переходы уже находятся на этапе эксплуатации, то единственным переменным параметром является давление. На рисунках 2 представлены пример графика зависимости запаса прочности от давления для газопровода с номинальным диаметром 530.

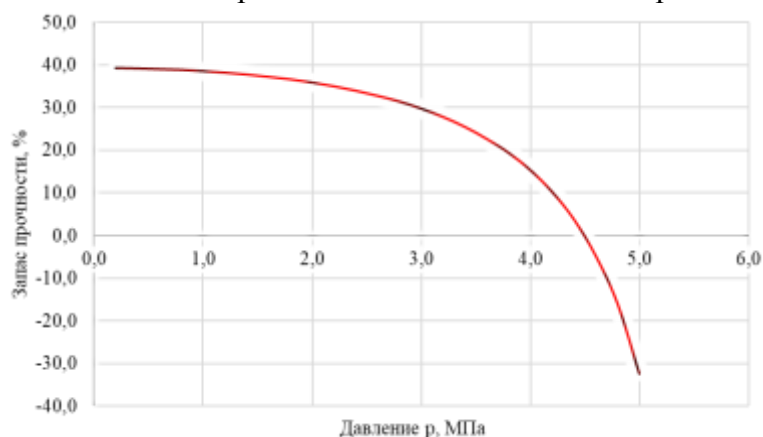


Рисунок 2- График зависимости запаса прочности от рабочего давления (Ду530 мм).

Затем были построены графики зависимостей запаса прочности от толщины стенки для труб диаметром 530 мм, 720 мм и 1220 мм. Минимально допустимая толщина (по СП.36.13330.2012):

$$\sigma_{мин.доп.} = \frac{n \cdot p \cdot D_n}{2(R_1 + n \cdot p)}$$

где  $n$  – коэффициент надежности по нагрузке, табл. 14 СП 36.13330.2012;

$p$  – рабочее давление, МПа;

$D_n$  – наружный диаметр, м;

$R_1$  – расчетное сопротивление растяжению, п.12.1.2 СП.36.13330.2012, м.

Для надземного перехода с диаметром трубы 530 мм расчетная толщина стенки 4,6 мм, для трубы с диаметром 720 мм 4,6 мм, а для трубы с диаметром 1220 мм 9,2 мм. На рисунке 3 представлен пример графика зависимости запаса прочности от расчетной толщины для газопровода диаметром 530 мм.

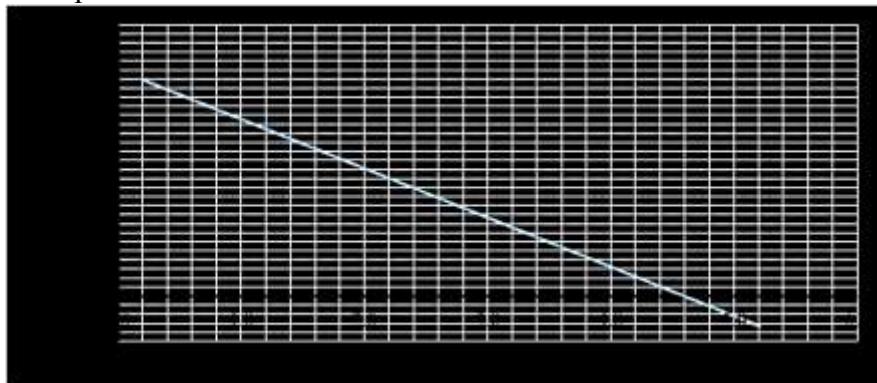


Рисунок 3 - График зависимости запаса прочности от толщины стенки (Ду530 мм).

Далее для определения вероятностного остаточного ресурса была применена функция распределения Вейбулла. Данное распределение используют в анализе отказов и в надежности технических устройств.

Исходными данными для данного расчета являются номинальная толщина стенки, минимальная измеренная толщина, расчетная толщина, срок эксплуатации магистрального газопровода и расчетная принятая толщина. Расчет проводился, согласно руководящему документу РД 26-10-87 «Методические указания. Оценка надежности химического и нефтяного оборудования при поверхностном разрушении». Из данного документа подбираются параметры распределения Вейбулла. После проведения расчета в программе Excel, были получены результаты, представленные в таблице 3. Получены два линейных остаточных ресурса и один вероятностный остаточный ресурс.

Таблица 3- Результаты расчета.

МГ "Грозный-Гойты" переход через р.Сунжа	
Предельная глубина разрушения, мм	3,4
Средняя глубина коррозионного разрушения, мм	1,7
Среднее квадратическое отклонение, мм	0,181
вариация глубин разрушения	0,106
параметр масштаба	1,775
показатель масштаба	21200
максимальная вероятная глубина разрушения, мм	2,9
скорость коррозии средняя, мм/год	0,24
скорость коррозии максимальная, мм/год	0,31
Средний вероятностный ресурс до достижения предельного состояния, лет	1,9
Линейный остаточный ресурс по расчетной толщине, лет	4,9
Линейный остаточный ресурс по принятой минимальной толщине, лет	2,5

После расчета всех 11 надземных переходов с напряженно-деформированным состоянием была получена сводная гистограмма расчетных остаточных ресурсов (рисунок 4).

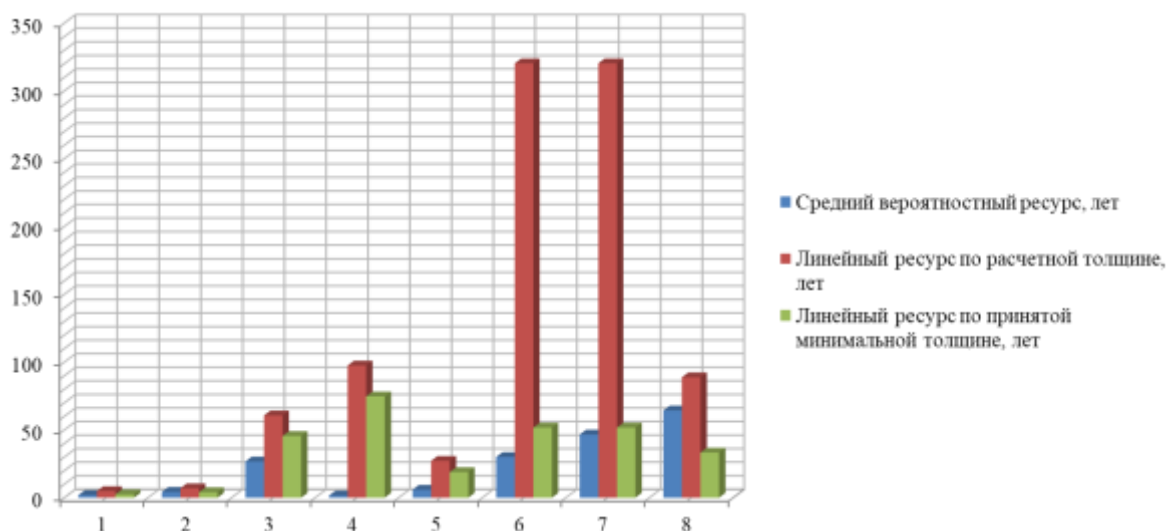


Рисунок 4 – Гистограмма расчетных остаточных ресурсов.



Таким образом можно сделать следующие выводы:

- Выполнен расчет на прочность надземных переходов магистральных газопроводов, получены минимально допустимые давления, выявлена степенная зависимость от запаса прочности;

- Установлена расчетная толщина стенки для различных допустимых давлений, выявлена линейная зависимость;

- Выполнен расчет на определение среднего вероятностного ресурса и двух линейных ресурсов. Получено, что при вероятностном расчете остаточный ресурс в среднем меньше на 75%, чем при линейном.

Вероятностные расчеты дают более реальные сроки безопасной эксплуатации газопроводов. Увеличение количества точек измерения приведёт к повышению доверительной вероятности и к повышению точности расчета.

**Библиографический список:**

1) СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85\* (с Изменением N 1)

2) РД 26-10-87 Методические указания. Оценка надежности химического и нефтяного оборудования при поверхностном разрушении.

3) Волкова И.И., Пластинина Е.В., Прудникова О.М., Хабаева Е.В. Вероятностные методы исследования зависимостей в нефтяной и газовой промышленности: учеб. пособие /– Ухта :УГТУ, 2014. – 135 с.

УДК 517.973

**Задачи, сводящиеся к квадратичным**

Щукина А. А.

Научный руководитель – Тереньтева Е. А.

*Гимназия иностранных языков в г. Ухте*

Для успешной сдачи Единого государственного экзамена по математике необходимо хорошо знать не только материал школьной программы, но и изучить дополнительную литературу. В данной статье рассматриваются решения задач 18 ЕГЭ, относящиеся к разделу «Расположение корней квадратного трехчлена».

Квадратичная функция является одной из самой изученной в школьной программе. Решения многих задач ЕГЭ сводятся к данным функциям, поэтому необходимо хорошо знать ее основные свойства и их геометрическую иллюстрацию.

Квадратичной функцией называется функция вида  $y = ax^2 + bx + c$ ,  $a \neq 0$ , графиком которой является парабола.

Перечислим некоторые свойства:

1. Если  $a > 0$ , то ветви параболы направлены вверх, если  $a < 0$  - вниз.

2. Вершина параболы находится в точке с абсциссой  $x_b = -\frac{b}{2a}$ .

3. График функции пересекается с осью Оу в точке  $y = c$ .

4. Если  $a > 0$ , то функция монотонно убывает на интервале  $\left(-\infty; -\frac{b}{2a}\right]$  и монотонно возрастает на интервале  $\left[-\frac{b}{2a}; \infty\right)$ .

5. Если  $a < 0$ , то функция монотонно возрастает на интервале  $\left(-\infty; -\frac{b}{2a}\right]$  и монотонно убывает на интервале  $\left[-\frac{b}{2a}; \infty\right)$ .

6. Если  $D > 0$ , то парабола пересекает ось  $Ox$  в двух точках; если  $D = 0$ , то парабола касается ось в вершине;  $D < 0$ , то парабола не пересекает ось  $Ox$ .

7. Парабола симметрична относительно прямой  $x = -\frac{b}{2a}$ .

8. Если существует точка  $p$  такая, что  $a \cdot f(p) < 0$ , то  $D > 0$  ( $f(x) = ax^2 + bx + c$ ).

Остановимся на задачах, в которых требуется исследовать расположение корней квадратного уравнения  $ax^2 + bx + c = 0$ .

Пусть  $x_1$  и  $x_2$  - корни квадратного уравнения,  $p$  - некоторое действительное число.

Ответы на вопрос о расположении корней квадратного уравнения дают следующие теоремы.

Теорема 1. Для того чтобы корни квадратного уравнения  $ax^2 + bx + c = 0$  были различны и оба больше заданного числа  $p$ , необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

$$\begin{cases} a > 0 \\ D > 0 \\ x_b = -\frac{b}{2a} > p \\ f(p) > 0 \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} a < 0 \\ D > 0 \\ x_b = -\frac{b}{2a} > p \\ f(p) < 0 \end{cases}.$$

Теорема 2. Для того чтобы корни квадратного уравнения  $ax^2 + bx + c = 0$  были различны и оба меньше заданного числа  $p$ , необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

$$\begin{cases} a > 0 \\ D > 0 \\ x_b = -\frac{b}{2a} < p \\ f(p) > 0 \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} a < 0 \\ D > 0 \\ x_b = -\frac{b}{2a} < p \\ f(p) < 0 \end{cases}.$$

Теорема 3. Для того чтобы корни квадратного уравнения  $ax^2 + bx + c = 0$  были расположены по разные стороны от числа  $p$ , необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

$$\begin{cases} a > 0 \\ f(p) < 0 \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} a < 0 \\ f(p) > 0 \end{cases}.$$

Необязательно запоминать формулировки, достаточно иметь геометрическое представление теорем.

Приведем примеры задач, сводящихся к квадратичным, которые были включены в варианты Олимпиад и ЕГЭ прошлых лет.

1. При каких значениях параметра  $a$  только один корень уравнения  $x^2 - 4x + a = 0$  принадлежит интервалу  $[0; 1]$ ?

2. При каких значениях параметра  $a$  множество решений системы  $\begin{cases} x^2 + (a+4)x + 4a \leq y \\ 3x + y - (2a+4) \leq 0 \end{cases}$  содержит отрезок  $[-2; -1]$  оси  $Ox$ ?

3. Задание 18. ЕГЭ 2018. Найти все значения параметра  $a$ , при каждом из которых

уравнение  $\left|x + \frac{a^2}{x} + 1\right| + \left|x + \frac{a^2}{x} - 1\right| = 2$  имеет хотя бы один корень.

4. Задание 18 (Сб) ЕГЭ 2015. Найдите все значения параметра  $a$ , при каждом из которых множество решений неравенства  $\frac{a - (a^2 - 2a - 3)\sin x + 4}{1,5 + 0,5\cos 2x + a^2} < 1$  содержит отрезок  $\left(-2\pi; -\frac{7\pi}{6}\right]$ .

5. Задание 18 (Восток) ЕГЭ 2013. Найдите все значения параметра  $a$ , при каждом из которых уравнение  $(4\cos x - 3 - a) \cdot \cos x - 2,5\cos 2x + 1,5 = 0$  имеет хотя бы один корень.

6. Задание 18. ЕГЭ 2014. Найдите все значения параметра  $a$ , при которых уравнение  $\frac{5a}{a-3} \cdot 7^{|x|} = 49^{|x|} + \frac{6a+7}{a-3}$  имеет ровно два различных корня.

Приведем решение данной задачи.

Введем новую переменную  $7^{|x|} = t, t \geq 1$ .

1. Если  $t = 1$ , то  $7^{|x|} = 1, |x| = 0 \Rightarrow x = 0$  - единственное решение, что не удовлетворяет условию задачи.

2. Если  $t > 1$ , то  $7^{|x|} = t, |x| = \log_7 t \Rightarrow x = \pm \log_7 t$  - два различных корня.

Введем функцию  $f(t) = t^2 - \frac{5a}{a-3} \cdot t + \frac{6a+7}{a-3}$ .

Переформулируем условие задачи:

При каких значениях параметра  $a$  уравнение  $t^2 - \frac{5a}{a-3} \cdot t + \frac{6a+7}{a-3} = 0$  имеет ровно один корень больший 1?

Рассмотрим два случая:

А) Уравнение  $t^2 - \frac{5a}{a-3} \cdot t + \frac{6a+7}{a-3} = 0$  имеет ровно один корень, если дискриминант равен 0:

$$D = \left(-\frac{5a}{a-3}\right)^2 - 4 \cdot \frac{6a+7}{a-3} = 0 \Leftrightarrow \frac{a^2 + 44a + 84}{(a-3)^2} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} a = -2, \\ a = -42. \end{cases}$$

Подставим в уравнение найденные значения:

1)  $a = -2$ , тогда получим уравнение  $t^2 - 2 \cdot t + 1 = 0$ . Решив его, получим единственный корень  $t = 1$ , что не удовлетворяет условию задачи.

2)  $a = -42$ , тогда получим уравнение  $t^2 - \frac{14}{3} \cdot t + \frac{49}{9} = 0$ . Решив его, получим единственный корень  $t = \frac{7}{3} > 1$ , что удовлетворяет условию задачи.

Б) Уравнение  $t^2 - \frac{5a}{a-3} \cdot t + \frac{6a+7}{a-3} = 0$  имеет два различных корня.

Графиком функции  $f(t) = t^2 - \frac{5a}{a-3} \cdot t + \frac{6a+7}{a-3}$  является парабола, ветви которой направлены вверх.

Для того чтобы уравнение  $t^2 - \frac{5a}{a-3} \cdot t + \frac{6a+7}{a-3} = 0$  имело два корня, один из которых больше 1, а другой меньше 1, необходимо и достаточно, чтобы выполнялось неравенство

(теорема 3):

$$f(1) < 0 \Leftrightarrow 1^2 - \frac{5a}{a-3} \cdot 1 + \frac{6a+7}{a-3} < 0 \Leftrightarrow \frac{2a+4}{a-3} < 0 \Leftrightarrow -2 < a < 3.$$

Ответ:  $a = -42$ ,  $-2 < a < 3$ .

Для решения задач требуется знания свойств квадратичной функции, а также свойства ее графика, расположение параболы в системе координат.

**Библиографический список:**

1. Чуваков В. П. Квадратичная функция. – Ханты-Мансийск, 34 с. Режим доступа : <http://ugrafmsh.ru/>

УДК 622.279.8:519.876.5

**CFD-моделирование газожидкостного распределителя**

Яхина Л.И.

Научный руководитель – Ахметов Р.Ф

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

Присутствие в природном газе механических примесей, жидких углеводородов и влаги снижает эффективность работы газопроводов, способствует усилению коррозии, забиванию линий контрольно-измерительных и регулирующих приборов, а также приводит к истиранию металла.

Чтобы удалить из газового сырья вредные компоненты, непосредственно на месторождении устанавливают газожидкостные сепараторы.

При проектировании современных сепараторов необходимо добиваться максимального извлечения ненужных веществ.

В целях увеличения эффективности предварительной очистки газа от жидкости и механических примесей, повышения качества продукции предлагается высокоэффективное устройство ввода газожидкостной смеси фирмы Sulzer (рис. 1).

Предложенная конструкция предполагает радиальную подачу смеси с одновременным разделением на плоские струи при помощи лопастей. Это позволяет повысить эффективность предварительной сепарации (отделение твердых веществ и жидкости из газа) и снизить унос жидкости вместе с газом за счет уменьшения импульса подачи и снижения скорости потока. Благодаря данной конструкции также достигается равномерное распределение пара по поперечному сечению аппарата.

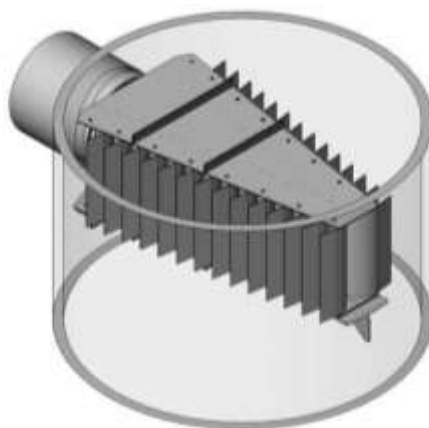


Рисунок 1 – Устройство ввода газожидкостной смеси Schoerpentoeter [1]

Расстояние между двумя лопастями, также их размеры влияют на качество разделения смеси. Однако для моделирования сложной геометрии требуется разбиение на большое количество сеток, что увеличивает время расчета.

Анализ cfd-моделирования данного устройства по входящим потокам чистого пара и парожидкостной смеси представлено в работе [2]. Основной целью является изучение разделения жидкости из входящего потока и профиля скорости пара на выходе из устройства.

По анализу скорости можно судить об уменьшении импульса подачи, что и предусматривает поставленная цель.

Теоретически пар не должен выходить с нижней части устройства, предназначенной для вывода жидкости, но так как cfd-моделирование обеспечивает условия близкие к реальности, поток пара улавливался жидкостью (рис. 2).

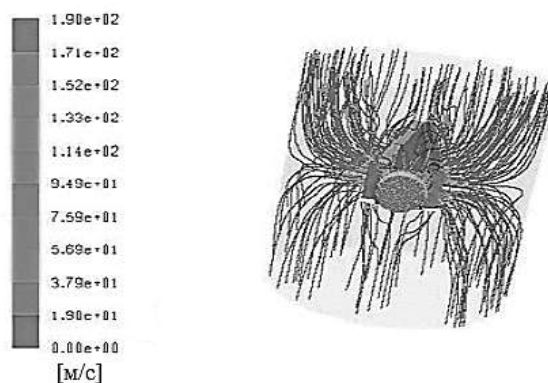


Рисунок 2 – Профиль линий скорости потока питающей смеси

Профиль линий скоростей потока чистого пара, представленный на рисунке 3, показывает, какая часть питающего пара восходит после разделения во вводном устройстве.

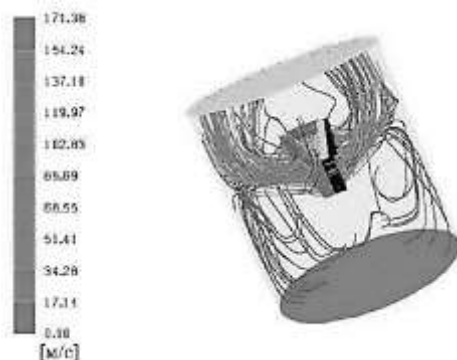


Рисунок 3 – Профиль линий скорости потока питающего пара

Линии парового потока показывают равномерное распределение пара по обеим сторонам вводного устройства [2].

В [3] при изучении газожидкостных распределителей в насадочных колоннах были получены следующие результаты: контур давления и вектор скорости в средней части устройства (рис. 4).

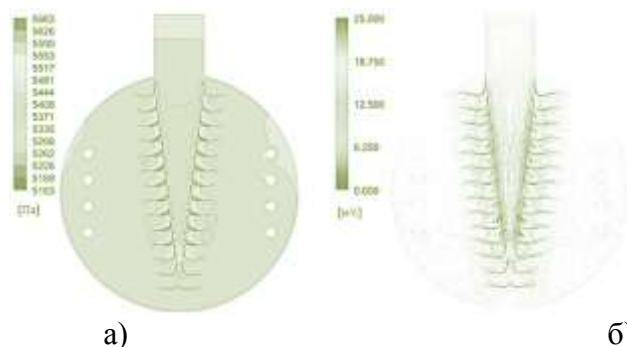


Рисунок 4 - Контур давления и вектор скорости в середине Schoepentoeter (вид сверху)

Относительно равномерный профиль давления наблюдается по площади поперечного сечения (рис. 4а). Как показано на рисунке 4б, скорость газа уменьшается при выходе из Schoerpentoeter, вследствие того, что общая площадь выхода значительно превышает площадь входа. Поток газа эффективно распределяется, т.к. внутреннее пространство Schoerpentoeter становится узким вдоль осевого расстояния [3].

На рисунке 5 представлено сравнение контуров скорости между короткими трубчатыми инжектор (рис. 5а) и Schoerpentoeter (рис. 5б). Контур скорости Schoerpentoeter кажется более однородным, чем у инжектора. Тем не менее, наблюдаются несколько мертвых зон в области впуска газа и на ее противоположной стороне.

В качестве показателей эффективности газораспределителей были использованы различные параметры, среди которых перепад давления и коэффициент распределения. Чем ниже эти показатели, тем лучше распределение газа. Schoerpentoeter показал лучшие значения с точки зрения данных характеристик.

Schoerpentoeter в качестве устройства впрыска газа был применен для улучшения газораспределения [3].

Простота исполнения внутренней части сепараторов позволяет легче их эксплуатировать. Высокоэффективное устройство ввода Schoerpentoeter дает возможность исключить пакет жалюзи, отражатели, циклоны и другие сложные элементы, устанавливаемые в верхней части сепараторов, и ограничиться насадками, улавливающими капли жидкости.

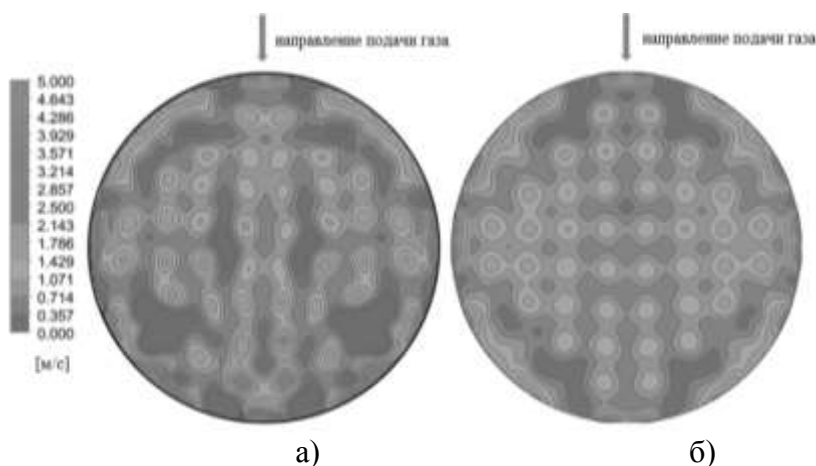


Рисунок 5 – Вертикальный контур скорости

В связи с применением на газоперерабатывающих заводах более совершенного оборудования и технологий с использованием катализаторов ужесточаются требования к очистке газа, поэтому актуально ставить вопрос глубокой очистки природного газа. Одним из способов решения проблемы является моделирование различных коллекторов, нахождение оптимального варианта и его реализация.

#### **Библиографический список:**

- 1 Shell Schoerpentoeter™ and Schoerpentoeter Plus™ | Zulzer [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sulzer.com/en/shared/products/2017/03/28/13/45/shell-schoerpentoeter-and-schoerpentoeter-plus>
- 2 CFD Simulation on Vane Type Feed Inlet Device in a Column [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/265966555\\_CFD\\_Simulation\\_on\\_Vane\\_Type\\_Feed\\_Inlet\\_Device\\_in\\_a\\_Column-\\_Vapour\\_Flow\\_Analysed\\_for\\_Two\\_Different\\_Feed\\_Streams](https://www.researchgate.net/publication/265966555_CFD_Simulation_on_Vane_Type_Feed_Inlet_Device_in_a_Column-_Vapour_Flow_Analysed_for_Two_Different_Feed_Streams)
- 3 Hung H.P. Hydrodynamics and design of gas distributor in large-scale amine absorbers using computational fluid dynamics / H.P. Hung, L. Young-II, H. Sungu, L. Bosup, K. Hyun-Shin // Korean J. Chem. Eng. - p.10

УДК 621.668.2:622.276

**Опыт применения винтовых насосов на месторождениях российской федерации и за рубежом**

Бабаев Э.К.

Научный руководитель: Борейко Д.А

*Ухтинский государственный технический университет*

Винтовые насосы уже более 30 лет успешно применяются по всему миру для добычи тяжелой и легкой нефти, метана из угольных пластов, а также перекачивания вязких, абразивных и деликатных жидкостей. Эффективность и ресурс винтообразного насоса во многом находятся в зависимости от корректности его подбора. Разные эластомеры, профили насоса, погружное и наземное оборудование применяются в зависимости от добываемой жидкости и условий эксплуатации: вязкость и температура жидкости, содержание механические примесей и/или газа, наличие ароматических соединений, интенсивность набора кривизны ствола скважины, давление в пласте, ожидаемый дневной размер добычи и иные характеристики. В критериях падающей добычи, высочайшей вязкости добываемого флюида, значимого содержания механических примесей, аномально больших или же невысоких цифр пластового давления при каждый день увеличивающемся воздействии осложняющих моментов на работу установок механизированной добычи нефти осложняет добычу нефти и снижается эффективность использования установок электроцентробежного насоса. Для осложненных условий эксплуатации скважин одним из наиболее эффективных способов механизированной добычи нефти является использование установок винтовых насосов, которые полностью или частично обеспечивают решение проблем добычи нефти в большинстве случаев осложненного фонда скважин. Также винтовые насосы хорошо подходят для обезвоживания скважин в угольных пластах. Приблизительно за 250 лет до нашей эпохи большой греческий ученый Архимед придумал водоподъемную машину, как Архимедов винт (рисунок 1), воздействие которого базируется на применении силы тяжести и свойствах винтообразной плоскости. [1].

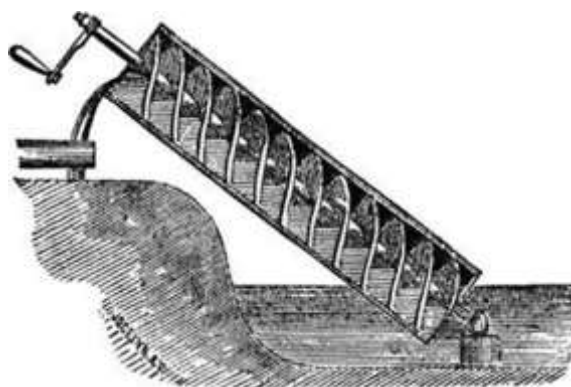


Рисунок 1 – Архимедов винт

Винтовой насос—напор нагнетаемой жидкости создается за счёт выталкивания жидкости винтовым металлическими роторами, которые вращаются агрегата. Существует три вида насосов: одновинтовые, двухвинтовые, трехвинтовые.

Принцип работы винтового насоса: между ротором и статором формируется ряд герметичных полостей. По мере вращения ротора полости перемещаются, что приводит к проталкиванию жидкости снизу вверх показано на рисунке 2[1].

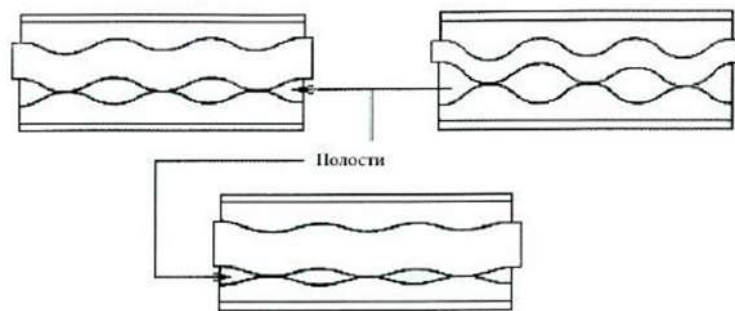


Рисунок 2 – Цикл работы винтового насоса

#### Характеристики винтового насоса:

- ✓ Рабочее давление до 20 Мпа.
- ✓ Максимальная температура перекачиваемой жидкости, 80°C.
- ✓ Диапазон регулирования частоты, 350-1000 об/мин; Диапазон регулирования частоты 350-1000 об/мин.
- ✓ Максимальная вязкость пластовой жидкости 800 сСт.
- ✓ Максимальное объемное содержание свободного газа на приеме насоса 50%.
- ✓ Максимальная массовая концентрация твердых частиц содержание 600 мг/л; Твердость частиц мех примесей, баллов по Моосу 5.

Рассмотрим плюсы и минусы винтового насоса. 1)Плюсы :

- ✓ Равномерность подачи жидкости.
- ✓ Способность самовсасывания жидкости.
- ✓ Превосходная сбалансирование механизмов.
- ✓ Низко-шумная работа, минимум вибрации.
- ✓ Самовсасывание жидкости.
- ✓ Равномерность подачи жидкости.
- ✓ Прост и легок в обслуживании и ремонте.
- ✓ Минимальный износ.
- ✓ Способен работать даже если в жидкости присутствуют твёрдые вкрапления.
- ✓ Низкая возможность поломки рабочих частей.

2)Минусы:

- ✓ По изготовлению оборудования, высокая стоимость работ.
- ✓ Нет возможности регулирования рабочего объема.
- ✓ Запуск в холостую отсутствует — (будет излишний нагрев).
- ✓ Повышенное трение.
- ✓ Плохая функция охлаждения

Проблемы винтового насоса. В случаях остановки насоса и оседания в насосно-компрессорных трубах песка возникают серьезные осложнения при извлечении винтового насоса, рабочие органы винтового насоса могут полностью забиться песком показано на рисунке 3.

Таким образом, необходимым условием эксплуатации скважин, в продукции которых содержится песок, будь то винтовой насос с погружным приводом либо штанговый винтовой насос с наземным приводом, является обеспечение выноса всех механических примесей потоком продукции на поверхность без осаждения в насосно-компрессорных трубах. Для выноса всего песка, поступающего с продукцией скважины, скорость подъема продукции в насосно-компрессорных трубах должна быть не менее чем в 2 раза выше скорости свободного падения песчинок в неподвижной продукции [4].



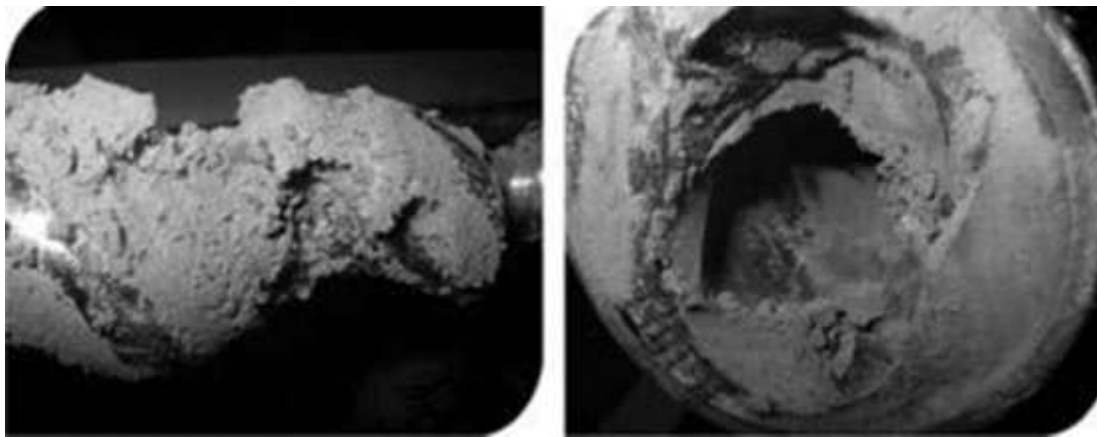


Рисунок 3 – Песок в рабочих органах винтового насоса

Если расчетный дебит оказывается больше дебита скважины, то следует рассмотреть следующие варианты эксплуатации скважины:

- ✓ повышение скорости восходящего потока жидкости за счет уменьшения диаметра насосно-компрессорных труб;
- ✓ увеличение подачи насоса и организация эксплуатации скважины с подливом жидкости в объеме, равном разнице между увеличенной подачей насоса и дебитом скважины;
- ✓ принятие мер к снижению количества выноса песка в скважину (установка в скважине механического и гравийного фильтров, применение химических методов крепления призабойной зоны и др.).

Характерные неисправности винтовых насосов при эксплуатации добывающих скважин: при эксплуатации вследствие ряда причин винтовой насос может подвергаться действию перепада давления, превышающего допустимый для рабочих органов данного насоса. Высокий перепад давления характеризуется появлением твердых, блестящих поверхностей с зазубренными краями вдоль линии уплотнения между эластомером и ротором. В крайних случаях, по всей длине насоса наблюдается обширный вынос больших участков резины показано на рисунке 4[2].



Рисунок 4–Разрушение эластомера статора в результате действия высокого перепада давления

Кроме того, опасность разрушения эластомера статора зависит от частоты вращения ротора: чем выше частота вращения, тем значительнее воздействие силовых факторов на эластомер. Имеет значение и расход добываемой жидкости, поскольку от производительности скважины зависит теплоотдача. Для предотвращения указанных осложнений необходимо выбирать эластомер в соответствии со свойствами и составом скважинной жидкости и посадку ротора в статоре (первоначальный натяг) с учетом разбухания эластомера в перекачиваемой среде. Кроме того, проблему можно решить, применив насос большего объема и эксплуатируя его на низких частотах вращения ротора, а

также применив насос с более высоким допустимым перепадом давления на рабочих органах. Размывание эластомера под высоким давлением. Это явление характеризуется червеобразными порами и канавками показано на рисунке 5.

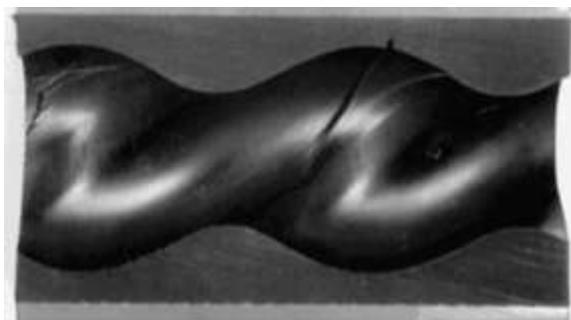


Рисунок 5-Виды повреждения эластомера статора при размывании под действием высокого давления

Его причина заключается в том, что содержащиеся в продукции скважины частицы механических примесей внедряются в эластомер, создавая между ним и твердым ротором каналы малого сечения, через которые под действием перепада давления между полостями нагнетания и всасывания с большой скоростью истекает жидкость. В результате размывающего действия этих струй происходит эрозионный износ эластомера и ротора. Меры по устранению этого явления заключаются в применении эластомера с более высокими характеристиками упругости и более твердого покрытия ротора. В Российской Федерации Талаканнефть в ходе эксплуатации одновинтовых насосных установок с низкоскоростным вентильным приводом в нефтегазодобывающем управлении «Талаканнефть» удалось подтвердить их высокую энергоэффективность. Рассмотрим более подробно результаты промысловых испытаний одновинтовых насосов с металлической рабочей парой. Испытания проводились на месторождении битумных песчаников Joslyn в провинции Альберта (Канада). Месторождение характеризуется сравнительно малой глубиной залегания пласта (менее 100 м) и вязкостью природного битума в пластовых условиях около 1,7 млн Мпа·с. Добыча ведётся методом Sagd. Месторождения разрабатывается парами горизонтальных скважин, расположенных параллельно, друг на другом на расстоянии 5-7 м показано на рисунке 6.



Рисунок 6-Установки винтовых насосов PCM Vulcan на месторождениях Joslyn (Канада)

Испытания подтвердили эксплуатационные преимущества одновинтовых насосов с металлическими рабочими органами для условий добычи месторождений Joslyn. Из 10 действующих добывающих скважин 9 были переведены на эксплуатацию такими насосам. Тем не менее технология изготовления одновинтовых насосов довольно сложна что определяет их высокую стоимость, в связи с этим остается актуальной задача. Поиска альтернативы для добычи нефти в столь экстремальных условиях при применении тепловых

методов воздействия на продуктивный пласт.

Главным недостатком установок винтового насоса являются относительно низкие показатели по наработке на отказ. Такая ситуация связана с более жесткими условиями, в которых эксплуатируются винтовые насосы. Кроме того, «слабым звеном» винтовых насосов является эластомер, разрушение которого чаще всего становится причиной отказа установки.

**Библиографический список:**

1. Валовский В. М. Винтовые насосы для добычи нефти: учебное пособие /В. М. Валовский. – М. «Нефтяное хозяйство», 2012, – 248 с.
2. Бикаев И.И. Опыт применения альтернативных технологий эксплуатации малодебитного фонда скважин в ООО «РН-ЮГАНСКНЕФТЕГАЗ» / Инженерная практика. – 2017. – № 9. – с. 10–12.
3. Бочарников В.Ф. Справочник мастера по ремонту нефтегазового технологического оборудования / В.Ф Бочарников. – М.: Инфра-Инженерия. – 2017. – 576 с.

УДК 622.691

**Снижение расхода газа на собственные нужды компрессорных станций**

Бегинин С.В., Бойко А.И., Ленюский А.И., Черничкин И.А.

*г. Ухта, ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Ухта»*

Часть компрессорных станций ООО «Газпром трансгаз Ухта» работает в суровых северных условиях, где отопительный период колеблется от 260 до 328 дней в году, а температура наиболее холодных суток может достигать -50 °С [1]. В таких условиях требуется большое количество теплоты для поддержания температуры в ангарах газоперекачивающих агрегатов (ГПА) не ниже +5 °С при нахождении агрегата в холодном резерве и не ниже +15 °С при нахождении агрегата в горячем резерве и работе [2] и трехкратного воздухообмена в ангарах [3], что, выдвигает особые требования к системам отопления.

Одним из наиболее современных и экономичных вариантов отопления ангара ГПА является агрегат воздухонагревательный газовый модульный (АВГМ). Он осуществляет не прямой нагрев приточного воздуха в системах приточной вентиляции за счет сжигания природного газа. Основные характеристики АВГМ представлены в таблице 1 [4].

**Таблица 1**

№	Наименование показателя	Значение
1	Минимальная теплопроизводительность, кВт	83,25
2	Номинальная теплопроизводительность, кВт	300
3	Номинальная тепловая мощность, кВт	333
4	Расход приточного воздуха, м <sup>3</sup> /час, не более	8 000
5	Температура подогрева приточного воздуха, °С	23,8...120
6	Коэффициент полезного действия, %	90
7	Расход природного газа, м <sup>3</sup> /час, не более	36
8	Выбросы NO в атмосферу, мг/м <sup>3</sup>	23,8
9	Выбросы CO в атмосферу, мг/м <sup>3</sup>	0,6
10	Температура выхлопных газов, °С	160...290

Не смотря на высокий КПД установки на номинальных режимах, расход топливного газа при работе АВГМ может достигать 864 н.м<sup>3</sup>/сутки на 1 ГПА, что влечет за собой большие выбросы вредных веществ в атмосферу и финансовые затраты на топливо.

Целью данной работы является снижение количества природного газа, потребляемого на собственные нужды, и уменьшение количества выбросов вредных

веществ в атмосферу. Данный эффект можно достигнуть путем повышения КПД за счет предварительного подогрева топливного газа АВГМ и сжигаемого воздуха. Второй путь – это уменьшение количества тепла на отопление ангара ГПА путем предварительного подогрева приточного воздуха от других источников.

Рассмотрим вариант увеличения КПД за счет подогрева топливного газа выхлопными газами АВГМ. Для этого потребуется установить газожидкостные теплообменники на дымовую трубу и линию топливного газа, соединить их двумя линиями циркуляции теплоносителя, установить расширительный бак с группой безопасности, врезать в подающую линию теплоносителя циркуляционный насос, в систему залить антифриз. Антифриз нагреваясь от выхлопных газов будет возвращать часть тепла в цикл работы АВГМ, тем самым повышая КПД агрегата на 1,3-3,4 %, за счет чего расход топливного газа снизится от 0,14 до 1,28 м<sup>3</sup>/час, в зависимости от режима работы агрегата. Учитывая высокую стоимость доработки рентабельность проекта стремится к нулю. Так же стоит отметить низкую надежность системы. В случае выхода из строя циркуляционного насоса возможно закипание системы, срабатывание группы безопасности и потеря антифриза.

Наиболее перспективным вариантом подогрева приточного воздуха является подвод воздуха, сбрасываемого с ГПА, на пример блока воздухо-воздушных теплообменников (БВВТ).

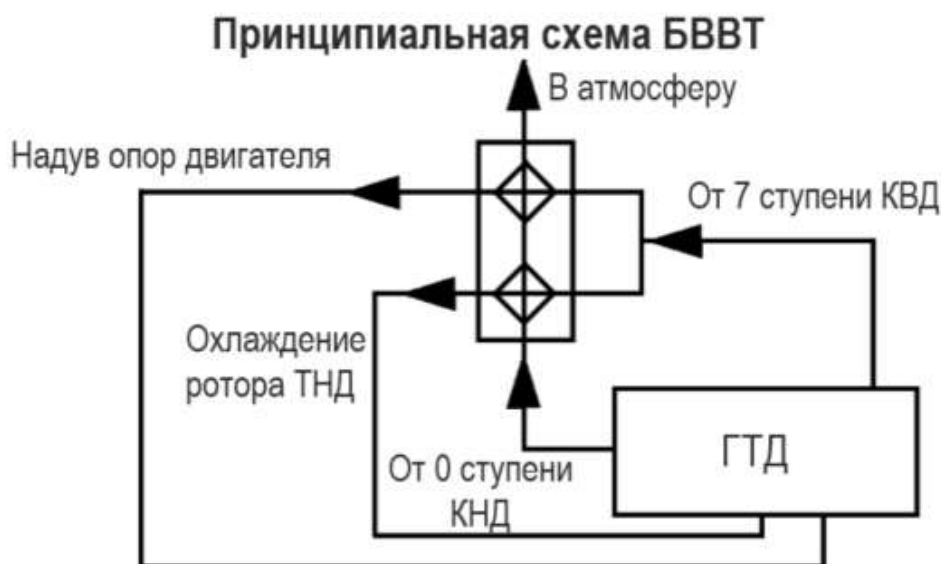


Рисунок 1. Принципиальная схема БВВТ

БВВТ служит для охлаждения воздуха, подающегося на надув опор двигателя и охлаждения ротора турбины низкого давления за счет воздуха продувки, отбираемого за нулевой ступенью компрессора низкого давления. В дальнейшем нагретый воздух продувки сбрасывается в атмосферу. Температура сбрасываемого воздуха выше атмосферного примерно на 74 градуса, при этом в нем отсутствуют природный газ и продукты его горения. Так же воздух прошел очистку на комплексных воздухоочистительных устройствах ГПА. Сравнительная характеристика воздуха, выходящего с БВВТ и с АВГМ, представлены в таблице 2.

**Таблица 2**

Наименование показателя	БВВТ	АВГМ
Массовый расход воздуха, кг/час	7393	9016
Максимальная температура подогрева воздуха, °С	74	120
Номинальная теплопроизводительность, кВт	172,5	300

Для подвода воздуха от БВВТ до АВГМ требуется трассировка утепленного воздуховода длиной 25 метров квадратного сечения (450 мм), а в помещении ангара необходимо поставить шибер с электроприводом для регулировки распределения потоков воздуха. Подвод воздуха в АВГМ нужно осуществить в полость за фильтрами очистки приточного воздуха и перед нагнетающим вентилятором, что обеспечит дополнительное разряжение по воздуховоду и снизит потери воздуха.

После пуска ГПА на кольцо и до загрузки ГПА в магистраль шибер находится в закрытом положении. При разгрузке ГПА из магистрали или при прохождении сигнала останова (АО, ВНО, НО) шибер переходит в закрытое положение. При нахождении агрегата в магистрали положение шибера регулируется электроприводом для поддержания в ангаре температуры не ниже  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В случае полного открытия шибера и температуры в ангаре ниже  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит пуск в работу горелок АВГМ. Таким образом мы используем горелки АВГМ только в случае сильных морозов и нахождении ГПА в резерве. Так же данная схема подвода воздуха продувки БВВТ в АВГМ обладает наибольшей надежностью, в случае заклинивания шибера в закрытом положении запираение воздуха с БВВТ не произойдет и, как следствие, перегрев ротора ТНД, а АВГМ перейдет на забор приточного воздуха с улицы с подогревом горелками, то есть все системы будут работать в штатном режиме. В случае заклинивания шибера в открытом положении будет происходить плавный рост температуры в ангаре вместе с ростом температуры наружного воздуха. Для исключения перегрева ангара ГПА предлагается ввести предупредительную уставку по температуре воздуха в ангаре на уровне  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которая позволит минимизировать человеческий фактор и своевременно принять меры и по перестановке задвижки в закрытое положение.

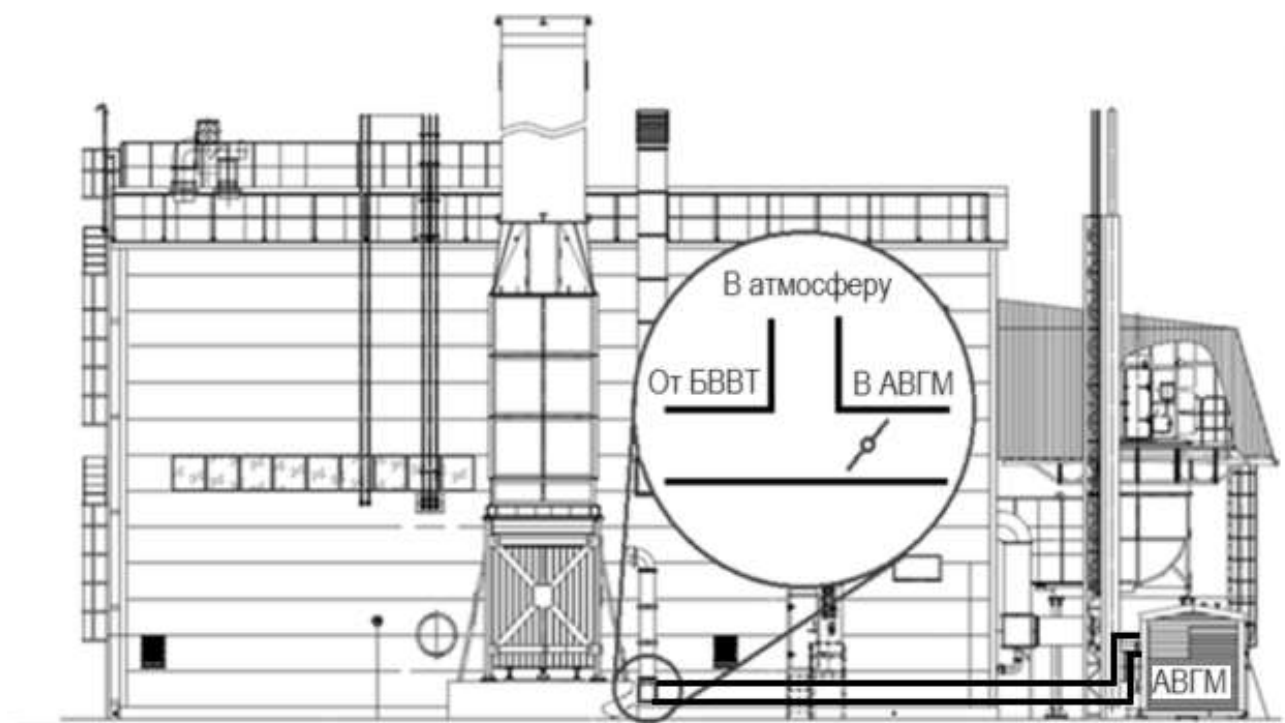


Рисунок 2. Принципиальная схема прокладки воздуховодов от БВВТ до АВГМ

Был выполнен расчет данной доработки на примере ГПА ст. №14 КС-43 Гагарацкая с учетом среднемесячной наружной температуры [1]. При внедрении данной доработки затраты составляют 200 тысяч рублей, экономия газа за 2017 год составила бы  $45,7\text{ тыс. м}^3$ , что эквивалентно сумме более 160 тысяч рублей с одного ГПА, снижение

выбросов NO в атмосферу на 11 964 мг, CO – 302 мг. Срок окупаемости проекта 2 года.

**Библиографический список:**

1. Строительные нормы и правила: СНиП 23-01-99. Строительная климатология: нормативно-технический материал. – Москва: 2017.
2. Агрегат газоперекачивающий ГПА-25М-02 «Урал» Руководство по эксплуатации. Часть 2. Инструкция по эксплуатации ГПА-25М-02.0000-000 РЭ1. ( – Пермь: ООО Искра-турбогаз, 2010. 163 с.).
3. ВРД 39-1.8-055-2002 Типовые технические требования на проектирование КС, ДКС и УС ПХГ.– Москва: ОАО Газпром, 2012.
4. Агрегат воздухонагревательный газовый модульный АВГМ-400М. Руководство по эксплуатации АВГМ-400М-04.0000-000РЭ. ( – Полозна: ООО НПФ «Теплоэнергопром» 2011. 55 с.).

УДК 622.276.054.4

**Новые направления в разработке конструкций насосных штанг**

Борисов А.О.

Научный руководитель – Уразаков К.Р.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

Насосные штанги начинают свою историю в XIX веке. Именно в это время начинают появляться первые деревянные насосные штанги, которые стали началом новой эры добычи нефти. Сырьем для изготовления деревянных штанг служило дерево гикори, а также, популярностью пользовался и американский белый ясень. Эти деревья дают тяжелую, гибкую, прочную древесину. Штанги из данной древесины отлично подходят для добычи нефти на малой глубине. На каждую штангу устанавливался специальный металлический наконечник. Соединялись штанги между собой завинчиванием. Также использовалось без резьбовое соединение штанг - металлическим без резьбовыми замками, но такой способ не давал нужной надежности и штанговая колонна быстро выходила из строя. И по сей день деревянные насосные штанги (ДНШ) из белого ясеня производят и используют в добыче, в большей степени в водяных скважинах на территории США. Что намного дешевле и рациональнее, чем использование металлических насосных штанг при добыче воды.

Так бы ДНШ и пользовались своей популярностью, если бы человечеству не потребовалось добывать больше нефти, и добывать ее с глубин больше 450, 600 метров. Именно тогда и появилась нужда в более прочных, износостойчивых, выдерживающих высокое внутреннее напряжение штангах. И в 1880-1890 годах на замену ДНШ стали приходить насосные штанги из металла. Металлические насосные штанги (МНШ) многое позаимствовали от своих предшественников. Однако способы соединения штанг пришлось изменить, так как изменился материал изготовления, а также металлическая штанга оказалась тяжелее деревянной. Нужны были новые способы скрепления насосной штанг. С конца XIX века начинает появляться большое количество способов соединения МНШ. Большинство насосных штанг для добычи нефти изготавливаются с резьбовым соединением. Это сложная и трудоемкая многоступенчатая технология. Для упрощения соединения появляется метод изготовления насосных штанг, предусматривающий использование калиброванных прутков и отдельно изготовленных головок, с их соединением сваркой трением для цельнометаллических штанг и электродуговой сваркой для полых насосных штанг.

Еще один вид насосных штанг – полые. Эксплуатация данных штанг требует наличие устьевого оборудования: гибкие шланги для перекачки добываемой жидкости и полые полированные штоки. Эти штанги применяют для подачи ингибиторов коррозии, также в скважинах с повышенным выносом песка, избегая осложнений с отложением песка. Но данный тип штанг не применяют для высокодебитных скважин, так как происходит значительная потеря давления во внутренней полости штанги.

Использование стальных скважин для глубоких скважин существенно снижают эффективность добычи нефти. Сам вес стальной штанговой колонны очень велик, соответственно она испытывает большие нагрузки под собственным весом, что часто приводит к напряжениям, превышающим допустимые. Также коррозионно-активная среда глубоких скважин приводит данный вид штанг к ускоренному усталостному разрушению. Возникла необходимость разработки штанги с легким весом и способности устоять к коррозии.

Для уменьшения вероятности усталостного обрыва штанговой колонны выдвинули новое решение – предварительно напряженные насосные штанги. Данный вид штанг изготавливается из особого хромомолибденового сплава стали с термообработкой нормализации и отпуска. Вдобавок такие штанги упрочняют высокочастотным процессом, что приводит к образованию на поверхности штанги двойной структуры металла. Стандартные насосные штанги имеют тенденции к обрывам из-за зарождения трещин, начинающихся с поверхности под напряжением, слой сжатия на поверхности напряженных штанг остается сжатым, даже при повышенных растягивающих нагрузках.

Хром-молибденовые насосные штанги представляют собой промежуточный класс между штангами типа D и высокопрочными штангами типа EL. Этот вид штанг обладает более высокой стойкостью к сульфидному растрескиванию, чем никель-хром-молибденовая, которая использовалась для изготовления высокопрочных насосных штанг.

Область соединения штанга-муфта является наиболее уязвимым звеном в колонне, подвергаясь циклическим нагрузкам в агрессивных условиях. Непрерывная колонна без муфт, nipple и соединительных узлов, в отличие от обычной колонны штанг, могла бы продлить межремонтный период эксплуатации скважины. Тип таких колонн называется непрерывными штангами или «COROD». Материал изготовления непрерывных штанг и обычных одинаков. Различие в том, что непрерывная колонна собирается заранее из ступеней разного размера сваркой, а уже потом наматывается на специальный барабан для транспортировки на скважину. Так как основная доля обрывов колонны простых штанг приходится на область их соединения, непрерывная колонна имеет преимущество, за счет отсутствия соединительных узлов. Также отсутствие муфтовых утолщений в непрерывной колонне вызывает меньшее гидравлическое сопротивление, что позволяет использовать их в насосных трубах меньшего диаметра. Кроме того, непрерывная колонна штанг легче колонны обычных, что соответственно уменьшает напряжения в штанге и нагрузку на привод, что в свою очередь сказывается на эффективности добычи нефти. Но для эксплуатации такого типа насосных штанг требуется специальное оборудование для ремонта и обслуживания в полевых условиях. Спуско-подъемные операции данного типа штанг могут быть проведены при помощи специальных тяговых модулей, непрерывно за короткий срок. Недостатком же является то, что сварные швы, используемые при соединении штанг, могут спровоцировать разрушение из-за эксплуатации в незащищенной от коррозии среде.

В 1960-х годах был разработан новый тип непрерывной насосной штанги из металлического каната, имеющего в составе непрерывного пучка 37 проводов из стали повышенной прочности и покрытый нейлоновым слоем, для защиты от истирания. Масса такой колонны в два раза легче колонны обыкновенных штанг. Для эксплуатации такого вида колонн требуется специальный насос или подходящее утяжеленные штанги для предотвращения сжимающих сил в канате. Но данный вид штанг не подходит для современных глубоких скважин, так как откачиваемая жидкость обладает высокой коррозионной активностью. Поэтому без решения вопроса о жесткости каната и сопротивлении усталостной прочности эти штанги совершенно бесполезны.

В 1975 была изобретена, а в 1977 введена в серийное производство стеклопластиковая насосная штанга. Штанга состоит из стержня и двух стальных наконечников, данная форма штанги предусматривая прочное соединение наконечника со стержнем. Однако способность стеклопластикового стержня к растяжению, не дает возможности использовать стеклопластиковые штанги во всей колонне. Поэтому данный вид штанг используют

совместно со стальными. Их комбинированная колонна имеет в 2 раза меньше веса обычной стальной. Облегчение веса колонны позволяет спускать насос на большую глубину, не повышая напряжение в штангах. Но появляется снижение производительности из-за возрастающей величины растяжения штанг. Эффективное использование стеклопластиковых штанг достигается при минимальной длине хода и максимальной частоте качаний. Стеклопластиковые штанги дороже стальных, но их вес снижает общий вес колонны, а значит уменьшает энергозатраты на добычу. Также устойчивость к коррозии продлевает их срок службы.

Имеются разработки, по совершенствованию конструкции самой штанги и материалов из которых она изготавливается, выполненные на сегодняшний день на уровне изобретения. В 1969 году в США запатентована конструкция (4205926) канатно-защищенной насосной штанги, для ее изготовления подходит как пластик, сталь, стеклопластик, а также канат такой же длины. Расплавленный металл заливается в форму для изготовления штанги, в которой уже предварительно зафиксирован канат, и при затвердевании закрепляет канат. Такая конструкция штанги позволяет сохранять целостность штанговой колонны при обрыве тела штанги, за счет присутствия в ней каната. Что значительно облегчает процесс вылавливания остатка колонны при обрыве.

Конструкция сварной насосной штанги запатентованной в США в 1989 году США №4796799 предполагает то, что процесс изготовления включает сварку тернием центрального тела штанги с концевыми заготовками из разных материалов и посадку концов.

Еще один метод изготовления сварной насосной штанги, запатентованной в СССР (SU 1318343 A1), подразумевает применение соединения сваркой трением по торцам высаженного утолщения стержня с заготовками головок. Сама головка изготовлена с термообработкой – закалкой с высоким отпуском, что обеспечивает механические свойства выше, чем у стержня штанги.

В ТатНИПИнефть (RU 2376443 C1) был разработан способ изготовления насосной штанги, включающий в себя изготовление полой насосной штанги, а также установку внутрь нее стержня с фиксацией его кольцевыми упорами. После фиксации стержня кольцевыми упорами в полой штанге производят растяжение внутреннего стержня посредством приложения растягивающей нагрузки к полой штанге в пределах упругости материала полой штанги с последующим снятием растягивающего напряжения.

Способ, запатентованный в РФ (RU 94030097), позволяет уменьшить продольное усилие в 1,9-2,6 раз. Он подразумевает повышение усталостной прочности насосной штанги, после термической обработки всей штанги и после посадки головок штанги, правкой ее продольным нагружением и кручением, а в конце, механическую обработку высаженных головок штанги.

Патент (RU 2329129 C2), предполагает изготовление штанги из прутка с высаженными бобышками и предварительно насаженными на них накидными гайками. Для создания колонны штанг используют соединительные втулки с наружной резьбой. Такие насосные штанги позволят повысить свою надежность за счет уничтожения отрицательных эффектов, появляющихся при высокотемпературной посадке, а также снижается трудоемкость изготовления штанг.

Совершенствует предыдущий патент (RU 2329129 C2), в области изготовления стеклопластиковых стержней, патент под номером (RU 97763 U1), а именно, для получения соединения в головке, соединяют стержень с металлической втулкой. Стержень из стеклопластика значительно облегчает конструкцию, а посаженные с натягом втулки обеспечивают высокую соосность. Посадка с натягом обеспечивается путем предварительно нагретых до посадки для увеличения, а также за счет использования втулок, изготовленных из стали с эффектом памяти, которые предварительно подвергают закалке и последующей деформации для увеличения диаметра посадочного отверстия. После посадки втулки снова нагревают, для развития обратного мартенситного превращения.



Конструкция штанги по патенту (RU 86647 U1) представляет из себя составную штангу, состоящую из прутка и резьбовых головок с внутренней и внешней резьбой. Перед соединением концов прутка с резьбовыми головками выполняют с конической или простой резьбой без высаженных бобышек. Это делается для того, чтобы снять напряжение и повысить соосность штанг. Такие резьбовые головки позволяют соединять колонну штанг без промежуточных деталей, а также могут повысить прочность и соосность соединения штанги, благодаря использованию более дорогих материалов.

**Библиографический список:**

1. Ришмюллер Г., Майер Х. Добыча нефти глубинными штанговыми насосами. – Терниц, Австрия: Шёллер-Блекманн ГмбХ, 1988. – 150с.
2. Бахтизин Р.Н., Уразаков К.Р., Ризванов Р.Р. Новая конструкция насосной штанги // Нефтегазовое дело. – 2011. - №4. – С. 66-73.
3. Гикори – Википедия [электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Гикори>  
УДК 622.276.057

**Разработка комплекса для механизации расстановки свечей БУ 4000/250 ЭК-БМ с системой верхнего привода**

Булатов Т.А.

Научный руководитель – Коннов Ю. Д.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

На сегодняшний день в мире нефтегазового бизнеса существует множество проблем, связанных с разработкой и применением новых решений и технологий в производстве.

В связи с санкциями, приобретение оборудования за рубежом обходится заказчику в довольно-таки крупную сумму, однако нынешний спрос на рынке требует кардинальных мероприятий по пересмотру существующего оборудования и удешевления способов бурения скважин, добычи нефти и газа, не снижая заданных темпов предшествующими оборудованиями и сохраняя требования по безопасности и экологичности. И для того, чтобы повышать качество и скорость бурения необходимо применять новые технологии, использовать современные буровые станки и инструменты. Важно отметить, что чтобы отечественное оборудование нашло свое место в производстве, оно должно быть либо дешевле своих иностранных аналогов (без потери качества), либо превосходить их по качеству [1].

Буровая установка – сложный комплекс агрегатов, машин и механизмов, выполняющих различные, но связанные между собой функции в процессе бурения скважины. Оборудование установки размещено в следующих основных функциональных блоках:

- приемном мосту;
- вышечно-лебедочном;
- циркуляционной системы;
- насосно-компрессорном;
- электрооборудования.

Согласно проекту, модернизация некоторых узлов вышечно-лебедочного блока и внедрение механизма расстановки бурильных свечей благоприятно сказывается на показателях строительства нефтяных и газовых скважин при выполнении спуско-подъемных работ.

Спуско-подъемные операции (СПО) относятся к наиболее трудоемким работам в бурении. На них приходится около 40 % всего времени, затрачиваемого на строительство скважины. Механизация этих работ в бурении является наиболее эффективным средством совершенствования их организации [2].

Предлагаемое совершенствование процесса СПО возникло в связи с технологическим прогрессом выпускаемого оборудования, появлением нового, более дешевого и надежного в

эксплуатации оборудования, а также повышением требований к эксплуатации буровых комплексов. Состояние рынка таково, что требуется оборудование способное обеспечить высокие показатели эксплуатации, надежности при минимальных финансовых и физических затратах [3].

Работа ведется совместно с ООО «Уралмаш НГО Холдинг», и разрабатывается данный комплекс с привязкой к буровой установке 4-го поколения БУ 4000/250ЭК-БМ. Основные цели – облегчение труда верхового рабочего и помощников бурильщика, увеличение скорости бурения скважин за счет сокращения затрат времени на СПО, что приведёт к финансовой экономии.

Проведен анализ технических параметров и показателей буровой установки БУ 4000/250 ЭК-БМ с системой верхнего привода, в ходе которого установлено, что на сегодняшний день система верхнего привода не доработана в плане её эффективного использования при СПО и механизация процесса расстановки бурильных труб на подсвечник и обратно при бурении скважин требует особого внимания.

В рамках данного проекта представляется механизм (рисунок 1) с абсолютно новым принципом работы, позволяющий улучшить основные показатели работ буровых бригад при бурении нефтяных и газовых скважин (время, затрачиваемое на СПО, уровень травматизма, уровень ручного труда при СПО).

Использованием данной механизации в связке с системой верхнего привода планируется:

- сократить время на проведение СПО;
- минимизировать риски для жизни членов буровых бригад;
- получить экономический эффект в рамках внедрения механизма расстановки свечей;
- повысить культуру производства при бурении нефтяных и газовых скважин.

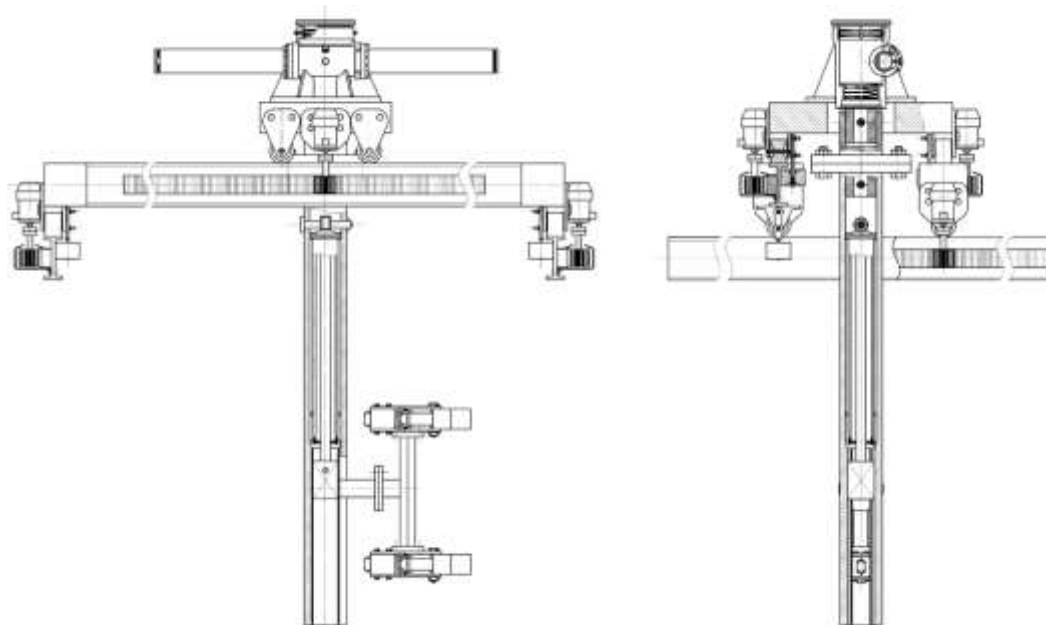


Рисунок 1 – Комплекс механизации расстановки свечей

Функции верхового рабочего сведутся к дистанционному управлению системой и автоматическим элеватором непосредственно на рабочей площадке, что обеспечивает его безопасность при нефтегазопроявлении.

Механизм расстановки свечей планируется изготовить в виде двух составляющих (рисунок 2):

- основной механизм перемещения, монтируемый на балкон верхового;
- система повтора движения, установленная ниже основного механизма перемещения

(приблизительно, на высоте 4-х метров от рабочей площадки). Ее основная функция – удержание и сопровождение бурильной свечи во время ее перемещения и установки. Данная система включает в себя телескопическую руку, датчики повтора движения (лазерные приемники и лазерные передатчики) и другие вспомогательные устройства.

Указанный выше механизм также включает в себя:

- направляющие;
- систему роликов;
- приводную часть;
- рабочая тележка;
- механизм поворота;
- рабочий орган спуска и подъема свечи (гидроцилиндр);
- система трубных захватов.

Установлено, что, эксплуатируя механизм расстановки бурильных свечей в связке с системой верхнего привода при бурении нефтяных и газовых скважин, значительно ускорится и облегчится процесс строительства скважин.

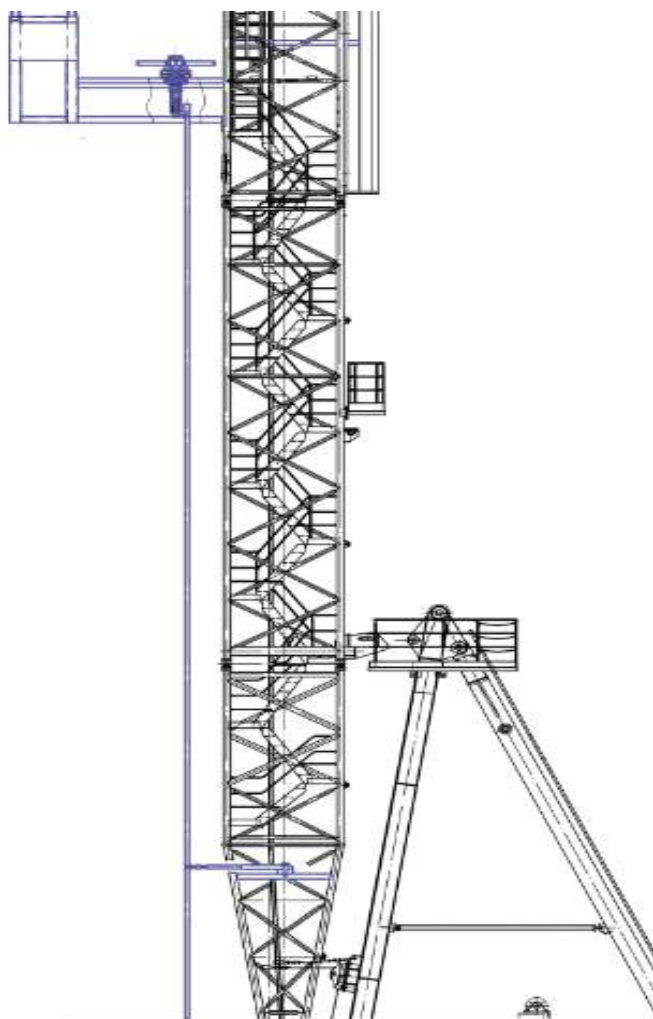


Рисунок 2 – Общий вид

Также были проведены расчеты технико-экономических показателей в рамках внедрения механизированной системы расстановки свечей. При сокращении затрат времени СПО на 10% за счет замены ручного труда механизмом, а также достижения возможности выполнения двух параллельных процессов (расстановка свечи на подсвечник и спуск системы верхнего привода за следующей свечой к столу ротора), получаем величину экономического эффекта, равную 6 400 тыс. руб./год. Срок окупаемости при внедрении разработки составляет 1,2 года.

При применении данной разработки снижается средняя продолжительность спуско-подъемных работ в рамках бурения одной скважины с 8-ми до 7-ми суток.

Также при внедрении данной разработки в производство частично решаются проблемы обеспечения безопасных условий труда, а именно:

- высокая доля ручного труда при бурении скважин;
- высокий уровень травматизма;
- значительный усталостный фактор рабочих.

#### **Библиографический список:**

1. Булатов Т.А., Комплекс для механизации расстановки свечей буровых установок с верхним приводом производства «Уралмаш-НГО». - Сборник материалов научно-практической конференции: тезисы конференции, XII «Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов». - РГУ НиГ им. Губкина. – М. - 2017. – с. 105-106.

2. Гусман А.М., Порожский К.П. Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование. – Екатеринбург: УГГУ, 2013. – 264-271 с.
3. Ермаков С.Ю., Коннов Ю.Д. Модернизация механизма захвата и расстановки свечей на буровой установке. –Уфа: УГНТУ, 2014. 171-172 с.

УДК 622.279. 23

**Анализ патентной и научно-технической информации в области газовых сепараторов**

Гуков А.В.

Научный руководитель: Шайдаков В.В.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

Газосепаратор – нефтегазовое оборудование, которое используется на финальном этапе очистки природного и нефтяного попутного газа от жидкости и механических примесей.

Газовый сепаратор представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд, объем которого зависит от количества, проходящего через него газа. Газ вводится в среднюю часть газосепаратора, где проходя сначала коагулятор, а затем сетчатую насадку, освобождается от капелек, содержащихся в нём жидкости, и выводится из верхней части оборудования. Жидкая и твердая фаза отделяются и стекают вниз газового сепаратора, и далее по мере накопления сбрасываются в дренажную ёмкость. Уровень конденсата в сепараторе контролируется с помощью уровнемера.

В данной статье анализируется патентная и научно-техническая информация по газовым сепараторам для изучения тенденции развития рынка оборудования для очистки газа.

Источники информации для поиска научно-технической информации: 1) базы данных электронной библиотеки: <https://elibrary.ru/defaultx.asp>, страна поиска информации: Россия; 2) базы данных электронной библиотеки: [www.princeton.edu](http://www.princeton.edu), страны поиска информации: США, Китай, Европа.

Источники информации для поиска патентной информации: базы данных Европейского Патентного ведомства (European Patent Office) [ep.espacenet.com](http://ep.espacenet.com), страны поиска патентной информации: Россия, Китай, США, Европа. Количество опубликованных патентов: 1832 шт.

Количественное соотношение видов научной информации с 2008 по 2017 гг. представлено на рисунке 1.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что одними из первых стран-патентообладателей в области газовых сепараторов стали США и Китай в 2014 году и 2017 году соответственно.

Анализом и усовершенствованием больше всего занимаются такие компании как: «ALFA LAVAL CORPORATE AB», находящаяся в США; в Китае - «GUANGDONG JIADE ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY CO., LTD.», в Европе - «Atlas Copco Airpower», в России патенты предоставляют в основном физические лица.

Было проведено исследование по базе научной электронной библиотеке - <https://elibrary.ru/defaultx.asp>. Количество публикаций представлено на рисунке 2.

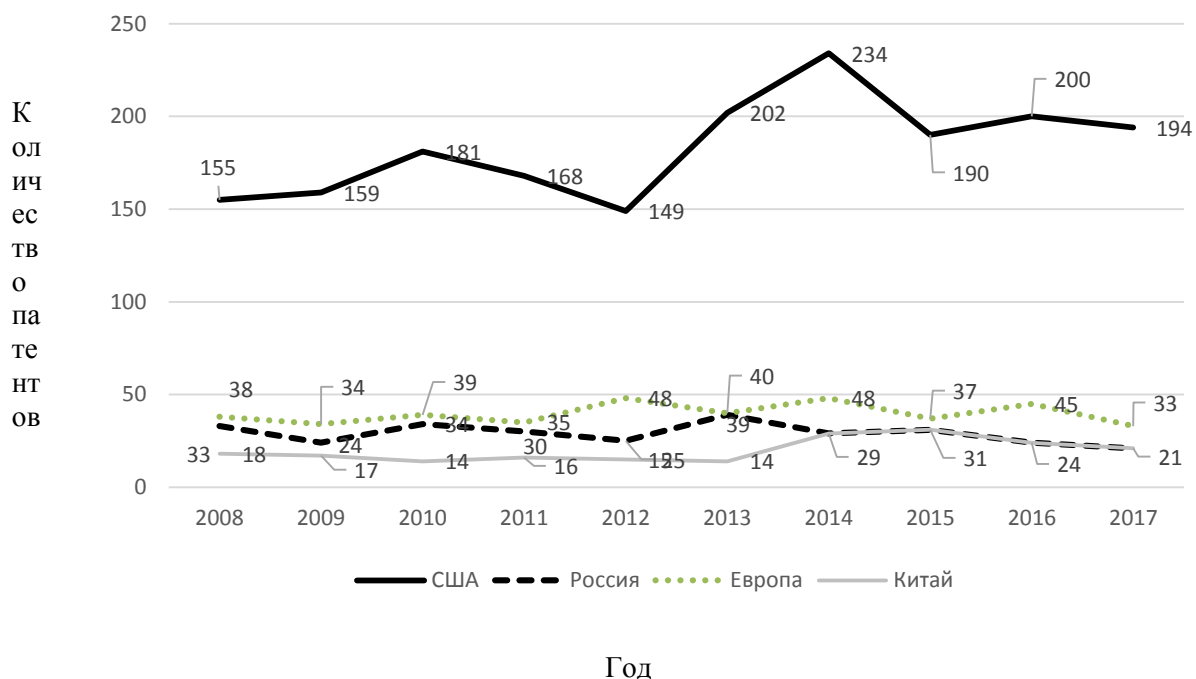


Рисунок 1 – Количество опубликованных патентов по газовым сепараторам

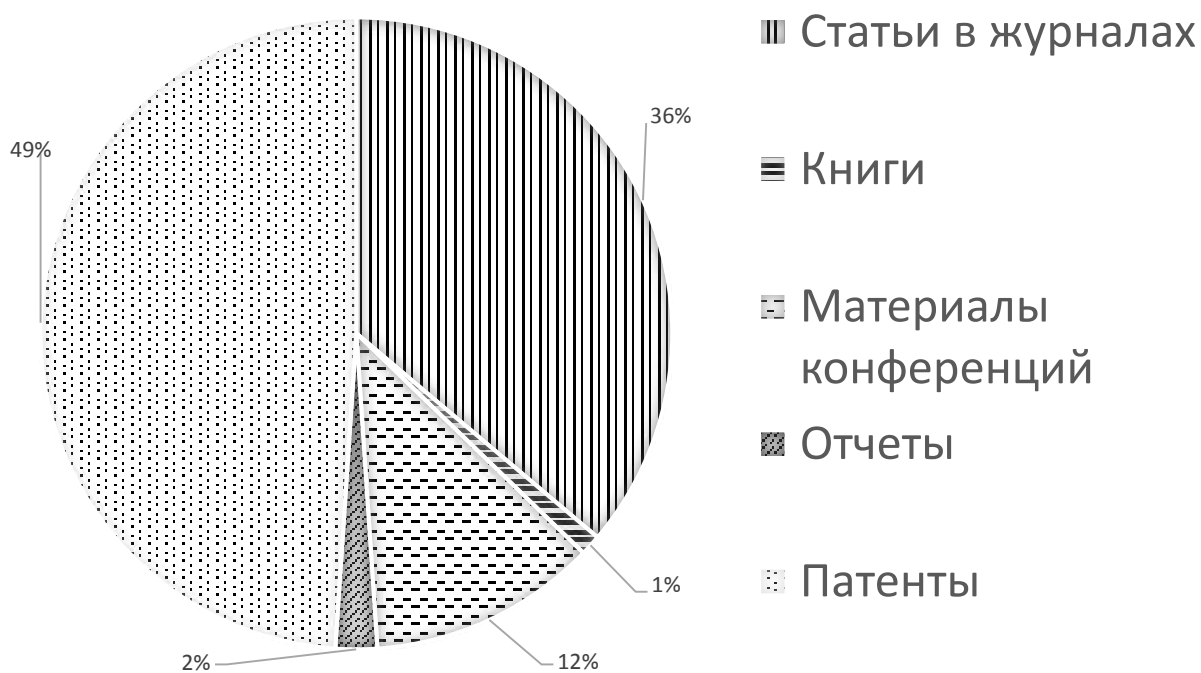


Рисунок 2 – Количество публикаций по газосепараторам в России в период с 2008 по 2018 гг.

На рисунке 3 представлен график, показывающий опубликованные данные с 2007 по 2018 год по России.

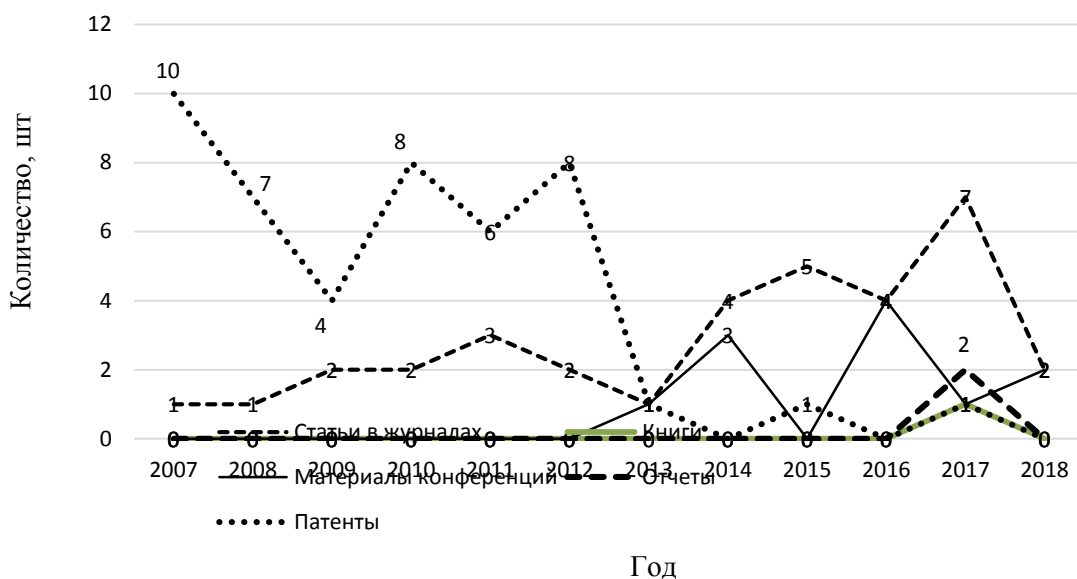


Рисунок 3 – Количество научно-технических публикаций по газовым сепараторам в России

По результатам анализа можно заключить, что по газовым сепараторам больше всего публикуются статьи в журналах, патенты и материалы конференций по данной теме.

Результаты проведенных исследований по зарубежным публикациям по газовым сепараторам по базе научной электронной библиотеки показаны на рис 4, 5.

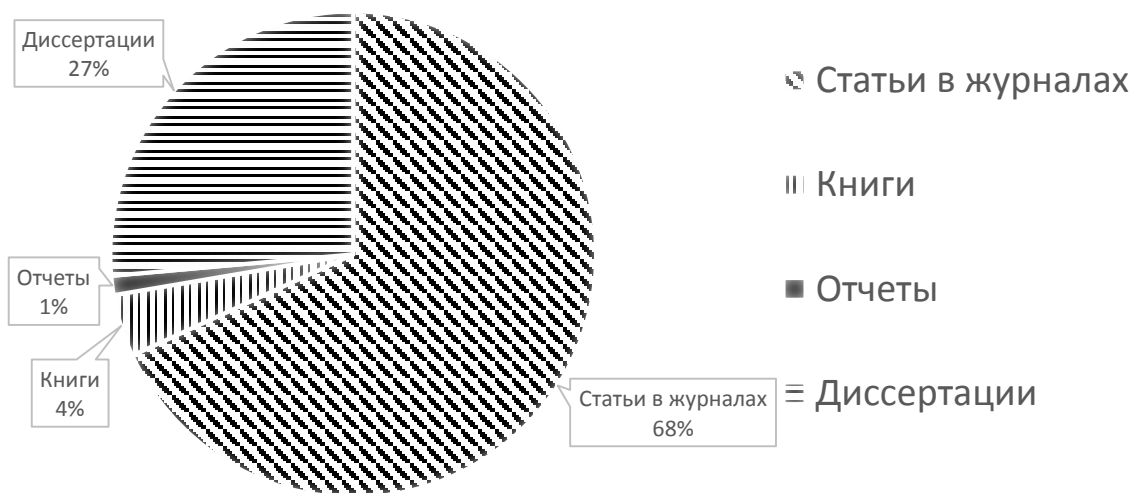


Рисунок 4 – Количество публикаций по газовым сепараторам за период с 2008 по 2018 гг. в США, Китае и Европе.

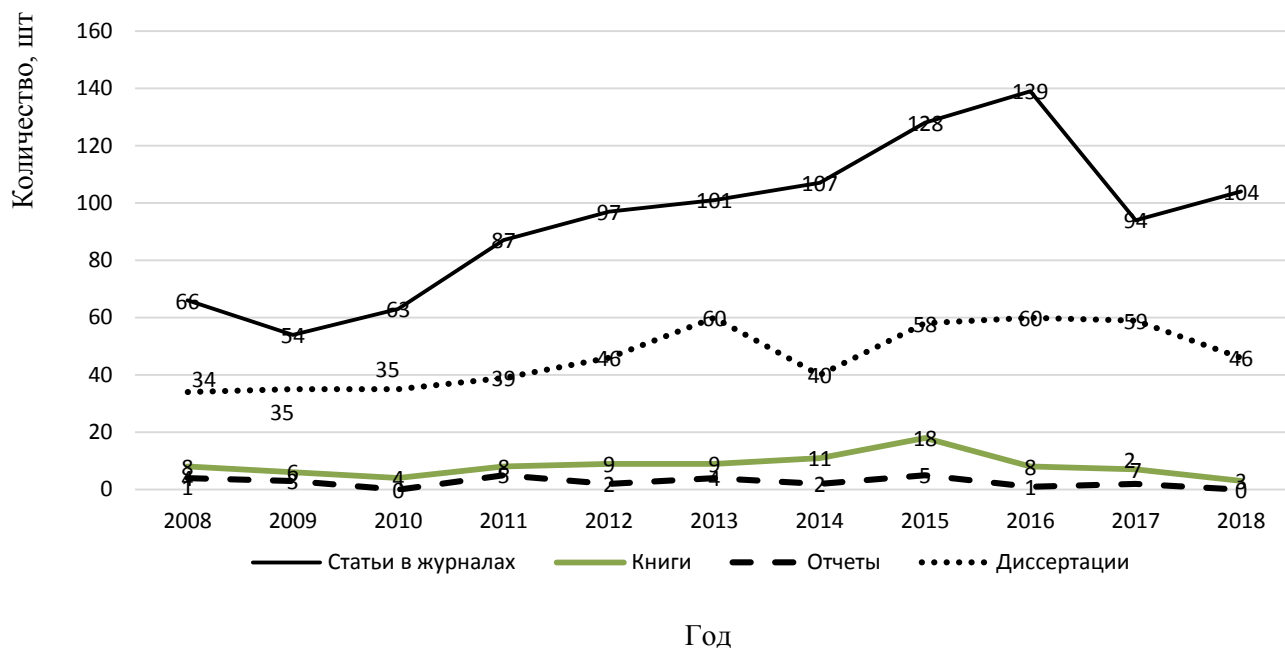


Рисунок 5 – Количество публикаций научно-технической информации с 2008 по 2018 гг. по США, Китаю и Европе

По базам данных научной электронной библиотеки Принстонского исследовательского университета, за период с 2008 по 2018 год было опубликовано 2196 научно-технических публикаций, наибольшая часть из которых принадлежит США (более 60%) и Китаю (более 20%).

По результатам проведенных исследований можно заключить, что научно-техническое направление по совершенствованию газовых сепараторов развивается в России и зарубежных странах. Это приведет к появлению на рынке нового высокоэффективного оборудования для очистки газа.

**Библиографический список:**

1. Сулейманов Р.С., Хафизов А.Р., Шайдаков В.В., Чеботарёв В.В., Ставицкий В.А., Кабанов О.П., Пестрецов Н.В. Сбор, подготовка и хранение нефти и газа технологии и оборудование / уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2007.
2. Шайдаков В.В., Полетаева О.Ю., Чернова К.В., Катрич Н.М. Физико-химическое воздействие при подготовке нефти, газа и воды в промышленных условиях. Уфа, 2012. Сер. Инновационные технологии при добыче нефти и газа.

УДК 622.276.7

**Перспективы развития конструкций плунжеров штанговых насосов по результатам патентных исследований**

Камалов Д.Р.

Научный руководитель – Шайдаков В.В.

*Уфимский государственный авиационный технический университет в г. Уфа*

Для большей части месторождений в Российской Федерации характерна поздняя стадия эксплуатации, при которой проводится комплекс технологических и геологических мероприятий для поддержания уровня добычи нефти. Для поддержания пластового давления, закачивается подтоварная вода, поэтому значительная доля скважин на данных месторождениях продуцирует высокообводненную нефть с содержанием воды более 90%. При этом значительная часть скважин переходит в категорию малодебитных [1].

Наибольшую распространённость для эксплуатации таких скважин получил способ добычи нефти с применением скважинных штанговых насосных установок (УСШН).

Для выявления технического уровня и тенденций развития конструкций плунжеров штанговых насосов был проведен патентный поиск по базам российского и зарубежного ведомств.

Одними из первых стран-патентообладателей в данной области стали США в 1963 году и Германия в 1964г. Затем последовательно появились Франция, США и Россия.

В результате поиска за десятилетний период(2008-2018гг.) было установлено, что лидирующие позиции в данной области занимает Германия – 126 патентов, затем Россия – 107, Китай – 89, США – 59 и лишь 34 у Японии(рис.2).

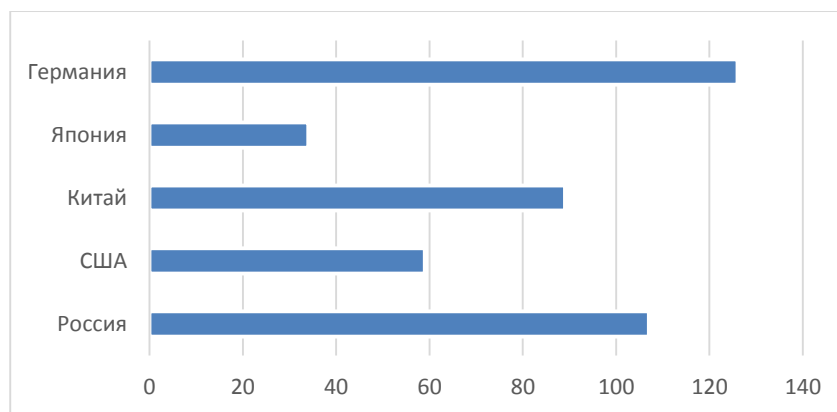


Рисунок 1 – Общее количество патентов по теме:” Плунжер штангового насоса”.

Патентный анализ (по данным сайтов <http://www1.fips.ru/> и <https://worldwide.espacenet.com/>) показал, что за последние 10 лет было запатентовано 415 патентов по данной тематике, направленных на борьбу либо с механическими примесями, либо на усиление уплотнения между плунжером и цилиндром, либо одновременно решаются обе задачи.

Наибольшую долю патентов составляют насосы с эластомерными уплотнениями плунжера. Опыт эксплуатации нефтяных скважин показывает, что эластомерные материалы в скважинных условиях работают в жестких температурных условиях и агрессивной среды. Поэтому, при тех требованиях, которые предъявляются к штанговым насосам (межремонтный период более 1 года) эластомерные материалы не обеспечивают требуемую работоспособность.

Технические решения, направленные на снижение утечек между плунжером и цилиндром, должны обеспечивать долговечность плунжерных пар сравнимую с серийно выпускаемыми. Поэтому, заметен рост конструкций с нанесением регулярного микрорельефа в форме канавок, что обеспечивает увеличение гидравлических сопротивлений при течении жидкости в зазоре, что в свою очередь позволяет уменьшить величину утечек. Кроме того, во время работы пары “плунжер-цилиндр” в канавках регулярного микрорельефа постоянно удерживается смазывающая жидкость, что приводит к снижению вероятности появления “сухого трения” и интенсивного износа, а также заклинивания плунжера [2]. По рисунку 5 можно заметить, что наибольшие сопротивления возникают с сечением прямоугольного треугольника, острый угол которого находится со стороны избыточного давления. В связи со сложностью формирования канавки с сохранением ее геометрической формы по длине окружности плунжера, рекомендуется использовать канавки прямоугольного сечения, поскольку при небольших изменениях ширины канавки с сечением прямоугольного треугольника по длине окружности плунжера, возникают боковые неуравновешенные силы, защемляющие плунжер в цилиндре.



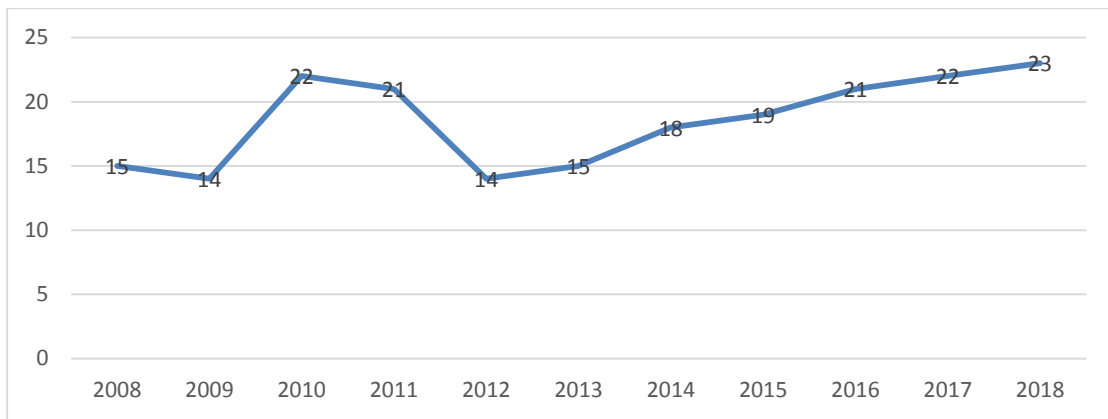


Рисунок 2 - Количество российских патентов по теме:” Плунжер штангового насоса”.

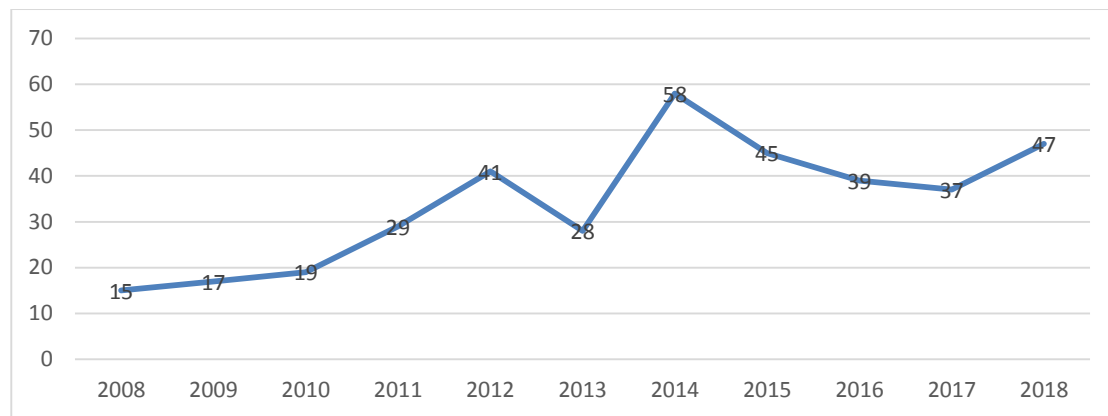


Рисунок 3 - Количество иностранных патентов по теме:” Плунжер штангового насоса”.

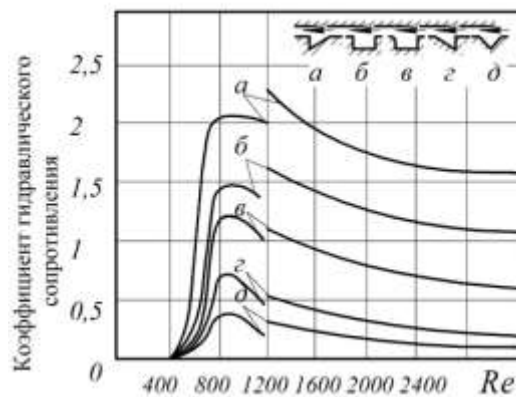


Рисунок 4 - Зависимость коэффициента местных гидравлических сопротивлений от числа Рейнольдса [1]

В конечном счете, модернизация плунжеров штанговых насосов является неотъемлемой частью успешного использования данных насосов во многих странах, что и показывает актуальность данной тематики. Рассматривая нанесение регулярного микрорельефа в форме канавок можно отметить, что это позволяет снизить критическое число Рейнольдса, при котором возникает турбулентный режим течения жидкости в кольцевом зазоре. Проведя сравнительную оценку между различными конструкциями плунжеров, конструкция с нанесением регулярного микрорельефа в форме канавок на утечки жидкости через зазор плунжерной пары, показала снижение утечек на 16%.



Профиль плунжера	Коэффициент гидравлических сопротивлений	
	Концентричное расположение плунжера в цилиндре	Эксцентричное расположение плунжера в цилиндре (при максимальном эксцентриситете равном величине зазора)
Без канавок (гладкий плунжер)	Ламинарный режим: $\lambda = \frac{100}{Re}$	Ламинарный режим: $\lambda = \frac{57}{Re}$
	Турбулентный режим: $\lambda = \frac{19,63}{Re^{0,77}}$	Турбулентный режим: $\lambda = \frac{3,937}{Re^{0,383}}$
С канавками прямоугольного сечения: 	Турбулентный режим: $\zeta = \frac{33,5}{Re^{0,43}}$	Турбулентный режим: $\zeta = \frac{41}{Re^{0,48}}$
Сечение в форме прямоугольного треугольника: 	Турбулентный режим: $\zeta = \frac{21,8}{Re^{0,33}}$	

Рисунок 5 - Зависимости гидравлических и местных сопротивлений от числа Рейнольдса для различных профилей плунжера [3]

**Библиографический список:**

1. Ишмухаметов Б.Х., Совершенствование штангового скважинного насоса для добычи обводненной нефти из глубоких скважин: дисс. Уфа, 2018. – 102 с.
2. Исмагилов Ф.Г., Улучшение технических характеристик штангового насоса нанесением регулярного микрорельефа на поверхности плунжера: автореферат дисс. к.т.н., Уфа, 2010 -25 с.
3. Антипин Ю.В., Валеев М.Д., Сыртланов А.Ш. предупреждение осложнений при добыче обводненной нефти. Уфа: Башкнигоиздат, 1987.- 167с.

УДК 622.246

**Экспериментальный стенд и результаты исследования триботехнических свойств пары рабочего органа перистальтического насоса**

Кирдяйкин И.Д.

Научные руководители: Быков И.Ю., Бобылева Т.В.

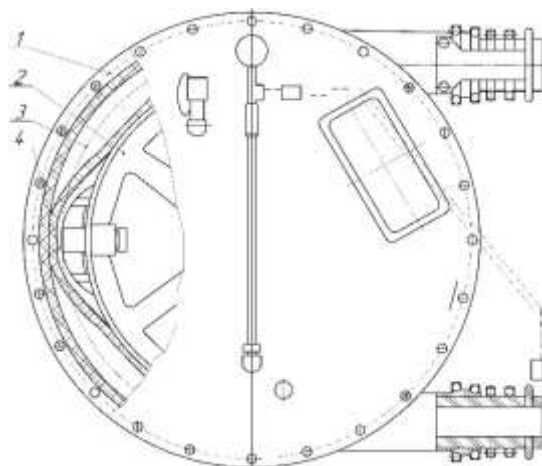
ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

В нефтяной промышленности остаются актуальными проблемы, связанные с перекачиванием высоковязких нефтей из отстойников или резервуаров, сбор нефтепродуктов с поверхности земли или воды. Для решения данных проблем актуальным становится использование перистальтических насосов, благодаря своим преимуществам:

- 1) Простая конструкция (не допускает никаких дополнительных уплотнений или сальниковых набивок и не допускает трения металлических компонентов друг о друга);
- 2) Простой, быстрый монтаж и обслуживание при ремонтах;
- 3) Возможность работы на сухом ходу, даже на протяжении долгого времени;
- 4) Высокая точность дозирования;
- 5) Тихая работа, относительно насосного оборудования других конструкций.

Принципиальная схема перистальтического насоса представлена на рисунке 1.

Принцип действия основан на волнообразном сокращении рукава (3), башмаками (4) при вращении ротора (2). При вращении за башмаком создается вакуум, который способствует самовсасыванию насоса.



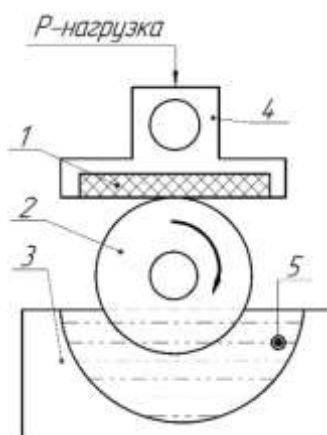
1 – корпус насоса; 2 – ротор; 3 – рукав; 4 - башмак  
Рисунок 1 – Перистальтический насос

Триботехническая пара рукав и башмак насоса, являются самыми ответственными элементами, отвечающими за работоспособность насоса. Износ рукава приведет к утечке перекачиваемой среды, а износ башмака приведет к тому, что при вращении башмак будет пережимать рукав сверх допустимых значений или не дожимать, что выведет насос из номинального режима и может повлечь собой аварии.

Охлаждение рукава в насосе осуществляется при помощи глицерина или жидкости полиметилсилоксановой ПМС-400

Надежная эксплуатация перистальтических насосов определяется износостойкостью гибкого рукава и башмака. Корпус насоса (1) является направляющей для рукава и емкостью для охлаждающе-смазывающей жидкости.

Предлагаемые к использованию материалы для рукава и башмака насоса, были испытаны на машине трения, а спец преобразователь регистрировал температуру охлаждающей жидкости и момент трения. Испытания проводились по схеме, представленной на рисунке 2. Металлический подвижных образец (2), погруженный в ванну с глицерином (3), вращаясь трется о неподвижный образец из рукава (1). Металлические ролики были изготовлены из материалов, рекомендуемых для изготовления башмака насоса: 1) сталь 45, 2) дюралюминий Д16 3) деформируемый алюминий АВ, 4) антифрикционный силумин АС. Образец каучука вырезался непосредственно из рукава насоса. Материал рукава насоса синтетические каучуки БНКС (бутадиен-нитрильный каучук синтетический), используемый в перистальтических насосах, при перекачки высоковязких нефтей и нефтепродуктов при температуре от -30 до +100 °С.



1 – неподвижный образец из рукава; 2 – металлический подвижный образец;  
3 – ванна с глицерином; 4 – держатель образца; 5 – датчик температуры  
Рисунок 2 – Стенд испытания колодка-ролик

Было проведено четыре серии испытаний, при нагрузке  $P=15\text{кгс}$  и скорости вращения металлического ролика  $n=300$  об/мин, на протяжении 20000 с. Результаты испытаний представлены в таблицах и графиках. На рисунках 3 и 4 показано изменение коэффициента трения и изменение температуры охлаждающе смазывающей жидкости соответственно.

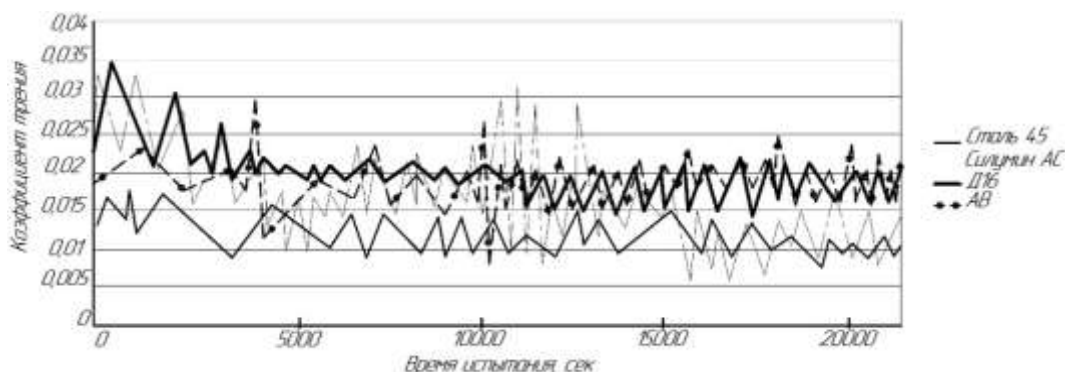


Рисунок 3 – Изменение коэффициента трения

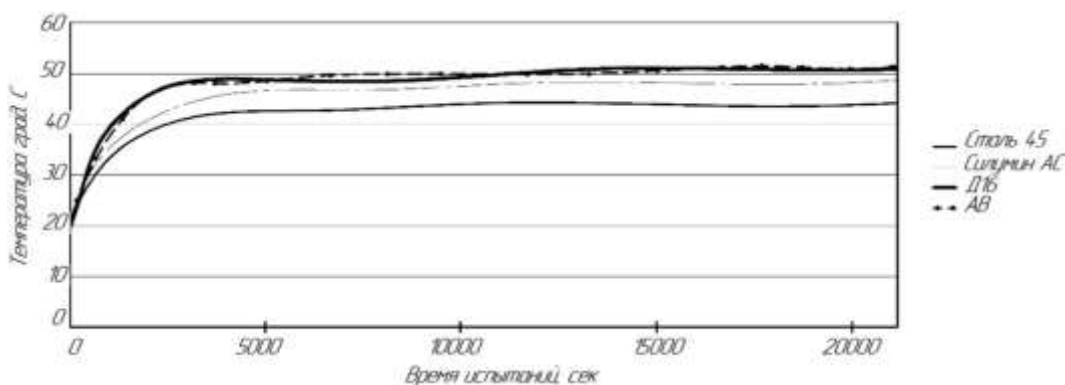


Рисунок 4 – Изменение температуры охлаждающе-смазывающей жидкости

Из графиков видно, что наименьший коэффициент трения и температуру охлаждающе-смазывающей жидкости гарантирует сталь 45.

После испытаний башмака были сделаны замеры его веса до и после испытаний. Результаты взвешиваний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Массовый износ металлических роликов

Материал ролика	Масса	Масса после испытания, г	Износ по массе	Износ по Объему %
Сталь 45	162,9384	162,9344	0,0040	0,002
Силумин АС	56,5878	56,5858	0,0020	0,003
Д16	58,6075	58,6058	0,0018	0,003
АВ	59,0964	59,0944	0,0020	0,003

Стальной образец изнашивался больше из-за своей плотности, превышающей примерно в 3 раза образцы из сплавов алюминия, соответственно по объему стальной образец изнашивался меньше.

Также были измерены шероховатости поверхностей металлических образцов и образца рукава до и после испытаний.

Таблица 2 - Параметры шероховатости до и после испытаний

Параметр шероховатости, мкм		До испытаний		После испытаний	
		ролик	колодка	Ролик	Колодка
Сталь 45	Ra	1,190	10,642	1,202	13,270
	Rb	5,300	53,431	5,857	69,876
	Rc	5,770	71,970	7,540	89,670
Силумин АС	Ra	0,724	11,674	0,496	10,391
	Rb	4,628	58,189	3,295	44,827
	Rc	6,130	82,510	4,370	59,50
Д16	Ra	0,933	7,758	1,468	13,364
	Rb	5,254	36,749	7,163	61,828
	Rc	6,480	58,160	8,690	72,820
АВ	Ra	2,538	4,290	3,000	9,263
	Rb	11,926	20,990	13,830	43,768
	Rc	13,50	27,080	15,900	57,02

Ra - среднеарифметическое отклонение профиля;

Rz – высота неровностей профиля по 10 точкам; Rt – общая высота профиля

Проанализировав таблицу 2, можно отметить, что шероховатость у всех поверхностей образцов рукава и металлических образцов увеличилась, кроме антифрикционного силумина АС. Это объясняется присутствием в антифрикционном силумине кремния, который легко поддается деформации и способен намазываться на ответные тела при небольших давлениях.

Вывод: для избежания больших потерь на трение и нагрев, которые особенно критичны для эффективной работы перистальтических агрегатов, следует рекомендовать для изготовления башмаков, работающих в паре с синтетическими каучуками БНКС сталь 45.

#### **Библиографический список:**

1. Технические характеристики перистальтического агрегата НП 100. Режим доступа: [http://oilzip.ru/nasos\\_np\\_100.pdf](http://oilzip.ru/nasos_np_100.pdf)
2. Рядченко Г.В. Триботехнические свойства эластомеров, модифицированных антифрикционными волокнами канд. техн. наук. Донской гос. университет, 2003.
3. Лабораторные испытания материалов на трение и износ В.В. Гриб, Г.Е. Лазарев. М., Изд-во «Наука» 1968, 141 с.

УДК 004.948

### **Имитационное компьютерное моделирование НДС ферромагнитных конструкционных материалов на примере стали 09Г2С**

Коновалов В.И

Научный руководитель - Борейко Д.А

*Ухтинский государственный технический университет г.Ухта*

В настоящее время нефтегазовый комплекс переживает ряд проблем, связанных с повреждениями и разрушением оборудования и трубопроводов. Факторами данных последствий может послужить ряд проблем, связанный со спецификой производства, но есть одна проблема, возникающая вне зависимости от рода производственной деятельности.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) - это совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на материальное тело внешних нагрузок, температурных полей и других факторов. Совокупность напряжений полностью характеризует напряжённое состояние частицы тела. Данное явление стоит в авангарде, того самого ряда, с чем встречается нефтегазовая отрасль.

На данный момент разработано множество методик по обнаружению и локализации мест НДС. Многие из них действительно имеют право на существование и применение на

практике, мы же в данной работе исследуем сам процесс образования НДС, изменение механических характеристик в процессе нагружения, определенной марки стали.

Поставленные задачи:

1. Анализ существующего опыта физического, математического и твердотельного компьютерного моделирования дефектов структуры ферромагнитных материалов для обоснования формы, и способа изготовления симуляторов дефектов
2. Обосновании формы и материала испытательных образцов
3. Твердотельное моделирование напряженно-деформированного состояния образцов с искусственными дефектами для обоснования максимально допустимых нагрузок при физических испытаниях на разрыв.

Для данных исследований первично был произведен анализ нефтегазового оборудования для определение наиболее распространённой марки стали в процессе изготовления. Данный анализ привел нас к стали марки 09Г2С, из которого преимущественно большой процент предприятий изготавливает корпуса, узлы и агрегаты для нефтегазового оборудования.

Исходя из существующего мирового опыта по моделированию дефектов и проведения испытаний в ИТ (информационных технологиях), было принято решение для данных исследований использовать программные комплексы для физического, математического и твердотельного компьютерного моделирования дефектов структуры ферромагнитных материалов КОМПАС-3D и SOLIDWORKS.

Обоснование формы испытательных образцов полностью исходило из технических параметров разрывной машины и отвечало требованиям испытательной базы по ГОСТ 28840-90 (рис. 1).

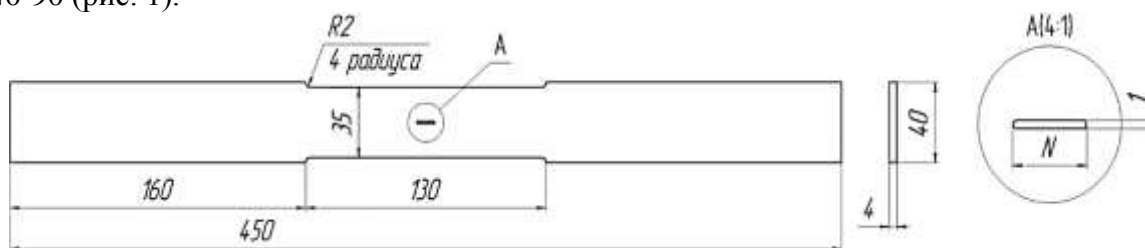


Рисунок 1 - Образцы по ГОСТ 1497-84

Далее в программном комплексе КОМПАС-3D производилось твердотельное моделирование образцов без дефекта, и образцов с нанесением искусственного дефекта в продольном и поперечном отношении (рис. 2).

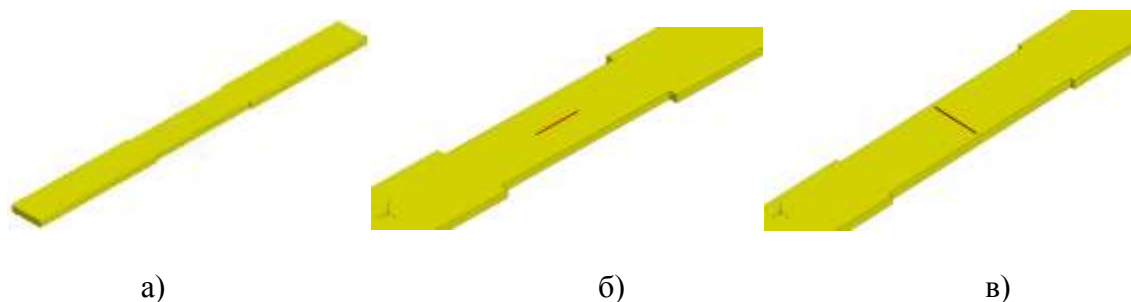


Рисунок 2 – образцы  
а) без дефекта; б) с продольным дефектом; в) с поперечным дефектом

После окончания работы в КОМПАС-3D, созданные образцы с нанесенными искусственными дефектами, экспортировалась в программный комплекс SOLIDWORKS SIMULATION модуль, основанный на методе конечных элементов и предназначенный для

проведения прочностного анализа по расчету напряженно-деформационного состояния, в котором производилось закрепление образца с одной стороны и нагружения на растяжение с другой, что полностью имитирует реальные испытания на разрывной машине (рис. 3).

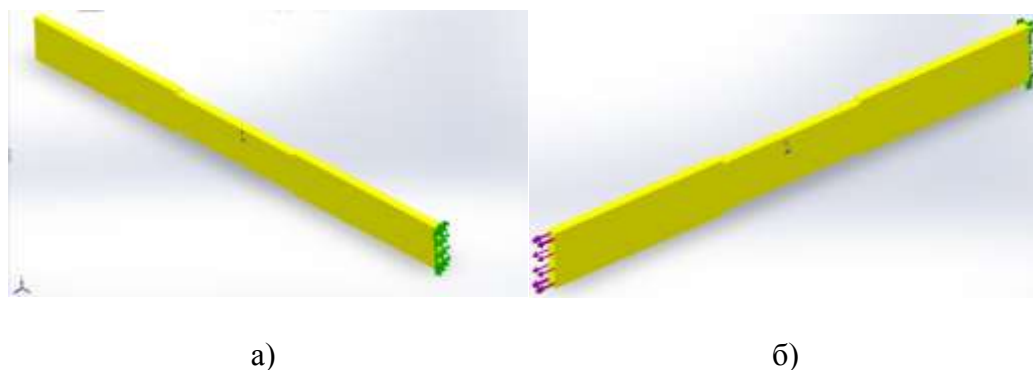


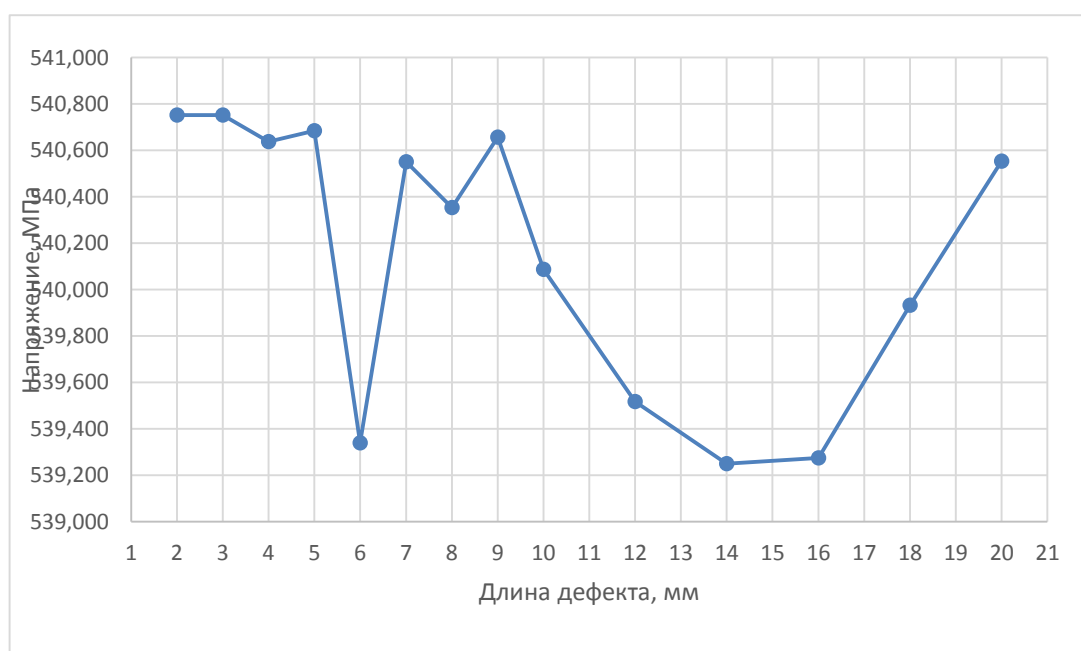
Рисунок 3 – расчет НДС в SOLIDWORKS  
а) закрепление модели; б) нагружение модели

Далее в программе строиться сетка конечных элементов по всей площади образца, с данными параметрами:

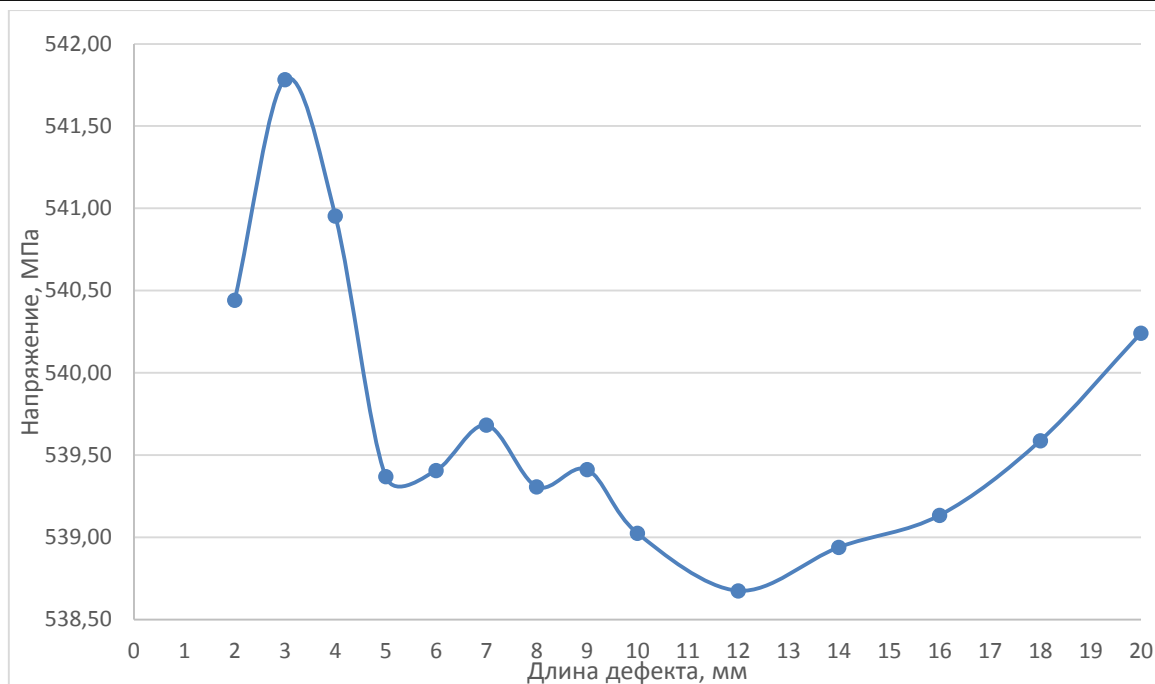
- Тип сетки – на основе кривизны
- Длина стороны тетраэдра – 1 мм
- Допуск – 0,2 мм

Данная сетка создается для вычисления величины создаваемого НДС в каждом элементе сетки, после чего выдается сводная таблица с данными о проведенных испытаниях, по средствам которой мы можем определить в какой части образца создается большее или меньшее напряжение обусловленная выводимыми данными и построенными по ним графиками.

Образцы моделировались с дефектами разных размеров от 2 – 25 мм, с шагом в 1 мм (как продольные, так и поперечные. По данным представленным после проведения испытания, были сформирован графики величины нагрузки разрушения, от каждой длины дефекта (рис.4).



а)



б)

Рисунок 4 – график зависимости нагрузки разрушения для каждой длины дефекта а) для продольного дефекта; б) для поперечного дефекта

Выводы по результатам проведенного моделирования:

1. По плану исследований произведено имитационное компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния стандартных стальных образцов при возрастающей растягивающей нагрузке
2. Имитационные исследования позволили установить характер распределения напряжений и места с максимальной концентрацией напряжений с ростом искусственного дефекта заданных размеров.
3. Проведённые исследования последовали основой для физических лабораторных экспериментов со стальными образцами на разрыв.
4. Полученные при моделировании результаты являются универсальными, т. е. модели могут быть скорректированы как в геометрии, так и в режимах нагружения и характеристиках материала, в случае необходимости.

**Библиографический список:**

1. Ишмухаметов Б.Х., Совершенствование штангового скважинного насоса для добычи обводненной нефти из глубоких скважин: дисс. Уфа, 2018. – 102 с.
2. Исмагилов Ф.Г., Улучшение технических характеристик штангового насоса нанесением регулярного микрорельефа на поверхности плунжера: автореферат дисс. к.т.н., Уфа, 2010 -25 с.

УДК 620.922

**Солнечная энергетика на объектах нефти и газодобычи**

Королева Д.А

Научный руководитель – Шайдаков В.В.

Уфимский государственный авиационный технический университет

Солнечная энергетика стремительно развивается во многих странах мира. Уже сегодня она является одним из наиболее перспективных и востребованных источников



альтернативной энергии. В крупных, экономически развитых странах данный сегмент энергетики находится на высокой ступени развития. Среди всех стран мира лидирующие позиции, последние 11 лет, занимают Китай и США. В статье проанализировано патентование в области солнечной энергетики, что может косвенно подтвердить перспективность развития данного научно-технического направления в этих двух развитых странах (рис1).

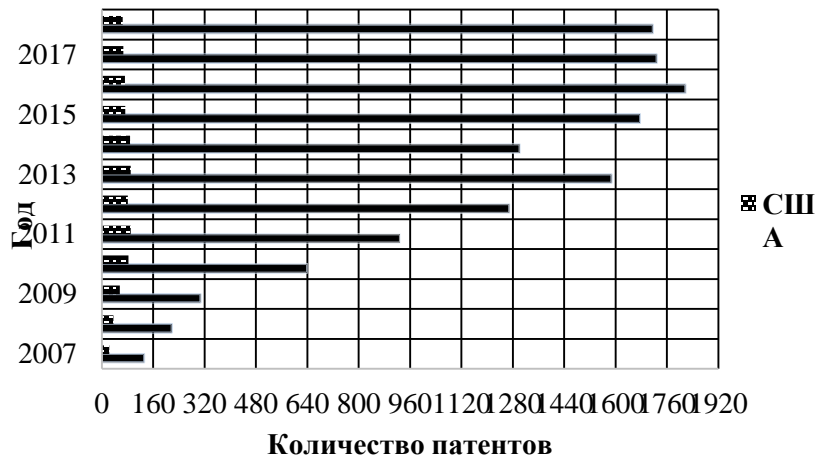


Рис. 1. Количество патентов по солнечной энергетике в Китае и США

В Китае и США солнечная энергетика используется не только для снабжения энергией отдельных районов, организаций, домов, школ и так далее, но и в других направлениях. Свое применение данное направление альтернативной энергетики в этих странах нашло даже в нефтяной и газовой промышленности. Так как до настоящего времени имеются не извлеченные запасы нефти составляющие 60-80% от геологических, существует необходимость создания новых способов добычи этого полезного ископаемого. Сейчас создаются новые технологии, обеспечивающие более высокую полноту извлечения нефти из недр. К этим способам можно отнести тепловые технологии. Но в связи с тем, что паротепловой метод воздействия на пласты требует крупные затраты на получение горячей воды и пара технологии в этом направлении продвинулись дальше [6].

Например, солнечную энергию стали использовать для подогрева воды и пара, которые в дальнейшем закачивают в пласт для подогрева высоковязкой нефти и вытеснения ее к добывающим скважинам.

Конструкция солнечного коллектор обеспечивает возможность одновременного опреснения морских и пластовых вод солнечным излучением и получением горячей воды, высокотемпературного водяного пара для закачки нефти в пласт [6].

Солнечный коллектор представляет собой корпус, состоящий из рабочей испарительной теплоизолированной емкости (котла) с овальным дном; окрашен с внешней стороны коррозионностойкой черной краской, а внутри - теплоотражающей серебристой. Внутри коллектора есть определенная металлическая пластина черного цвета. Ее поднимают путем вливания воды внутрь емкости до определенного уровня. Это уровень максимального фокусирования лучей. Коллектор закрывается плотной крышкой овальной формы под определенным углом наклона таким образом, чтобы конденсирующиеся пары в виде влаги, скапливающиеся под крышкой, стекли в желоба, потом в емкость для сбора опресненной воды. Эта вода подается в солнечный коллектор аналогичной конструкции, только пар уже не конденсируется, а подается в нагретую скважину при достижении требуемой температуры. Так же на светопроницаемой и термостойкой крышке коллектора установлены вогнутые линзы, которые подогревают черную платину, расположенную внутри конструкции, путем концентрации и фокусирования прямой и рассеянной солнечной радиации [6].

Устройство парогенератора работает по-другому. Теплообменный аппарат автоматически заполняется до определенного уровня, это нужно для того, чтобы некоторая вода испарялась. На этом уровне солнечные лучи фокусируются на испарительной поверхности, окрашенной в черный цвет. Она расположена на поверхности воды внутри емкости. После нагрева этой поверхности сфокусированными солнечными лучами начинает подогреваться и испаряться опресненная вода, а водяной пар, под воздействием высокого давления, подается в скважину. Лишнее количество пара можно использовать для получения электроэнергии, которую используют для подогрева воды при отсутствии солнечного излучения [6].

Одна из крупнейших корпораций в мире – «Chevron» объявила об установке солнечных батарей на одном из своих нефтяных месторождений на реке Керн в Калифорнии – месторождение «Monterey Shale» - пятое по размеру месторождение нефти в США. «Chevron» планирует установить 7700 солнечных панелей общей мощностью в 740 кВт, которые будут питать нефтяные насосы, применяемые при добыче и транспортировке нефти. И это только начало освоения двухмиллиардной инвестиции в строительство установок альтернативной энергетики [1].

В других странах, например, таких как Россия, Алжир и Австралия солнечная энергетика начала развиваться совсем недавно. Но уже заметно, что перспектива данного направления в этих странах есть. Так же, как и в США, солнечная энергетика этих стран затронула и нефтяную промышленность.

Так, например, итальянская фирма «Eni» подписала с алжирским государственным предприятием «Sonatrach» договор на создание новой солнечной электростанции. Объект, мощностью 10 МВт, будет оснащать чистой энергией нефтяную вышку, установленную на месторождении Бир-Реба-Норт в Алжирской пустыне. Так как Алжирская Народная Демократическая Республика расположена в одном из наиболее солнечных регионов планеты не использовать энергию солнца этой страны нельзя, особенно когда это способствует снижению затрат на производстве [2].

Но это не единственное месторождение, оснащенное солнечными панелями, которым управляет нефтегазовая компания «Eni». Компания «Carnegie Clean Energy», которая специализируется на разработке системы возобновляемых источников энергии (ВИЭ), получила грант федеральной правительственной организации National Energy Resources Australia (NERA) на спонсирование проекта по оборудованию солнечными модулями бурового основания. Этот объект расположен в бассейне Бонапарт[3].

Австралия так же не отстаёт от своих конкурентов в развитии альтернативной энергетики. Австралийский нефтегазовый гигант «Woodside» представил проект создания солнечной электростанции на аккумуляторных блоках, мощность которых составляет 1 Мегаватт в час. Эта система «PowerStore» от «ABB Ability» является контейнерной системой хранения энергии на базе аккумуляторных батарей. «PowerStore» будет обеспечивать поддержку существующих газовых турбинных генераторов морской платформы «Goodwyn A». Батарея заменит 1 из 6 существующих генераторов газовых турбин, а также уменьшит необходимость использования аварийного дизель-генератора [3].

Одна из самых крупных в Австралии нефтегазовых компаний, «Santos», разработала план по снабжению 56-и нефтяных вышек в отдаленных регионах страны солнечными установками и аккумуляторными энергохранилищами [3].

Проект, стоимость которого составляет 16 миллионов долларов, предусматривает установку фотоэлементов общей мощностью 3,2 МВт и аккумуляторных блоков на каждой нефтяной вышке в бассейне Купер, расположенном на территории штатов Южная Австралия и Квинсленд [3].

В случае успешной работы, «Santos» планирует переоснастить еще 151-у вышку по всему бассейну Купера. Это позволит экономить около 140 баррелей нефти в день, необходимых для поддержания работы насосов [3].

В России солнечная энергетика также совсем недавно начала набирать обороты. За

последние 10 лет было построено более 26 станций общей мощностью 224 МВт. С 2018 по 2023 годы, по данным Минэнерго РФ, в России планируют построить ещё 1,5 ГВт солнечной генерации. Так же в Майминском районе Республики Алтай с сентября 2017 года находится в работе первая в России солнечная электростанция, построенная на гетероструктурных модулях российского производства. Так же на Крайнем Севере используют фотогальванические батареи для нагрева нефти при прокачке ее по трубопроводам с целью снижения ее вязкости и предотвращения выпадения и отложения тяжелых компонентов нефти на стенках трубопровода, а именно асфальтенов смол и парафинов. Так как отложение этих компонентов приводит к уменьшению проходного сечения трубопровода и увеличению потерь давления на трение. Фотогальванические батареи помогают сохранять температуру нефти выше температуры начала кристаллизации парафина. [4].

Анализируя вышесказанное, делаем вывод, что солнечная энергетика с каждым годом развивается во многих странах и находит свое применение практически во всех жизненных сферах. Но особенный прорыв в этой области в том, что теперь фотогальванические модули используют даже на нефтяных и газовых месторождениях. Возможно, в недалеком будущем большинство крупных нефтяных и газовых корпораций, расположенных в районах с высокой солнечной активностью, в значительной степени перейдут на солнечную энергию и будут оснащать промысловые объекты добычи углеводородного сырья рентабельными источниками солнечной энергетика.

***Библиографический список:***

1. Сайт. Нефтяные вышки на солнечных батареях. Режим доступа: <https://www.facepla.net/about-saveplanet.html>
2. Информационно-аналитический интернет портал. Нефтяная вышка в алжирской пустыне будет работать на солнечной энергии. Режим доступа: <https://ecoteco.ru/news/n36422>
3. Новостной интернет портал. Нефтедобывающая компания в Австралии планирует оснастить 56 нефтяных вышек солнечными электростанциями и системами хранения энергии. Режим доступа: <http://energodoma.ru/>
4. Свободная энциклопедия «Википедия». Список солнечных электростанций России. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>
5. Патентный поиск «Espacenet». Режим доступа: <https://www.epo.org/index.html>
6. Научный журнал «Успехи современного естествознания». Способ повышения нефтеотдачи пластов и добычи природного битума с использованием тепла, и солнечной энергии. Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35712>

УДК 622.323

**О надежности скважинных электроцентробежных насосных установок в условиях Западной Сибири**

Кулагина Е.Е, Костиловский В. В. Пензин А.В.

Научный руководитель – Шайдаков В.В.

Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет, г. Уфа

Базовым нефтедобывающим регионом России в настоящее время является Западная Сибирь, где добывается 70% российской нефти. Большинство месторождений находится на поздней стадии разработки, характеризующееся высокой обводненностью, которая может достигать 99%. В этих условиях эксплуатируется значительное количество скважин осложненных отложением неорганических солей, асфальто-смолопарафиновых соединений, образованием стойких эмульсий, значительным содержанием газа, выносом механических примесей. Это резко снижает безотказность глубинно-насосного оборудования, требует значительных затрат на предотвращение и ликвидацию последствий воздействия осложняющих факторов.

Одним из лидеров по добыче нефти в России является ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», находящаяся на территории Ханты-Мансийского автономного округа. В 2016 году данным предприятием было добыто 31 млн т нефти, а в 2017 году данный показатель увеличился на 1,3% и составил 39 млн т. Основной объем нефти извлекается насосным способом, электроцентробежными насосными установками.

На основе полученной информации об эксплуатации добывающих скважин в ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» в 2016, 2017 годы было выявлено, что наиболее распространенным оборудованием для добычи нефти являются установки электроцентробежного насоса. Погружные центробежные насосы (УЭЦН) в настоящее время являются одним из основных средств механизированной эксплуатации нефтяных скважин, потому что они более производительны и могут осуществлять подъем жидкости с больших глубин. Так же их достоинствами являются возможность автоматизации процесса управления электронасосом, отличные напорно-расходные характеристики (при больших подачах сохраняется высокий напор), они могут работать в агрессивных средах.

За 2016 год 8460 установок отказали по различным причинам, из которых почти 37% не отработали гарантийный срок, составляющий 365 суток, а в 2017 году – 8508 установок, доля не отработавших гарантийный срок снизилось до 35%.

Было выявлено, что основными причинами отказов являются засорения, аварии (связанные с полетом УЭЦН, в том числе при спуско-подъемных операциях), коррозия, заводской брак оборудования (негерметичность торцовых уплотнений гидрозащиты, снижение сопротивления ПЭД, обрыв цепи питающей ПЭД (отсутствие «звезды»), клин ЭЦН) и отложения неорганических солей. Проанализирован и сравнен осложненный и неосложненный фонд скважин. Проведен анализ безотказности работы УЭЦН исследуя функцию вероятности безотказной работы УЭЦН основных типоразмеров по основным причинам выхода из строя установок (рис 1, 2).

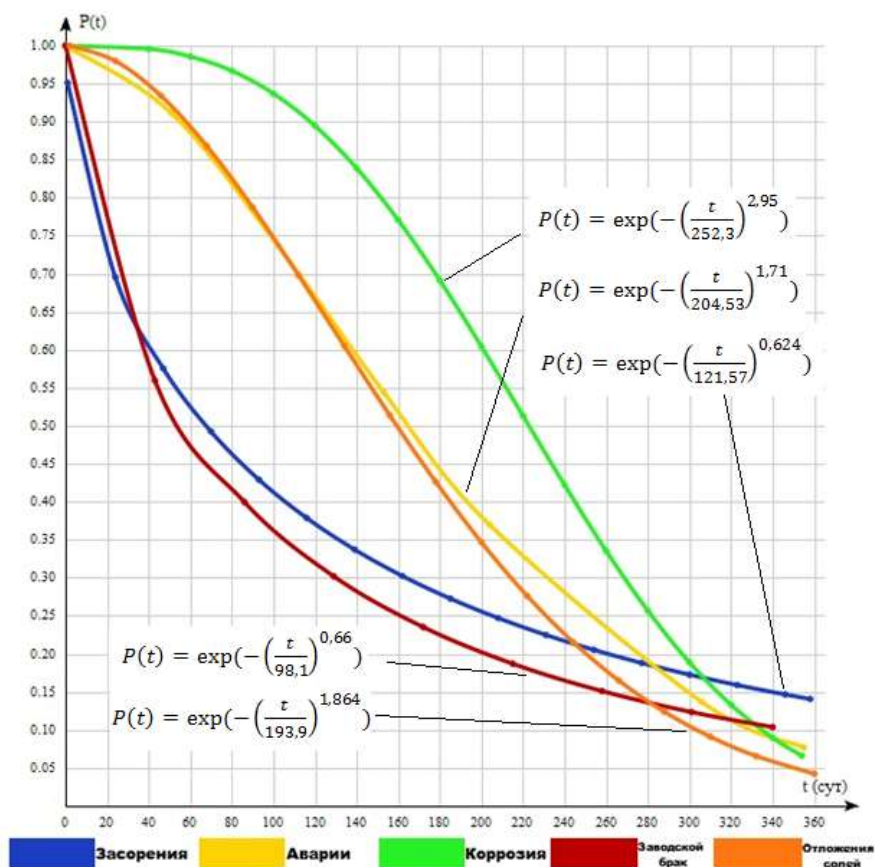


Рисунок 1 – Вероятность безотказной работы УЭЦН в осложненных скважинах по данным за 2016 год

Выявлено, что наименьший показатель безотказности приходится установки на заводского изготовления. К концу 2017 года значительно снизилась безотказность УЭЦН в скважинах осложненных солеотложениями. Это связано с ухудшением условий эксплуатации и ростом обводненности. Для предотвращения их образования «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» применяют химический метод, заключающийся в закачке ингибитора в затрубное пространство или использовании погружных контейнеров для подачи его непосредственно на прием насоса.

Показатель безотказности установок по причинам засорения и коррозионного поражения за 2016 и 2017 года практически не изменился, что говорит о стабильности проведения мероприятий по их предотвращению (использование фильтров улучшенной очистки и закачка ингибитора ХПКС-004 (А) соответственно), причем на отказы по причине коррозионного поражения приходится наибольший показатель безотказности, что свидетельствует об эффективности мероприятий по защите оборудования от данного осложнения.

За период 2016-2017 годов неосложненный фонд скважин претерпел некоторые изменения. Прослеживается снижение средней наработки на отказ УЭЦН, что в большей степени связано с процессом перехода неосложненных скважин в осложненные. Максимальная же наработка на отказ в 2017 году снизилась относительно 2016 года на 548 суток, что составляет 17%.

В ходе анализа нефтяного добывающего фонда ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» было выявлено, что основной причиной отказов УЭЦН являются засорения, аварии, заводской брак оборудования и отложения неорганических солей. По каждому из осложнений проводятся мероприятия по их предотвращению, а именно: установка фильтров с повышенной степенью очистки для снижения количества засорений; ужесточение требований по технике безопасности и подбор квалифицированных работников для снижения аварийности; повышение качества проведения входного контроля для выявления дефектов оборудования до ввода его в эксплуатацию; подбор более действенного способа подачи в скважину ингибитора солеотложений, а также создание новых более эффективных химических реагентов.

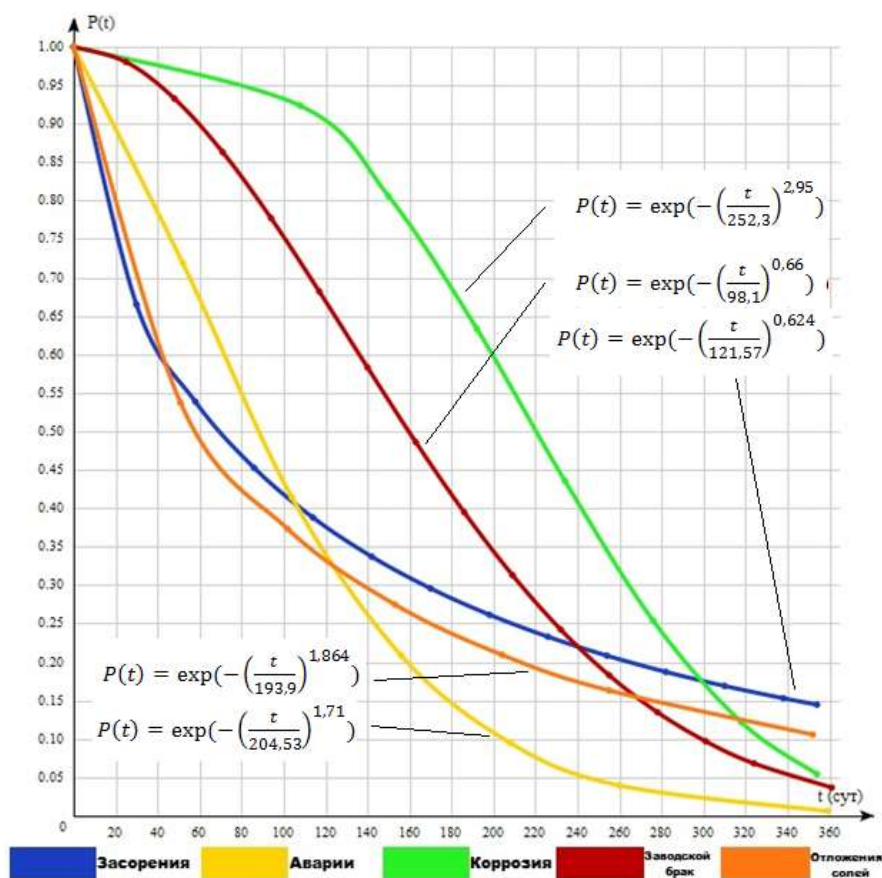


Рисунок 2 – Вероятность безотказной работы УЭЦН в осложненных скважинах по данным за 2017 год



**Библиографический список:**

1. Новостной интернет портал. Нефтедобывающая компания в Австралии планирует оснастить 56 нефтяных вышек солнечными электростанциями и системами хранения энергии. Режим доступа: <http://energodoma.ru/>
2. Свободная энциклопедия «Википедия». Список солнечных электростанций России. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>
3. Патентный поиск «Espacenet». Режим доступа: <https://www.epo.org/index.html>

УДК 621.88.082-034.14

**Динамика изменения геометрии резьб НКТ (Насосно-компрессорные трубы) в зависимости от марки стали при свинчивании-развинчивании**

Медведев П.П.

Научный руководитель – Быков И.Ю.

Ухтинский государственный технический университет

Резьбовые соединения НКТ подвержены нагрузкам в течение эксплуатации (свинчивание, спускоподъемные операции, нефтегазодобыча, работы по интенсификации добычи и пр.) Нагрузки по видам и характеру приложения (кручение, изгиб, растяжение и сжатие), воздействие избыточного наружного и внутреннего давления и ряда других факторов подвергает их интенсивному износу.

Основным параметром, определяющим интенсивность износа резьбового соединения НКТ, является натяг. Под натягом понимается отрицательная разность между диаметрами отверстия и вала и измеряется калибр - кольцом для резьб труб и калибр - пробкой для резьб муфт. Исследование динамики изменения параметров натяга под воздействием свинчивания- развинчивания НКТ проводились [1] на базе ОАО ВНИИТнефть (Самара) на стенде СИНКТ-450.

Результаты этих исследований приведены в работе [3] Поликарпова Максим Петровича - Совершенствование нормативной базы характеристик эксплуатационной долговечности насосно-компрессорных труб. В качестве объекта исследований были выбраны [2] гладкие насосно-компрессорные трубы, и муфты к ним размером 73,0×5,5 мм (условный диаметр 73 мм, толщина стенки 5,5 мм) с резьбой треугольного профиля, изготовленные из сталей групп прочности от "Д" до "Р".

Было изготовлено по 3 комплекта образцов типа «патрубок-муфта-патрубок». Таким образом, общее количество патрубков-«ниппелей», представляемых для испытаний – 18 шт., муфт – 9 шт. Одно из соединений каждого образца является рабочим, второе технологическим, имитирующим заводское соединение - «муфтовый конец», длина каждого патрубка- «ниппеля» 600мм.

Стенд крепится к станине 1, образец НКТ 5 подвешивается с помощью механизма пространственного движения 2 и устанавливается в механизм крепления и раскрепления 6, которым является АПР-2ВБ, энергия поступает от привода стенда 3, свинчивание-развинчивание образцов осуществляется с помощью ключа КТГУ 4. Далее образцы свинчиваются на стендовом оборудовании типа СИНКТ – 450, показанном на рисунке 1, по следующим сериям циклов: 1, 3, 4, 6, 10, 20 и 30 при действии осевого сжимающего усилия 1,0 кН, имитирующего нагрузку на резьбовое соединение, создаваемую при свинчивании массой стандартной насосно-компрессорной трубы.

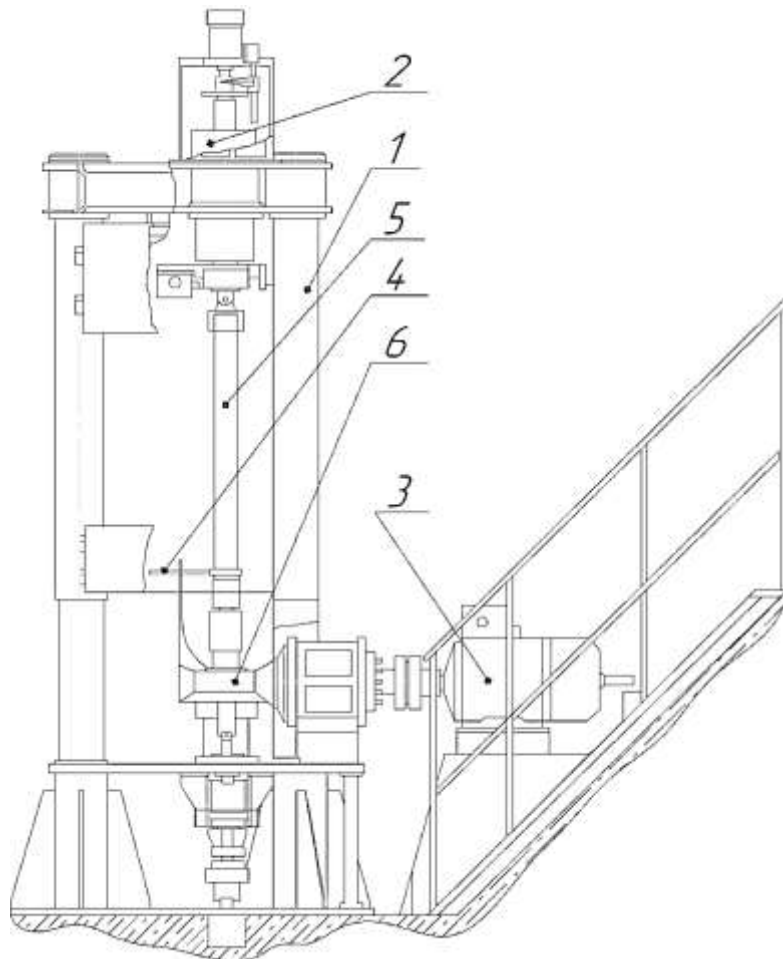
Проводилось по 30 циклов, после которых геометрия резьбы подвергалась критическим изменениям и дальнейшее исследование являлось не целесообразным. Основываясь на данных, можно сделать выводы об общих тенденциях процессов их изнашивания, выявленных в исследовании.

Так,

- По группе прочности Д отказ резьбы выявляется по натягу. Отказ вызван пластическими деформациями тела трубы, вызывающими изменение ее конусности. Результаты на рисунке 2;

- По группе прочности Е отказ резьбы по углам наклона сторон профиля. Углы наклона изменяются в следствии потери металла по боковым сторонам профиля резьбы. Рисунки 3;

- По группе прочности Р отказ резьбы по высоте профиля. Высота профиля изменяется в следствии износа, наблюдаемого по боковым сторонам и по профилю резьбы. Результаты показаны на рисунке 4.



1 – станина; 2 – механизм пространственного движения; 3 – привод станда;

4 – ключ КТГУ; 5 – НКТ; 6 – механизм крепления и раскрепления

Рисунок 1 – Лабораторный стенд для испытания образцов на износ

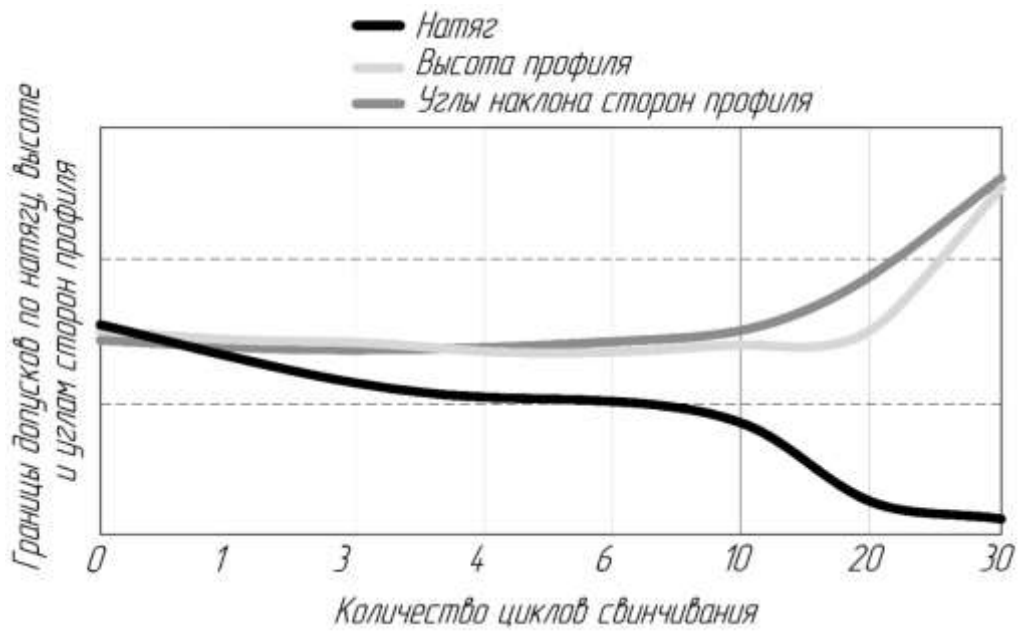


Рисунок 2 – Динамика изменения натягов резб ниппелей

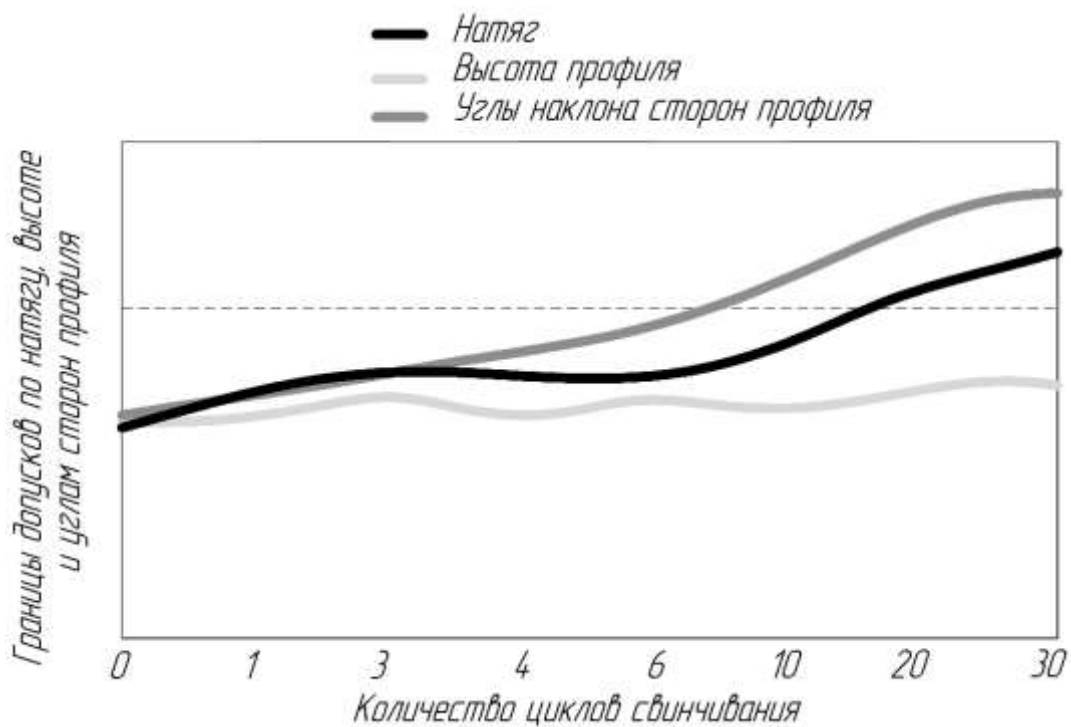


Рисунок 3 – Динамика изменения геометрии резьбы муфт



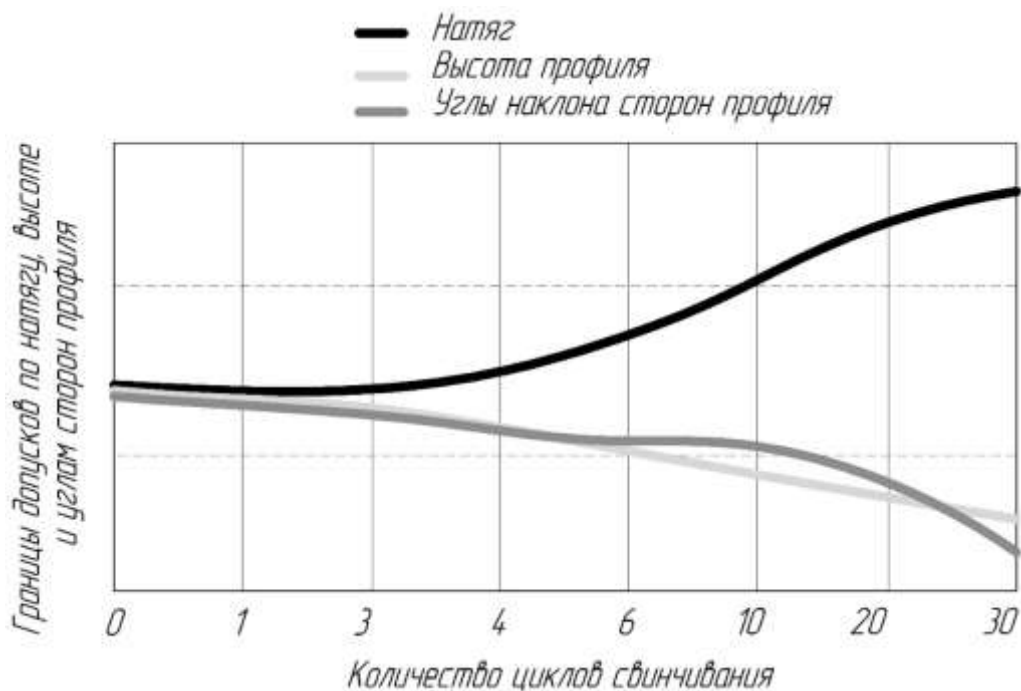


Рисунок 4 – Динамика изменения геометрии резьбы ниппелей

**Библиографический список:**

1. А.с. № 939716 (СССР). Стенд для испытания замковых резьб на износ / Шавин А.А., Головин А.А., Макалов В.Ф. и др. - ВНИИТнефть, Заявл. 22.12.80. №3221182/22-03; Опубл. 30.06.82 в Бюл. №24; Е 21 В 17/00.
2. ГОСТ 633–80. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия [Текст]. – Введ. 1983–01–01. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 22 с.
3. Поликарпов, М. П. Совершенствование нормативной базы характеристик эксплуатационной долговечности насосно-компрессорных труб [Текст] : дис. канд. тех. наук: 05.02.23: 02.04.2002 / Поликарпов Максим Петрович. – Москва, 2001. – 162 с.

УДК 622.276.7

**Модернизация комплекса механизации спуско-подъемных операций при подземном ремонте скважин**

Минилбаев А.А.

Научный руководитель – Коннов Ю.Д.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

При бурении и капитальном ремонте скважин наиболее трудоемкими и опасными работами являются спуско-подъемные операции (СПО).

Технология СПО за последние десятилетия не изменилась и осталась прежней, то есть состоящей из операций свинчивания - развинчивания инструмента на отдельные свечи или трубы, захвата их элеватором и установки (или взятия) в вертикальные пакеты или на мостки. Поэтому механизация этих трудоемких операций остается одной из главных проблем и задач совершенствования СПО. Это не исключает сокращение СПО за счет мероприятий по увеличению длины рейсов, увеличению скорости подъема и спуска, совмещению спуско-подъемных операций и др.

Итак, при проведении ремонтных работ скважин можно выделить следующие проблемы:

- проблема травматизма и трудоемкости работ;
- проблема содержания вредных веществ в рабочей зоне;
- проблема безопасности работ.

На протяжении 10 лет сотрудники кафедры совместно с сервисными компаниями занимаются разработкой механизации трудоемких процессов, как в бурении нефтяных и газовых скважин, так и в добыче нефти, а именно: автоматизации и механизации СПО. Прделана большая аналитическая работа на объектах ТКРС НК «Роснефть», НК «Башнефть» и выявлено закономерное падение производительности рабочих вахт к концу рабочей смены. Подвод, отвод, закрывание и открывание ключа являются часто повторяющимися элементами операции спуска и подъема инструмента.

В 2012 году был зарегистрирован патент на изобретение «Комплекс для механизации спуско-подъемных операций при капитальном и текущем ремонте скважин» [1].

В состав комплекса механизации спуско-подъемных операций (рисунок 1) включается гидроманипулятор, механизированная кассета (рисунок 2), опорные стойки, автоматический элеватор, верхний центратор, система свинчивания-развинчивания, включающий в себя гидроключ с гидравлическим стопорным устройством. Также в состав комплекса входит гидростанция, два пульта управления (первый – в кабине агрегата, второй – дистанционный) и приемные мостки.

В процессе спуска колонны НКТ, механизированная кассета выделает одну трубу НКТ и перекидывает на опорные стойки, гидроманипулятор забирает трубу со стоек, переводит в вертикальное положение. После этого он начинает перемещать трубу к устью скважины. Когда труба находится на одной оси с колонной НКТ, гидроманипулятор подает трубу в автоматический элеватор. После того, как труба начинает удерживаться автоматическим элеватором, захваты манипулятора приоткрываются таким образом, чтобы труба могла свободно перемещаться в осевом направлении.

Автоматический элеватор начинает опускать трубу, она центрируется захватами, затем ниппель трубы попадает в нижний центратор, который обеспечивает точное попадание ниппеля трубы в муфту трубы эксплуатационной колонны. Нижний центратор смонтирован на стопорном устройстве.

Так как талева система с автоматическим элеватором под действием ветровой нагрузки начинает раскачиваться, а для захвата колонны необходимо, чтобы торец муфты трубы мог точно войти в отверстие траверсы элеватора, то необходимо предотвратить колебания элеватора. Для этого используют верхний центратор, который монтируется на вышке. Так как сложно обеспечить точное попадание конца трубы в отверстие автоматического элеватора, к корпусу элеватора крепится конусообразная юбка, служащая для направления трубы в отверстие корпуса элеватора. При подаче трубы в элеватор происходит контакт трубы с конусообразной юбкой, поэтому, для предотвращения возникновения искры конусообразная юбка изготавливается из бронзы.

Центрирование трубы необходимо для обеспечения свинчивания-развинчивания насосно-компрессорных труб, так как в случае нестыковки ниппеля трубы и муфты трубы колонны возможны повреждения трубы, и, как следствие, потеря герметичности в колонне.

Гидроключ выдвигается к центру скважины при помощи гидроцилиндра и свинчивает трубы, стопорное устройство фиксирует колонну насосно-компрессорных труб от проворачивания в спайдере. После завершения свинчивания автоматический элеватор, подвешенный на крюкоблоке, начинает опускаться до тех пор, пока муфта трубы не займет положение между гидроключом и стопорным устройством. В этот момент колонна опускается на клинья спайдера, и свободный автоматический элеватор начинает движение в первоначальное положение, когда он находится внутри верхнего центратора.

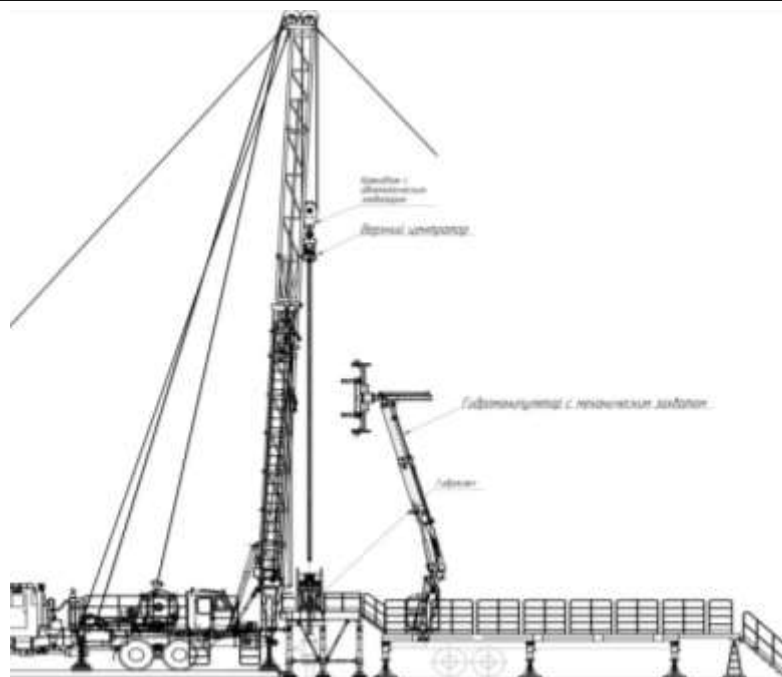


Рисунок 1 – Комплекс для механизации СПО

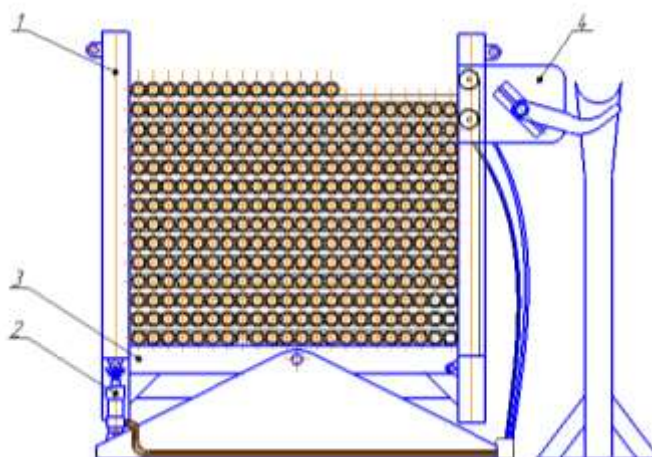


Рисунок 2 - Кассета с механизмом для перекидывания НКТ

Так как талевая система с автоматическим элеватором под действием ветровой нагрузки начинает раскачиваться, а для захвата трубы необходимо, чтобы торец муфты трубы мог точно попасть в отверстие траверсы элеватора, то необходимо предотвратить колебания элеватора. Для этого используют верхний центратор, который монтируется на мачте.

Процесс подъема колонны производится в обратном порядке.

Применение предложенного комплекса позволит повысить производительность на 20% и сократить время на СПО на 5-10%. Внедрение комплекса способствует снижению риска аварийности и травматизма за счет применения программного управления.

Применение предложенного комплекса позволит:

- а) значительно уменьшить время СПО;
- б) сократить численность рабочей бригады;

- в) повысить эффективность и безопасность работ;
- г) заменить тяжелую физическую работу механизированной с управлением с пульта управления;
- д) повысить культуру производства.



Рисунок 2 – Комплекс для механизации СПО в формате 3D

***Библиографический список:***

1. Патент РФ № 244608. – 2012. – Бюл. № 7 Комплекс для механизации спуско-подъемных операций при капитальном и текущем ремонте скважин
2. Сервер раскрытия информации - ОАО "НК "Роснефть" Решения совета директоров.  
URL: <http://www.e-disclosure.ru/Index.aspx?eventid=88bg8fFtz0iLPV6XZ-ANqVA-B-B>

УДК 621.81:681.2

**Методы разметки и контроля геометрических параметров при сборке корпусов цилиндрических сосудов и аппаратов**

Миргадиев Д.И, Гумеров А.И.

Научный руководитель – Ризванов Р.Г.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

В нефтеперерабатывающей и нефтегазовой промышленности большую долю аппаратов составляют цилиндрические сосуды и аппараты. К ним предъявляются повышенные требования по точности изготовления корпусов и расположению внутренних устройств.

При сборке корпусов цилиндрических сосудов и аппаратов необходимо уделять особое внимание операциям разметки и контролю геометрических параметров собираемых деталей. Основными показателями, характеризующими отклонения формы цилиндрической поверхности корпуса, являются отклонения от круглости и прямолинейности. Также необходимо учитывать, что при сварке двух обечаек между собой необходимо обеспечивать минимальное смещение кромок.

Нормативной технической документации регламентируются допускаемые отклонения геометрических форм и параметров. Для колонных аппаратов допускаемая овальность составляет  $\pm 0,5\%$  номинального диаметра. Однако в технической документации могут быть указаны более жесткие требования. Это объясняется тем, что при большой овальности

корпуса будет невозможно установить внутри аппарата тарелки или другие внутренние устройства.

Так же нормативными документами регламентируется отклонение от прямолинейности, которое должно составлять не более 2 мм на длине 1 метр, но не должно превышать 15 мм при длине корпуса больше 15 метров.

Еще одним важным параметром является точность установки опорных элементов тарелок в тарельчатых колонных аппаратах. Отклонение от перпендикулярности опорных частей тарелок не должно превышать 2 мм при диаметре аппарата до 2000 мм, 3 мм – при диаметре от 2000 до 3000 мм, 4 мм – при диаметре от 3000 до 6000 мм и 5 мм – при диаметре аппарата свыше 6000 мм.

Так же при выполнении разметочных операций стоит учитывать допуск на расположение самих тарелок. Отклонение расстояния между соседними тарелками не должно превышать  $\pm 3$  мм. Отклонение по высоте нижней тарелки не должно превышать  $\pm 5$  мм от нижней кромки обечайки корпуса и  $\pm 15$  мм до верхней тарелки, при этом для промежуточных тарелок оно пропорционально изменяется.

В кожухотрубчатых теплообменных аппаратах отклонение внутреннего диаметра корпуса должно соответствовать Н14 по ГОСТ 25347-82. Максимальное отклонение для аппаратов диаметром 1000 мм составляет 2,6 мм, для аппаратов диаметром свыше 2400 мм – 5,4 мм. Однако не стоит забывать о том, что внутри теплообменного аппарата устанавливается трубный пучок. И для возможности его монтажа и обеспечению минимальных зазоров между поперечными перегородками технической документацией задаются повышенные требования при изготовлении корпусов. Даже при соблюдении требований нормативных документов, рекомендуется уменьшать технологический зазор между перегородками и корпусом для увеличения эффективности теплообменного аппарата [1].

Допускаемое смещение кромок для аппаратов составляет 10% от толщины стенок, но не больше 3 мм [2]. Это смещение накладывает дополнительные требования к отклонениям геометрических размеров обечаек. Если при сварке тонкостенных обечаек смещение кромок можно устранить, используя центровочные кольца, то при сборке толстостенных аппаратов, необходимо применять дорогостоящее оборудование, которое имеется не на всех заводах, изготавливающих цилиндрические сосуды и аппараты.

Исходя из вышеуказанного следует, что на этапе сборки требуется уделять повышенное внимание операциям разметки и контролю геометрических параметров. Также необходимо проводить промежуточный контроль геометрических параметров во время сборки, чтобы своевременно устранять дефекты с минимальными затратами труда.

В настоящее время на предприятиях, изготавливающих цилиндрические сосуды и аппараты применяются несколько методов разметки и контроля геометрических параметров корпусов. Одним из самых распространённых методов является способ разметки с помощью рулетки, гидроуровня и пузырькового уровня. Данный метод прост в использовании. Однако он также имеет низкую точность при разметочных операциях и высокую погрешность при операциях контроля. Погрешность рулетки класса EU I составляет от  $\pm 0,3$  мм (при длине полотна 2 метра) до  $\pm 5,1$  мм (при длине полотна 50 метров) (таблица 1). При этом не учитывается температурное расширение полотна рулетки. Так, при изменении температуры окружающего воздуха на  $10^{\circ}\text{C}$  происходит удлинение или сжатие полотна на 1 мм, что увеличивает погрешность измерений. Также рулетки оснащены крюком, который имеет люфт для обеспечения правильности замеров при разных способах крепления этого крюка. Однако со временем этот люфт усиливается, что также увеличивает погрешность измерений. В сумме всех этих погрешностей, суммарная погрешность измерений превышает допустимые значения отклонений, что приводит к высокой доли брака и повышает трудозатраты на изготовление сосудов и аппаратов.

Таблица 1 – погрешности измерительных рулеток в зависимости от класса точности и длины полотна

Длина полотна, м	Погрешность, мм	
	Класс EU I	Класс EU II
2	± 0,3	± 0,7
3	± 0,4	± 0,9
5	± 0,6	± 1,3
8	± 0,9	± 1,9
10	± 1,1	± 2,3
15	± 1,6	± 3,3
20	± 2,1	± 4,3
25	± 2,6	± 5,3
30	± 3,1	± 6,3

Второй способ проведения разметочных операций и операций контроля форм является метод с использованием лазерного визира. Суть данного метода заключается в следующем: определяются центра торцевых сечений; в них устанавливаются мишени, затем луч лазерного визира, установленного возле одного из торцов корпуса, направляется через обе мишени, тем самым определяется условная ось аппарата; после чего в нужном месте внутри корпуса устанавливается устройство для поворота луча и лазерный луч проецируется на внутреннюю поверхность аппарата и размечаются кольцевые линии. Разметка главных линий корпуса и положения кольцевых линий на главных линиях производится с помощью рулетки согласно чертежа развертки корпуса аппарата. Преимуществом данного метода является повышенная точность разметки кольцевых линий, что снижает значения отклонения от перпендикулярности опорных деталей тарелок. Однако использование измерительной рулетки вносит высокую погрешность при разметке положения кольцевых линий, что в свою очередь влияет на отклонение по шагу между тарелками. Также к недостаткам данного метода можно отнести необходимость переоборудовать стенд для сборки корпусов аппаратов, так как лазерный визир необходимо устанавливать на расстоянии возле одного из торцов аппарата, что не всегда возможно в условиях производства. При этом данный метод не позволяет производить контроль геометрических параметров собираемых деталей.

В патенте 2166729 [3] рассматривается способ контроля формы и внутренних диаметров цилиндрических аппаратов с помощью механического профилографа центровым методом. Профилограф устанавливается в нужном сечении, затем производится замер радиус векторов. После чего рассчитываются отклонение установки профилографа от центра сечения и значение отклонения от круглости в данном сечении. Преимуществом данного метода является мобильность измерительной установки, т.е. возможность производить измерения в любом месте производственного цеха или на монтажной площадке. К недостаткам можно отнести пониженную точность, так как профилограф является механическим прибором.

Волгоградским государственным техническим университетом предлагается метод разметки колонных аппаратов с помощью комплекса оборудования для лазерной разметки [7]. В нем используются лазерные нивелиры, лазерный дальномер, механические устройства для крепления и точного расположения оборудования. Данный метод использует лазерные технологии при проведении замеров и операций разметки, что существенно повышает точность. Так, погрешность лазерного дальномера составляет  $\pm 1$  мм при дальности измерения 200 метров. На точность замеров не влияет температура окружающей среды, как в случае использования измерительной рулетки. При данном методе разметки, сначала определяются главные линии аппарата с помощью перемещения нивелира и определения 4 точек главных линий на торцевом сечении аппарата. Затем эти точки переносятся на другой торец аппарата и прочерчиваются главные линии. Установив по этим точка две мишени в торцевых сечениях, находится условная

ось аппарата. Затем располагая лазерный нивелир на нужном расстоянии от торца с помощью лазерного дальномера отмечаются кольцевые линии аппарата. Преимуществами данного метода являются высокая точность разметочных операций, мобильность установки и отсутствие необходимости переоборудовать производственный цех, как при использовании лазерного визира. К недостаткам данного метода можно отнести сложность его использования и необходимость привлекать или обучать специалиста по использованию данного комплекса оборудования и невозможность производить контроль геометрических параметров аппарата.

Вывод: в настоящее время требуется уделять особое внимание разметочным операциям и операциям контроля геометрических форм. Однако существующие методы имеют недостатки при осуществлении данных операций. Наиболее прогрессивными методами являются способы с использованием лазерной техники, которая получила большое развитие в последнее время и позволяет производить высокоточные замеры с минимальными затратами как денежных средств, так и труда.

**Библиографический список:**

- 1 Четверткова О.В., Ризванов Р.Г. Влияние конструктивных зазоров на интенсивность теплообмена и гидравлическое сопротивление кожухотрубчатого теплообменного аппарата / Четверткова О.В., Ризванов Р.Г. // Нефтегазовое дело. – 2012. - №3. – С. 109 – 112
- 2 ГОСТ Р 52630-2006 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия
- 3 Пат. 2166729 Российская Федерация, МПК G 01 В 005/08, G 01 В 005/12. Способ контроля формы и диаметров внутренних сечений крупногабаритных цилиндрических деталей [Текст] / Ризванов Р.Г., Инсафутдинов А.Ф., Абдеев Р.Г.; заявитель и патентообладатель Ризванов Р.Г., Инсафутдинов А.Ф., Абдеев Р.Г. - № 2000116682/28; заявл. 23.07.00; опубл. 10.05.01. Бюл. №13. – 2001

УДК 622.24.051.5

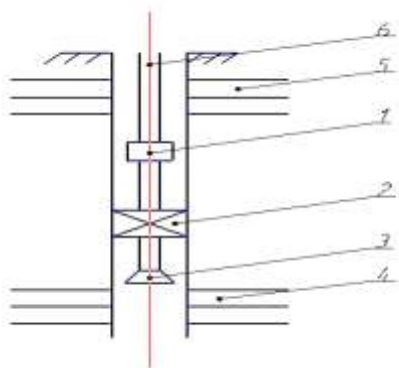
**Технология проведения вертикального селективного гидравлического разрыва пласта с использованием шарового клапана-отсекателя**

Набиуллин Д.У., Копейкин И.С.

Научный руководитель: Копейкин И.С.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа

На сегодняшний день существует технология вертикального селективного ГРП. Технология заключается в закачке технологической жидкости ГРП в пласт на различных интервалах. Данный метод ведёт к значительному повышению дебита скважины и уменьшению времени ввода скважины в эксплуатацию. Технология вертикального селективного ГРП активно применяется на месторождениях Западной Сибири. Схема проведения селективного ГРП в вертикальных скважинах представлена на рисунке 1.



- 1-Клапан шаровой
- 2-Пакер манжетного или набухающего типа
- 3-Воронка
- 4-Нижний обрабатываемый интервал пласта
- 5-Верхний обрабатываемый интервал пласта
- 6-НКТ

Рисунок 1- Схема технологии вертикального селективного ГРП



Технология проведения селективного ГРП заключается в спуске на НКТ компоновки на расстояние первого обрабатываемого интервала пласта. Затем, с помощью вращения колонны НКТ вправо происходит открытие проходного канала, и производится процесс ГРП. После успешного проведения, закрываем проходной канал поворотом колонны НКТ влево и производим спуск или подъём компоновки на расстояние следующего обрабатываемого интервала пласта

В настоящее время на рынке внутрискважинного оборудования Российской Федерации отсутствуют отечественные разработки шаровых клапанов-отсекателей. Существуют зарубежные аналоги данного типа инструмента, имеющие весьма высокую стоимость. Кроме того, применение зарубежного оборудования не желательно в рамках политики импортозамещения. В связи с выше изложенным, авторы предлагают применять внутрискважинный шаровой клапан-отсекатель, конструкция которого описана ниже»

### **Внутрискважинный шаровой клапан-отсекатель для геолого-технических мероприятий**

Внутрискважинный шаровой клапан-отсекатель для геолого-технических работ – это отдельный узел скважинного оборудования, который может быть использован вместе с внутрискважинными компоновками, применимыми для таких мероприятий, как гидравлический разрыв пласта, перфорация скважин при депрессии, капитальный ремонт скважины и т.д., а также применяться как отдельное изделие.

Клапан-отсекатель предназначен для многократного герметичного перекрытия и открытия проходного канала НКТ. В действие клапан приводится вращением колонны НКТ. Вправо для открытия, влево для закрытия.

Клапан-отсекатель представляет из себя шар (рисунок 2) с проходным каналом, уплотненный с одной стороны и зафиксированный обжимной гайкой. Шар обладает возможностью поворачиваться на 90°, открывая и закрывая проходной канал.

Срабатывает клапан благодаря штоку (рисунок 3) имеющему трапецеидальную многозаходную резьбу. Шток соединён с трубами НКТ с помощью резьбы. Во время вращения колонны НКТ шток перемещает гильзу клапана, находящуюся с ним в зацеплении с помощью трапецеидальной резьбы.

Кроме того, клапан способен выравнивать перепад давления за счет наличия в конструкции золотникового клапана (рисунок 4), срабатывающего перед открытием проходного канала шара клапана. Кроме того, надо отметить, что при закрытии проходного канала шара, сперва происходит перекрытие основного канала шаром, после чего закрывается золотниковый клапан или клапан выравнивания.



Рисунок 2 – Шар клапана



Рисунок 3 – Шток

На сегодняшний день на нефтегазовых промыслах применяется большое разнообразие клапанов-отсекателей. Но большая часть из них имеет низкую эксплуатационную надежность, необходимость выравнивания давления, плохую



проходимость или даже невозможность опускания через них технологического и измерительно-контрольного оборудования. Все эти недостатки были устранены в внутрискважинном шаровом клапане. Кроме того, в настоящее время в отечественно промышленности шаровые клапаны для нефтегазовых скважин не изготавливаются. На Российском рынке имеется продукция только зарубежных предприятий. Проведя анализ не которых из них, можно сделать выводы, что их стоимость по сравнению с представленным изделием не оправданно велика и ко всему прочему большинство требует предварительного выравнивания давления, что усложняет процесс эксплуатации оборудования. Плюс к этому срок службы таких клапанов сравнительно короче, либо и вовсе одноразового действия.



Рисунок 4 – Золотниковый клапан

Благодаря разработке специальных седел на которые садиться шар, достигаются такие важные показатели надежности, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность. Эти показатели объясняют возможность многократного открытия и закрытия клапана.

В данный момент был разработан шаровый клапан с наружным размером 114 мм, проходным каналом 50 мм и присоединительными резьбами НКТ-73, под названием КШВ-ГРП. Изделие находится на технологической проработки и ждет начала стендовых испытаний. В случае проведения успешных испытаний и получения положительных результатов, для представленного клапана уже подготовлен перечень модернизаций один из которых коснется увеличения проходного канала для данного типа размера.

Технические характеристики клапана представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики внутрискважинного шарового клапана-отсекателя.

Показатели	Значения
Максимальный крутящий момент передаваемый через клапан, кгс×м	150
Максимальная нагрузка на клапан, кН	
• Сжимающая	300
• Растягивающая	350
Максимальный перепад давления на клапан, МПа	50
Максимальная температура, °С	100(150)
Открытие клапана, 150 кгс×м	Вращение колонны НКТ вправо
Закрытие клапана, 40-60 кгс×м	Вращение колонны НКТ влево

В данный момент был разработан шаровый клапан с наружным размером 114 мм, проходным каналом 50 мм и присоединительными резьбами НКТ-73, под названием КШВ-ГРП. Изделие находится на технологической проработки и ждет начала стендовых испытаний. В случае проведения успешных испытаний и получения положительных

результат, для представленного клапана уже подготовлен перечень модернизаций один из которых коснется увеличения проходного канала для данного типа размера.

Монтаж и демонтаж клапана-отсекателя на устье скважины проводится бригадой КРС стандартным оборудованием и инструментом. Полный средний срок службы клапана достигает 3 лет. Среднее время восстановления работоспособного состояния равняется 5 часов. Структурное обозначение такого клапана приведено на рисунке 5.



Рисунок 5

Подводя итоги можно сказать, что данное изделие имеет принципиально новую конструкцию внутрискважинного шарового клапана-отсекателя, способного самостоятельно выравнивать давление при открытии, позволяющий многократно разделять и сообщать области высокого и низкого давления. В результате использования данного клапана-отсекателя обеспечивается надежная герметизация при проведении различных геолого-технических мероприятий, например, таких как ГРП.

#### **Выводы**

Применение внутрискважинного шарового клапана-отсекателя позволяет производить перекрытие и открытие внутритрубного пространства без предварительного выравнивания давления. Использование в конструкции клапана твердосплавных материалов исключает вероятность заклинивания шара и его заедания при работе. Таким образом, можно заключить, что использование данного оборудования в схеме вертикально-селективного ГРП обеспечит более надежную и технологически выгодную схему работ.

#### **Библиографический список:**

1. Копейкин И.С., Тихонов А.Е., Лягов А.В. Перспективы применения погружной компоновки для селективного испытания продуктивных пластов в открытом стволе нефтегазовых скважин // Нефтегазовое дело: науч. журн./УГНТУ. 2016. №1. С. 40-45.
2. Ишмурзин А.А. Нефтегазопромысловое оборудование: учебник. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2008. -565 с.
3. Копейкин И.С., Применение шарового клапана-отсекателя в многостадийном ГРП вертикальной скважины.// 66-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. - Уфа: Издательство УГНТУ, 2015. Кн. 1. - 353 с
4. Повышение надежности и эффективности работы оборудования для строительства и ремонта скважин / А.В. Лягов, Е.Г. Асеев, Н.А. Шамов // Проектирование и эксплуатация нефтегазового оборудования: проблемы и решения: материалы Всерос. науч.-техн. конф./ Ред. кол. А. М. Шаммазов; Уфим. гос. нефт. техн. ун-т. – Уфа, 2004. 3-8 с.

5. Perspectives for designing fluid cleaners (from patent documentation). Yamaliev V.U., Ishemguzhin E.I., Gorshunova L.P. Chemical and Petroleum Engineering. 1991. Т. 27. № 9. С. 501-505.

УДК 622.692.4+620.1

**Использование метода магнитной томографии для выявления дефектов в труднодоступном трубном технологическом оборудовании**

Насоновский А.С.

Научный руководитель - Борейко Д.А.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Диагностика технологических и вспомогательных трубопроводов выполняется в соответствии с требованиями нормативных документов и методик. Все методы неразрушающего контроля (НК) можно разделить на два вида: пассивные и активные (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Пассивные и активные методы неразрушающего контроля

<b>Пассивные методы НК</b>	<b>Активные методы НК</b>
Тепловой (ТК)	Визуально-измерительный (ВИК)
Акустико-эмиссионный (АЭ)	Капиллярный (ПВК)
Метод магнитной томографии (МТМ)	Вибродиагностический (ВД)
Метод магнитной памяти (МП)	Электрический (ЭЛ)

С помощью диагностики определяют состояние стенки и состояние изоляции трубы, расположение трубопровода и оценочный прогноз безаварийной эксплуатации объекта. При этом не всегда возможно получить полную информацию о всех негативных факторах, воздействующих на конкретный трубопровод или участок трубопровода.

Контроль металла труб на всем протяжении традиционными методами является весьма сложным, дорогостоящим и малоэффективным, т. к. требует доступа к 100% поверхности трубопровода, её подготовки и других вспомогательных операций. В шурфах можно провести контроль металла максимум на 2% по длине трубопровода, что не обеспечивает и не может обеспечить реальной оценки безопасности.

Компания ООО «Транскор-К» разработала комплексное решение по выявлению опасных участков, техническому диагностированию и оценке безопасности наземных, подземных и подводных трубопроводов, подлежащих и неподлежащих внутритрубной дефектоскопии. Метод магнитной томографии (МТМ) основан на эффекте Виллари (магнитоупругий эффект или обратная магнитострикция) [2].

Эффект Виллари (магнитоупругий эффект) - явление обратной магнитострикции, заключающееся в изменении намагниченности магнетика под действием механических деформаций. При изменении магнитного поля трубопровода магнитометрический комплекс регистрирует различные дефекты (включая напряжения в металле, коррозию и т.д.).

В основе концепции оценки надежности методом МТМ лежит представление о том, что опасность для разрушения конструкции представляет собой локальную комбинацию дефектов и напряжений. Данный метод позволяет дистанционно зарегистрировать и выявить участки с концентраторами напряжений в металле трубы по магнитному отклику и определить степень их опасности.

Преимущества МТМ по сравнению с другими методами неразрушающего контроля заключаются в следующем (таблица 2):

- не требует остановки трубопровода;
- не требует специальной подготовки трубы;
- не требует контакта с трубопроводом и изменения рабочего режима;

- не требует камер пуска-приема внутритрубных снарядов (поиска снаряда в случае застревания);
- не требует очистки трубопровода;
- не требует специализированной подготовки внутренней поверхности;
- эффективен для инспекции на предмет микротрещин в сварных соединениях на местах повышенных нагрузок в новых трубопроводах.

Таблица 2 – Сравнение методов неразрушающего контроля

Дефекты, повреждения	Поверхностная инспекция	Гидро-тестирование	Акустическое исследование	Геотехническое исследование	Катодная защита	Линейная инспекция	Магнитный метод (МТМ)
Вандализм	+	-	-	-	-	-	+
Внешнее разрушение (ECDA)	-	+	+	-	-	+	+
Внутреннее разрушение (ICDA)	-	+	+	-	-	+	+
Усталость материала	-	++	-	-	-	+	+
Повреждение изоляционного покрытия	-	-	-	-	+	-	-
Производственные дефекты	-	+	-	-	-	+	+
Движение грунта	-	-	-	+	-	-	+

Также существуют следующие ограничения по использованию МТМ:

- расстояние от магнитометра до трубопровода не более  $15 \cdot D$  трубы;
- диаметр трубопровода, подлежащий МТМ не менее 80 мм;
- длина трубопровода для проведения МТМ не менее 100 м;
- металлические предметы, зарытые в земле, могут создавать искажения результатов обследования;
- требуется расчистка трассы от кустарника и других препятствий на ширину 1 м для прохода оператору.

Для проведения МТМ используют бесконтактные сканирующие магнитометры МБС-04 «СКИФ». Принцип действия магнитометров основан на измерении магнитной индукции помощью трех трехкомпонентных магнитомодуляционных преобразователей (феррозондов).

В процессе движения вдоль оси исследуемого сооружения осуществляется регистрация значений магнитной индукции зависимости от пройденного расстояния с шагом 25 см. Одновременно с этим магнитометр регистрирует информацию местонахождения наземных привязок вдоль трассы сооружения (трубопровода).

Технические характеристики прибора МБС-04 «СКИФ» представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики прибора МБС-04 «СКИФ»

Показатель	Значение
Напряженность магнитного поля в Н или Ам <sup>-1</sup>	10 <sup>-9</sup>
Диапазон уровней механических напряжений	В пределах 0,35-0,7 от $\sigma_T$
Диапазон толщин стенки ОК в интервале $\approx$ от 5 до 90 %	$\geq 2.8$ мм (максимум не лимитирован)
Ограничения по диаметрам D трубопроводов	$56 \leq D \leq 1420$ мм и более
Диапазон скорости МТМ-обследования	2-5 м/с

Показатель	Значение
Максимальное давление	Не регламентировано
Минимальное давление (для нефтепроводов)	Не регламентировано
Минимальный радиус поворота (отвода)	Не лимитировано
Минимальный внутренний диаметр	Не лимитировано
Габаритные размеры оборудования	655×150×95 мм
Масса прибора	4,7 кг
Протяженность контролируемого участка, минимум	40 м
Полнота контроля по протяженности объекта	100 %
Допустимое отклонение от оси подземного объекта по горизонтали/по вертикали	Не более 3 D Не более 15 D
Шаг сканирования, максимум	0,02 м
Ошибка определения продольной координаты аномалии	± 1,5 м (для средних широт)
Погрешность одометра по измерению расстояния (от точки «0» обследования)	≤ 2 %

МТМ прошла успешную промышленную апробацию на трубопроводах, в том числе не подлежащих внутритрубному обследованию, протяженностью более 20 тысяч километров с глубиной залегания до 8 м (таблица 4).

Таблица 4 – Промышленная апробация метода магнитной томографии (МТМ)

Заказчик	Страна	Кол-во контрольных точек	Достоверность, %
ПАО «ГАЗПРОМ»	Россия	137	>83
ОАО «ТНК-ВР»	Россия	39	90
ПАО «Транснефть»	Россия	8	87
Sinopec Corp.	Китай	29	95
ПАО «ЛУКОЙЛ»	Россия	43	95
Chevron Corp.	Индонезия	45	92
National Greed	Великобритания	39	89
PETRONAS	Малайзия	145	>87

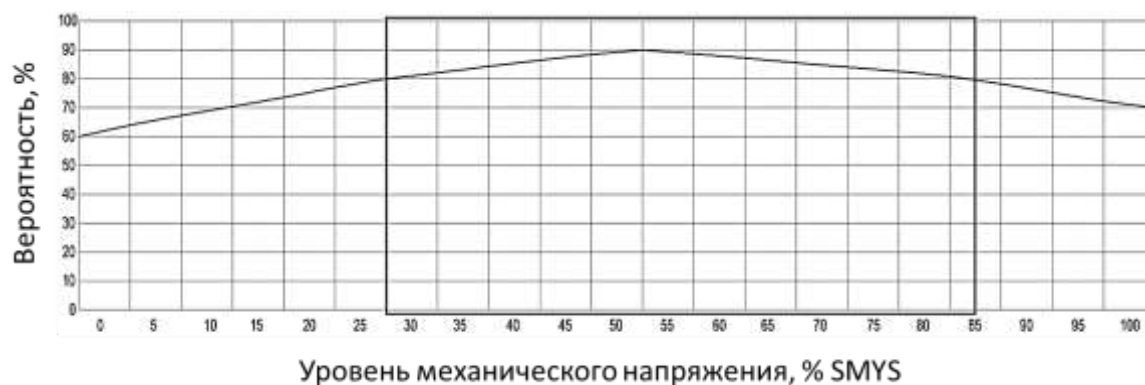


Рисунок 1 – График достоверности определения опасных участков методом магнитной томографии (МТМ).

В рамках научной апробации технологии МТМ по договору с ООО «ЛУКОЙЛ-УНП» и ФГБОУ ВО «УГТУ» проведено инспектирование на противопожарном водопроводе В2-6, технические характеристики которого представлены в таблице 5.

Целью работ являлось определение технического состояния и рисков перехода трубопровода в предельное состояние. Дополнительными основаниями проведения исследований являлась проверка участка трубопровода, на котором в марте 2017 г. была обнаружена потеря герметичности по причине язвенной коррозии.

Таблица 5 – Технические характеристики противопожарного водопровода В2-6 ООО «ЛУКОЙЛ-УНП»

Параметр	Значение
Номинальный диаметр	426 мм
Длина	1 281 м
Марка стали	Сталь 20
Толщина стенки труб	7 мм
Рабочее давление	0,65 МПа
Разрешенное давление	0,5 МПа
Срок ввода в эксплуатацию	2004 год
Продукт	Пожарная вода
Предел текучести	147 МПа

Технология ремонта, примененная для устранения причины аварии – установка бандажа в виде приваренной по диаметру трубы металлической пластины. Таким образом, непосредственно дефекты на данном участке устранены не были.

Для технологических трубопроводов, помимо потери герметичности, характерны следующие категории предельных состояний:

- разрыв трубопровода под действием внутреннего давления с раскрытием стенки при действии кольцевых напряжений;
- местная потеря устойчивости стенки трубы (местное смятие) при общем изгибе трубопровода в зоне действия сжимающих продольных напряжений (для предотвращения необходимо ограничивать уровень деформаций в сечении, путём снижения как относительных, так и абсолютных значений изгибающих (или комплексных) напряжений);
- гофрообразование по телу трубы;
- усталость (FLS) и образование трещин в кольцевых и продольных сварных швах, зонах термического влияния, по телу трубы;
- потеря сплошности под действием внутренних напряжений, возникающих от внешних нагрузок;
- коррозионное растрескивание под напряжением (КРН).

МТМ позволяет выявить любое из этих состояний по критерию недопустимых напряжений в интервале 30-85%  $\sigma_t$  (SMYS) на участках аномалий напряженно-деформированного состояния (НДС), связанных с концентраторами механических напряжений.

Результаты сканирования представляются в виде карты с обозначением выявленных аномалий. В соответствии с методикой обработки и анализ данных МТМ существуют 3 ранга опасности аномалий (1, 2 и 3). Результаты сканирования противопожарного трубопровода представлены на рисунке 2.

Для каждого из выявленных участков с аномалиями рассчитан Риск-Фактор (F) в соответствии со Спецификацией МТМ и РД 102-008-2002 [4]. Все участки с аномалиями были ранжированы по уровню НДС в условиях фактической нагрузки (рабочее давление, изменение температуры, потеря устойчивости и т. д.). Участки, предлагаемые в ремонт на основании данных МТМ, отражены в таблице 6.

При сканировании методом МТМ заведомо известного дефектного участка, на

котором произошла потеря герметичности, обнаружена аномалия первого ранга, для которой время безопасной эксплуатации оценочно составило 1 год. На основании полученных результатов ООО «ЛУКОЙЛ-УНП» будут запланированы работы по шурфовке участков в области обнаруженных аномалий первого ранга в соответствии с координатами и схемой.



Рисунок 2 – Результаты сканирования противопожарного водопровода В2-6 ООО «ЛУКОЙЛ-УНП».

Таблица 6 – Результаты сканирования противопожарного трубопровода В2-6 ООО «ЛУКОЙЛ-УНП».

№ аномалии	GPS-координаты		Ранг опасности	Риск-Фактор (F)	Длина, [м]	Т <sub>без</sub> , [г]
	Долгота	Широта				
1	N63°34'36.960"	E53°44'19.472"	1	0,059	6,0	1
2	N63°34'38.308"	E53°43'57.123"	1	0,191	4,1	3
3	N63°34'39.950"	E53°43'53.890"	1	0,194	3,7	3

Метод магнитной томографии по сравнению с другими методами неразрушающего контроля имеет следующие положительные факторы:

- нет необходимости останавливать рабочее состояние трубопровода;
- в связи с возрастанием темпа строительства нефте- и газопроводных сетей данная технология имеет перспективы;
- по сравнению с другими методами неразрушающего контроля, технология МТМ показала наибольшую эффективность, а в случаях с трубопроводами, не оборудованными камерами пуска-приёма, остаётся вне конкуренции.

**Библиографический список:**

1. Неразрушающий контроль: методы, характеристики, преимущества // Техно-НДТ URL: <http://t-ndt.ru/nerazrushayushhij-kontrol-metodyi,-xarakteristiki,-preimushhestva-1888.html> (дата обращения: 06.01.2019).
2. <http://transkorgroup.com/ru/> [Электронный ресурс].
3. РД 102-008-2002 «Инструкция по инспектированию технического состояния трубопроводов бесконтактным магнитометрическим методом» / Руководящий документ. – М. : МИНЭНЕРГО РФ. – 2003. - 52 с.

УДК 621.822.5:621.891:678.046.2

**Оценка влияния ультрадисперсной технической сажи на триботехнические свойства жидких смазочных материалов, применяющихся в радиальных подшипниках скольжения**

Оленченко Е.Е.

Научный руководитель – Быков И.Ю.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Подшипником скольжения называют опору для поддержания вала (или вращающейся оси). В таком подшипнике цапфа вращающегося вала (или оси) проскальзывает по опоре.

Радиальные подшипники скольжения (или просто подшипники скольжения) предназначены для восприятия радиальной нагрузки. В таких подшипниках поверхности цапфы вала (или оси) и подшипника находятся в условиях относительного скольжения. При этом возникает трение, которое приводит к изнашиванию пары вал (ось) — подшипник.

Для уменьшения изнашивания необходимо рационально выбирать материал трущихся пар и обеспечить нормальные условия смазывания рабочих поверхностей.

Подшипники скольжения широко применяются в технике, и обладают положительными качествами: простотой конструкции, долговечности при эксплуатации, небольшим размером в радиальном направлении, стойкости к статическим и динамическим нагрузкам. Несмотря на простую конструкцию подшипник скольжения представляет собой очень важный узел оборудования, в котором, должен быть обеспечен гидродинамический режим смазки.

Подшипник скольжения работает при наличии смазочного материала в зазоре между цапфой вала и вкладышем. В механизмах и агрегатах смазка служит для выполнения нескольких функций – уменьшение сил трения, износа деталей, для охлаждения и очистки от продуктов износа, защиты от коррозии. [2].

Обеспечение надежности подшипников и повышение ресурса их эксплуатации возможно за счет использования масел с более эффективными смазочными свойствами.

Перспективным в этом направлении является применение твердых антифрикционных добавок, улучшающих условия для скольжения взаимодействующих деталей.

Целью проведения исследования, по введению присадок технического углерода в смазочный материал, является оценка их влияния на работоспособность подшипникового узла и улучшение таких показателей как прочность смазочной пленки, снижение трения, и уменьшения износа в зоне контакта пары вал-втулка.

Для определения влияния ультрадисперсной присадки модифицированной технической сажи, в базовое масло, на работу подшипников скольжения в Красноярском государственном техническом университете были проведены испытания на стенде ИИ 5018, представленного на рисунке 1 [1].

Испытательный стенд ИИ 5018 предназначен для проверки на трение и износ металлов и материалов, полимеров и композитов.

Машина имеет электромеханический привод с регулированием скорости. Измеритель момента трения на вращающемся валу - электромеханический, с бесконтактным токосъемом. Прижим образцов - пружинный с электрическим измерением силы. Охлаждение – водяное.

Испытание проводилось по схеме вал – втулка.

Машина оснащена, программно-техническим комплексом, задачей которого является прием и обработка информации, поступающей от испытательной машины.

Испытания со смазкой проводились в специальной камере. В процессе испытаний измеряется момент трения, сила прижима, температура, частота вращения, путь трения. Машина устанавливается на опорах устойчивых к вибрации, специальный фундамент не требуется.





Рисунок 1 - Универсальная машина ИИ 5018

В качестве добавки в смазочную композицию применялись ультрадисперсные порошки технической сажи.

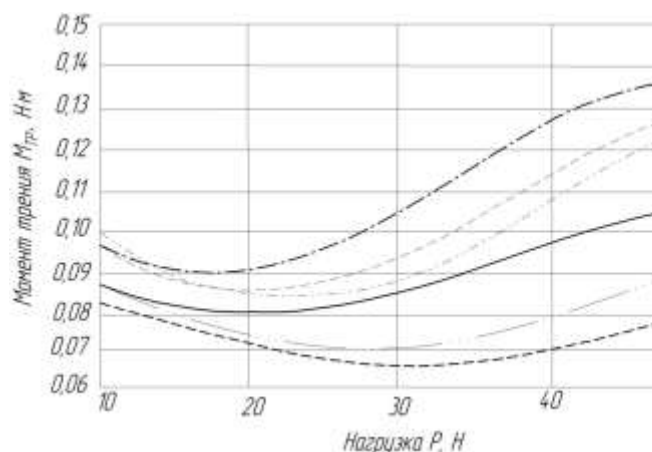
Техническая сажа представляет собой в основе графит – твердый природный материал с гексагональной кристаллической решеткой. При нормальных атмосферных условиях, графит обладает отличными антифрикционными свойствами

Используемый в смазочной композиции порошок ультрадисперсной модифицированной технической сажи представляет собой смесь углерода с сульфидом цинка, содержание которого 3 % по массе, с размером частиц 10 – 100 нанометров. Основой смазочной композиции было трансмиссионное масло Тп-22

Исследования проводили на стенде ИИ 5018, пара трения «вал-втулка» при интервале нагрузок от 10 до 50 Н и окружной скорости 158 рад/с. Для проведения исследования были выбраны алюминиевые и латунные втулки.

При исследовании содержание ультрадисперсной технической сажи в исходном смазочном материале находилось в пределах от 0,1 до 1% от общей массы смазочной композиции.

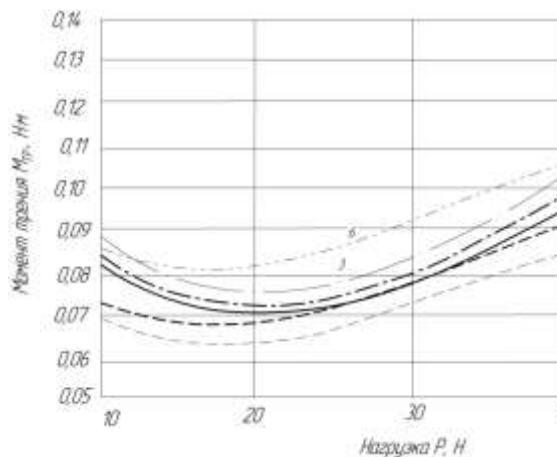
Эффективную концентрацию ультрадисперсной модифицированной технической сажи определяли исходя из полученных значений момента трения.



- 1 – масло Тп-22;
- 2 – масло Тп-22+0,1 % добавки;
- 3 – масло Тп-22+0,2 % добавки;
- 4 – масло Тп-22+0,3 % добавки;
- 5 – масло Тп-22+0,5 % добавки;
- 6 – масло Тп-22+1 % добавки;

Рисунок 3 – Зависимость момента трения от нагрузки (алюминий)

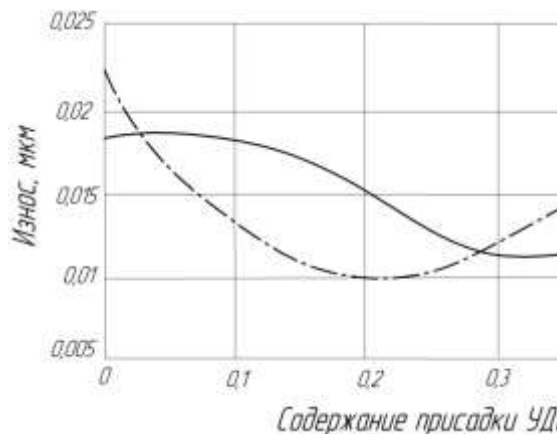
На рисунке 3 представлена зависимость момента трения от нагрузки. Анализируя рисунок делаем вывод что при содержании добавки твердого порошка по массе 0,1 % момент трения выше в сравнении с базовым маслом. Смазочные композиции, содержащие 0,2 % – 0,3 % ультрадисперсного порошка модифицированной технической сажи приводят к снижению момента трения по сравнению с базовым маслом Тп-22. Последующее увеличение концентрации присадки в масле приводит к росту значения момента трения.



- 1 – масло Тп-22;
- 2 – масло Тп-22+0.1 % добавки;
- 3 – масло Тп-22+0,2 % добавки;
- 4 – масло Тп-22+0,3 % добавки;
- 5 – масло Тп-22+0,5 % добавки;
- 6 – масло Тп-22+1 % добавки.

Рисунок 4 – Зависимость момента трения от нагрузки (латунь)

Анализируя рисунок 4, делаем выводы что, Содержание смазочной композиции Тп-22 + 0,1% – 0,2% добавки, приводит к увеличению момента трения по сравнению с базовым смазочным материалом Тп-22. При содержании УДП-МТС 0,3% момент трения ниже, чем при базовом масле. Концентрация МТС выше 0,5% так же приводит к снижению момента трения. Как видно оптимальной концентрацией технической сажи является 0,5 % от массы смазочной композиции.

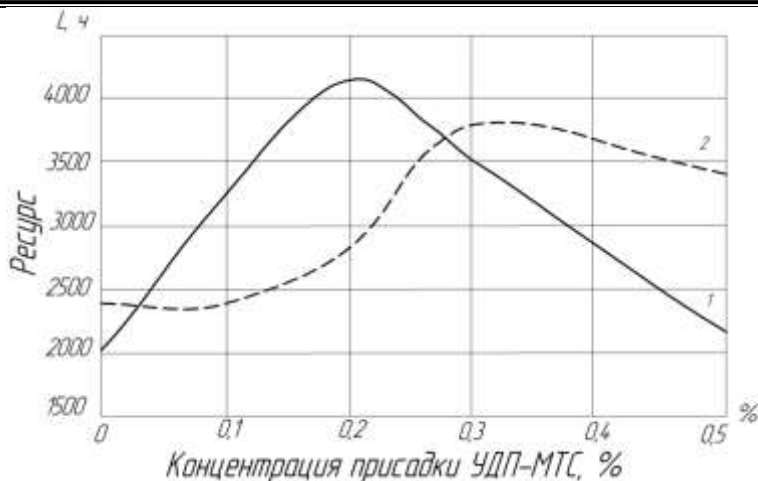


- 1 – алюминиевая втулка;
- 2 – латунная втулка.

Рисунок 5 – Зависимость величины износа от содержания УДП-МТС в смазочном материале по массе.

Зависимость износа от содержания УДП-МТС в смазочном материале показана на рисунке 5.

Анализируя полученные зависимости представленные на рисунке 5 можно сделать вывод, что для исследуемых узлов трения, оптимальное содержание ультрадисперсной модифицированной технической сажи 0,2 % (для алюминия), и 0,3 - 0,4 % (для латуни) от массы смазочного материала.



- 1 – алюминиевая втулка;  
2 – латунная втулка

Рисунок 6 – Зависимость ресурса от концентрации УДП-МТС

Зависимость ресурса от концентрации МТС представлена на рисунке 6.

Анализируя рисунок можно сделать вывод, что наибольший ресурс достигается при концентрации МТС в смазочном материале 0,2 % от массы для алюминиевой втулки, и 0,3 % от массы для латунной втулки.

По имеющимся зависимостям можно сделать вывод, что добавление технического углерода в смазочный материал уменьшает износ деталей и в повышает ресурс работы подшипников скольжения.

Анализ поверхностей показал, что ультрадисперсные порошки технического углерода положительно сказываются на состоянии трущихся поверхностей: уменьшается количество царапин и сглаживается микрорельеф поверхностей. Такое изменение контактирующих поверхностей приводит к более равномерному распределению нагрузки.

Таким образом добавка твердых порошков ультрадисперсной модифицированной технической сажи в смазочный материал способствует надежному разделению трущихся плоскостей, снижает коэффициент трения, момент трения и увеличивает воспринимаемые нормальные и касательные напряжения.

**Библиографический список:**

1. Рабецкая, О. И. Улучшение рабочих характеристик радиальных подшипников скольжения [Текст]: дис. канд. техн. наук : 05.02.02 / О. И. Рабецкая. - Красноярск, 2008. – 141 с: ил
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника [Текст]: / Д. Н. Гаркунов – М.: Машиностроение, 1999. – 329 с.

УДК 622.276.53

**Анализ отказов штанговой скважинной и насосной станции**

Сабанов С.Л.

Научный руководитель: Галеев А.С.

*Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск*

Значительная часть эксплуатационного фонда нефтяных скважин эксплуатируются штанговыми скважинными насосными установками (ШСНУ). Нефтяные компании несут большие материальные и трудовые затраты на содержание парка оборудования: эксплуатацию, обслуживание и ремонт.

На надежность работы скважинной штанговой насосной установки и величину

эксплуатационных затрат существенное влияние оказывает своевременная корректировка режима эксплуатации и техническое обслуживание. Для увеличения скорости реагирования на изменение ситуации, всё более широко применяются станции контроля.

На производственных объектах предприятий нефтегазодобывающей отрасли широко используют различные средства автоматики и контрольно-измерительные приборы, позволяющие отслеживать состояние оборудования, производить оперативное управление, осуществлять прогнозирование ресурса оборудования.

Для задач диагностики требуется обычно текущие динамические данные, и данные за некий предшествующий период (обычно порядка месяца) с шагом в одни сутки. Таким образом, не сильно увеличивая объем хранимой базы данных технического состояния объекта, можно получить необходимую дополнительную информацию для оценки состояния объектов.

В рамках работы был проанализирован список отказов ШСНУ, с указанием причин, количества потерянных скважино-суток, потерь нефти, и учетом дополнительной информации:

- методы обнаружения неисправности;
- динамика развития дефекта;
- критичность неисправностей к процессу эксплуатации ШСНУ;
- алгоритм действия обслуживающего персонала.

По результатам анализа получены следующие данные.

Распределение дефектов ШСНУ по ответственности служб предприятия представлены на рисунке 1. Основные (85%) дефекты приходятся на механические нарушения (дефекты), диагностика которых производится только при осмотре обслуживающим персоналом («визуально-аудио-мануально»).

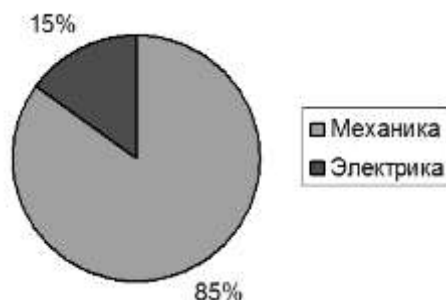


Рисунок 1 – Распределение дефектов по службам реагирования.

В соответствии с диаграммой распределение дефектов по степени приоритетности реагирования (рисунок 2) большинство дефектов имеют определяющую роль при оценке возможности дальнейшей эксплуатации ШСНУ, так как определяются как «срочно» или «критично» (с точки зрения принятия решения). При этом 21% дефектов являются критическими и требуют активного вмешательства (вплоть до вывода оборудования в ремонт).

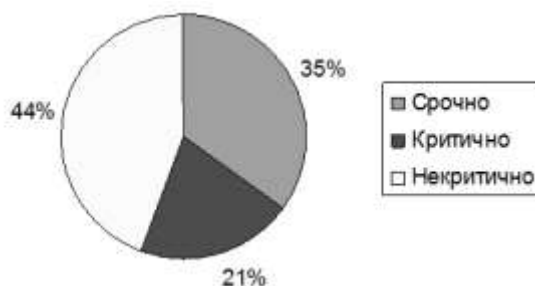


Рисунок 2 – Распределение дефектов по степени приоритетности реагирования: «срочно» – требуют оперативного вмешательства, «критично» - требуют прекращения эксплуатации.

Дистанционно (средствами телеметрии) определяется ограниченный круг дефектов - по измерениям вибрации, шума, температуре. «Диагностика», предполагающая субъективную оценку технического состояния оборудования обслуживающим персоналом (визуально, аудио, мануально) превалирует (Рисунок 3). При этом основные потери нефти (~1450 т) происходят именно из-за этих дефектов, так как и по количеству остановов (~1300), и по потерянному скважино-суткам (~370) они лидируют. Основной резерв диагностики имеется по току (~7% дефектов) и по вибрации, (~39%).

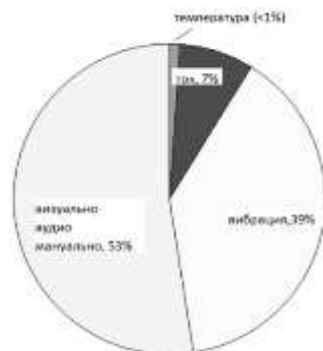


Рисунок 3 – Распределение дефектов ШСНУ по признакам обнаружения

Оценка дефектов с точки зрения их воздействия на целостность узла в целом является важной задачей диагностики и способна предотвратить аварийное развитие инцидента на оборудовании.

Согласно рисунку 4 четверть обнаруженных дефектов (23%) являются опасными для узла в целом.

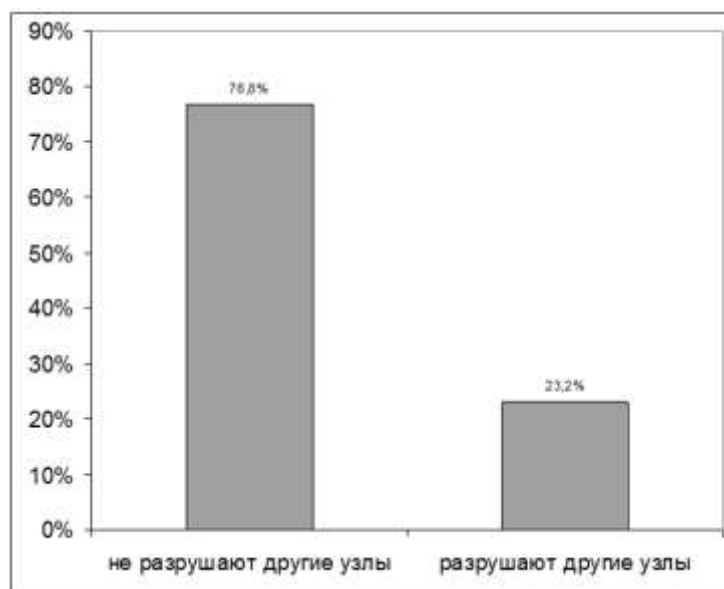


Рисунок 4 – Распределение дефектов ШСНУ по степени воздействия на техническое состояние узла в целом

Несмотря на то, что 3/4 дефектов «не разрушают» другие узлы, более 50% дефектов оказываются критичными по отношению к возможности продолжения эксплуатации (рисунок 5).

На диаграмме распределения дефектов ШСНУ по информированию служб (рисунок 6) видно, что основной «потребитель» информации о техническом состоянии – сервисная компания, сотрудники которой, таким образом, «зависят» от работников промыслов.

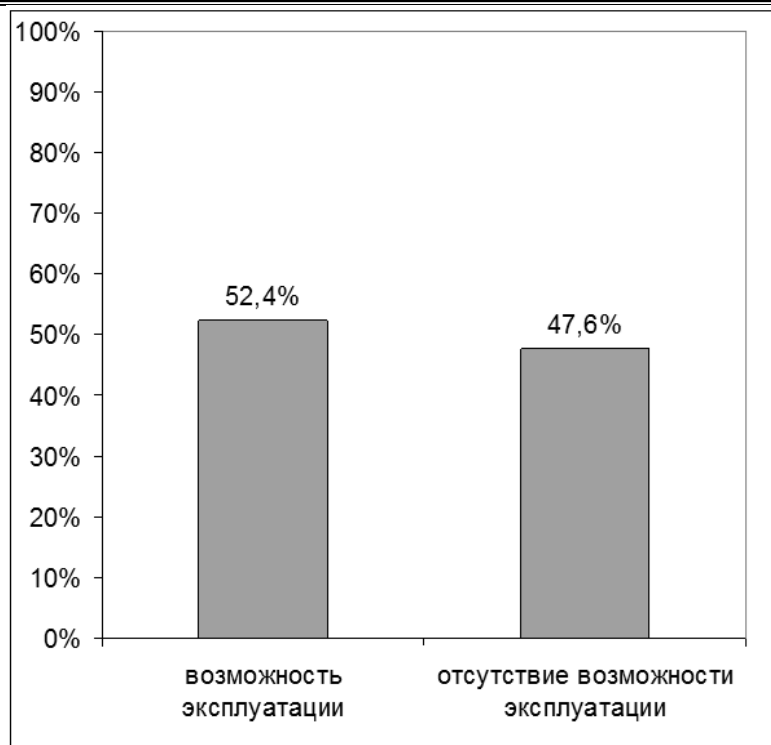


Рисунок 5 – Распределение дефектов ШСНУ по степени влияния на возможность дальнейшей эксплуатации

Представленная на рисунке 7 диаграмма показывает, что в настоящее время подавляющее большинство дефектов диагностируется обслуживающим персоналом («визуально-мануально-аудио»), что предполагает его присутствие на объекте. При этом именно эти дефекты являются основными с точки зрения потерь скважино-суток и нефти. Отсюда следует, что при разработке критериев их обнаружения необходимо уделить главное внимание созданию дистанционных способов или приборов.

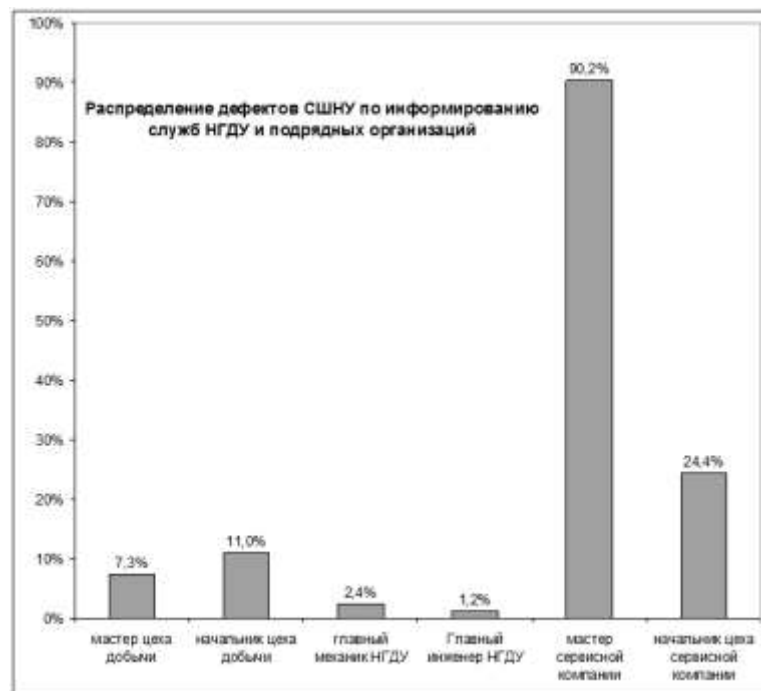


Рисунок 6 – Распределение дефектов ШСНУ по информированию служб НГДУ и подрядных организаций (сумма больше 100%, т.к. как правило, оповещаются несколько

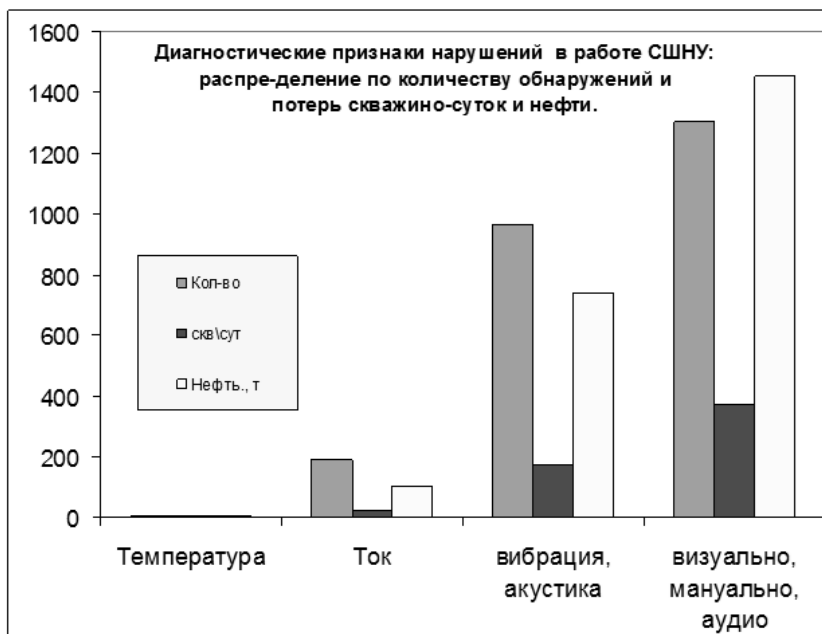


Рисунок 7 – Диагностические признаки нарушений в работе ШСНУ: распределение по количеству обнаружений и потерь скважино-суток и нефти.

На рисунке 8 термины «резко» и «постепенно» оцениваются с точки зрения обслуживающего персонала, – и требуют формализации при введении их в состав критериев экспертной системы.

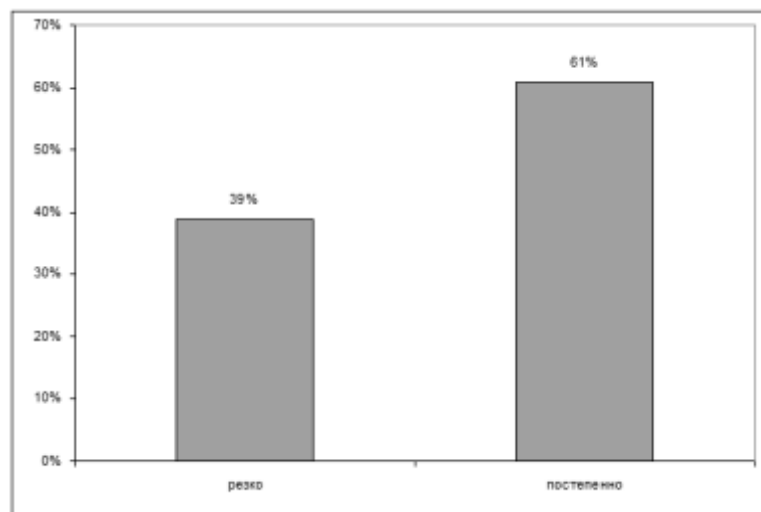


Рисунок 8 – Распределение дефектов ШСНУ по скорости нарастания дефекта

По результатам анализа можно сделать вывод, что практически нет информации по обнаружению дефектов насосного скважинного оборудования (колонны штанг, состояние клапанного узла, плунжера и т.п.), что свидетельствуют об отсутствии средств ранней диагностики скважинного оборудования ШСНУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение 14.610.21.0019.

**Библиографический список:**

1. Арсланов, Р.И. Вопросы эффективности эксплуатации нефтепромыслового оборудования: монография / Р.И. Арсланов, Г.И. Бикбулатова, А.С. Галеев, П.П. Ермилов, С.Л. Сабанов, Р.Н. Сулейманов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. – 84с.
2. Галеев, А.С. Обзор современного оборудования в области контроля технического состояния ШСНУ [Текст] / А.С. Галеев, И.Г. Арсланов, С.Л. Сабанов // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. Том XVII. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2018. – 141–145с.
3. Стандарт ОАО «Татнефть» «Контроль технического состояния и система ремонта нефтепромыслового оборудования по фактическому техническому состоянию». – Альметьевск: ОАО «Татнефть», 2004. – 68 с.

УДК 622.276.054

**Комплексный подход борьбы с осложненными условиями эксплуатации штанговой скважинной насосной установки с помощью применения магнитных клапанных пар и системы точечной подачи химического реагента**

Садыков И.Р., Пензин А.В.

Научный руководитель – Шайдаков В.В.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

В современной нефтегазовой отрасли около 20% всех добывающих скважин в России используют штанговые скважинные насосные установки (ШСНУ). В качестве основного элемента ШСНУ считается штанговый глубинный насос (ШГН). По разным источникам, 20 – 25% причин отказов ШСНУ приходится на негерметичность клапанных пар ШГН обусловленную влиянием различных осложняющих факторов и их сочетаний. К основным осложняющим факторам следует отнести высокое газосодержание на приеме насоса, наличие асфальтосмолопарафиновых отложений в насосно-компрессорных трубах (НКТ) и на насосных штангах (НШ), высоковязкие эмульсии и другое [1]. Осложняющие факторы приводят к снижению энергоэффективности ШГН, к дополнительным реанимационным мероприятиям, к длительным простоям скважин в ожидании «реанимационных мероприятий» из-за отсутствия подъездных путей и, как следствие, значительный рост операционных затрат на добычу 1 тонны нефти.

С каждым годом наблюдается рост количества осложненных скважин. Так, при добыче нефти серьезной проблемой, вызывающей осложнения в работе ШСНУ, является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) и высоковязких эмульсии, формирование которых приводит к снижению производительности системы и эффективности работы насосных установок, возрастанию давления в системе сбора. На рисунке 1 приведен пример динамограммы при «отложении АСПО и образование высоковязкой эмульсии» в ШСНУ (рисунок 1а). К осложненным по АСПО относят скважины, в нефти которых более 5% парафинов и динамической вязкостью нефти, эмульсий более 10 сПауз, в стандартных условиях. Влияние свободного газа на приеме насоса приводит к уменьшению коэффициента наполнения насоса вплоть до срыва подачи. На рисунке 1 приведен пример динамограммы «влияние газа на приеме насоса и неполном заполнении плунжера» в ШСНУ (рисунок 1б).

Очень часто эти осложняющие факторы действуют совместно и тогда возникает необходимость борьбы одновременно с несколькими осложнениями.

Для борьбы с вышеперечисленными видами осложнений в штанговых насосах предлагается использовать комплексный подход. Применение штангового насоса с самоустанавливающимися магнитными клапанами и точечной подачи химического реагента на прием ШГН (рисунок 2) [2].

В результате такого подхода будет наблюдаться синергия методов борьбы с осложнениями: АСПО, эмульсия и высокого газового фактора на приеме насоса, что повысит наработку на отказ ШСНУ, МРП скважины и энергоэффективность ШСНУ.

а) Динамограмма при «отложении АСПО и образование высоковязкой эмульсии» в ШСНУ; б)

Динамограмма при «влияние газа на приеме насоса и неполном заполнении плунжера» в ШСНУ



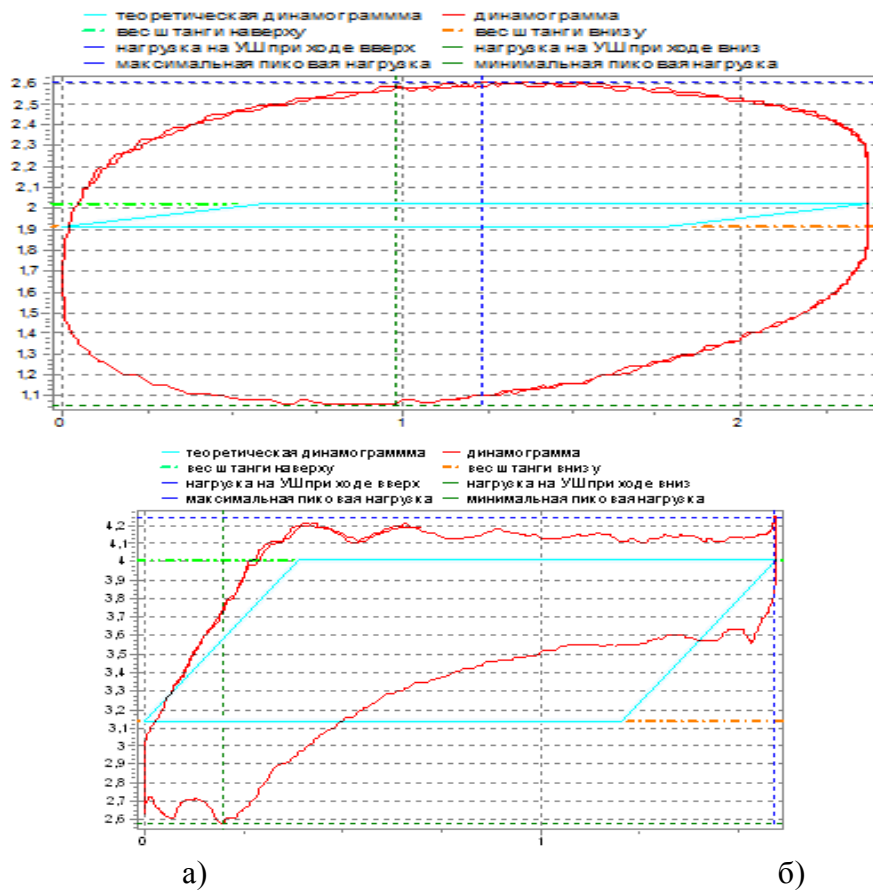


Рисунок 1—Динамограммы ШГН:

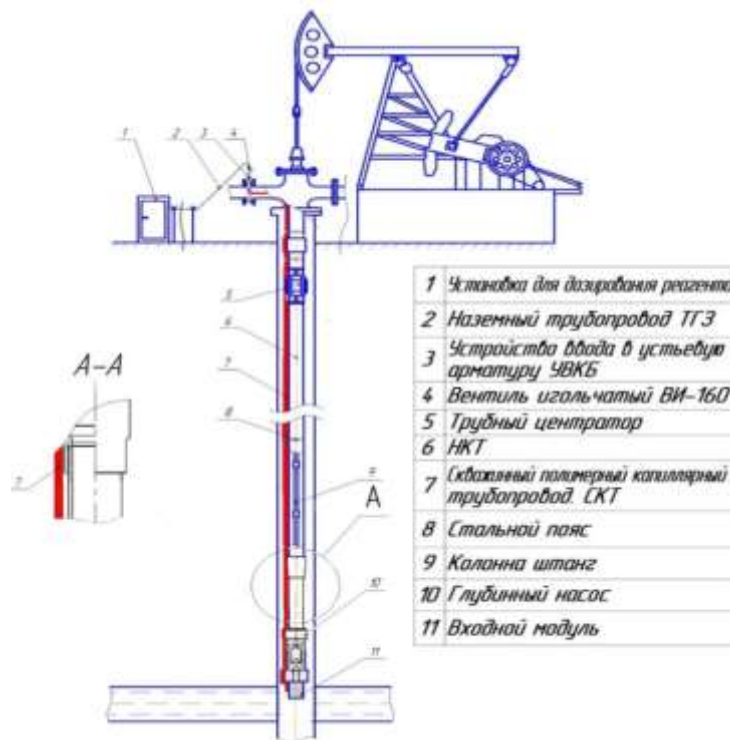


Рисунок 2 – Схема установки точного дозирования химическими реагентами на прием ШГН и использование ШГН с самоустанавливающимися магнитными клапанами

Модернизация конструкции клапанной пары ШГН. Проведена патентная проработка и анализ статей существующих конструкции клапанных пар ШГН. Так, например, известен грузовой шариковый клапан, содержащий шарик, взаимодействующий с седлом (см. RU 2169291 С1, кл. F 04 В 47/00, 20.06.2001). Недостатком известных клапанов является то, что они работают только в вертикальном положении. Насосы обычного исполнения невозможно заглубить в искривлённые участки ствола скважин (более 42 градусов), в результате ограничивается отбор жидкости и не достигается требуемый потенциал и как следствие работа насоса в режиме «откачка». Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому оборудованию является пружинный клапан – клапан штангового глубинного насоса, содержащий корпус с установленным в нём седлом, взаимодействующую с седлом тарель со штоком, проходящим через направляющую, выполненную в перегородке корпуса с периферийными отверстиями для прохода жидкости, и пружину сжатия, поджимающую тарель в сторону седла (см. RU 2180709 С1, кл. F 04 В 53/10, 20.03.2002). Данное устройство хоть и лишено указанных недостатков: оно работает при любых наклонах и с жидкостью любой вязкости. Однако в насосах ШГН пружины плохо работают из-за коррозии (наличие сероводорода и других агрессивных компонентов в нефтесодержащей жидкости), они быстро ломаются из-за наводораживания стали, контролировать их работу невозможно.

Авторами [1], предложена модель самоустанавливающегося магнитного клапана практически не отличается от стандартного клапана штангового насоса. Конструктивной особенностью является наличие под седлом клапана магнитного кольца по размерам идентичного седлу (рисунок 3а). Под влиянием магнитных сил шарик клапана садится в седло и удерживается, обеспечивая тем самым максимальную герметичность. С учетом того, что между шариком и седлом нет промежуточных узлов, герметичность обеспечивается без риска отказа этого узла, что позволяет увеличить наработку на отказ скважинного оборудования.

Самоустанавливающиеся нагнетательный и всасывающий магнитные клапаны в составе ШГН работают следующим образом (рисунок 3б): при движении плунжера 1 вверх закрывается шарик нагнетательного клапана, происходит подъём жидкости, находящейся над плунжером, на поверхность. При этом в цилиндре насоса снижается давление и происходит открытие шарика всасывающего клапана за счёт перепадов давлений между полостью цилиндра насоса 2 и давлением в скважине.

При движении плунжера вниз происходит посадка шарика всасывающего клапана в седло 5 и открытие шарика нагнетательного клапана. Жидкость через полый плунжер перетекает в НКТ. Под воздействием силы притяжения магнитных колец 6 происходит самоустановка шариков всасывающего и нагнетательного клапанов в сёдла, чем обеспечивается максимальная герметичность даже при эксплуатации скважины с углом наклона от вертикали более 40 градусов.

По причине отсутствия в конструкции клапана дополнительных узлов и механизмов, исключена вероятность их отказа, а, следовательно, повышается надежность устройства. За счет увеличения силы притяжения шарика к седлу, благодаря магнитному кольцу обеспечивается герметичность клапанной пары и снижается влияние естественной гравитационной силы в скважинах с углом наклона от вертикали более 40 градусов.

Системы точечной подачи химического реагента на прием ШГН с использованием полимерно-армированного трубопровода малого диаметра (рисунок 2).

Система точечной подачи химического реагента в скважину включает наземное и скважинное оборудование. Наземное оборудование составляет около 50-70% стоимости всей системы. Система точечной подачи химического реагента в заданный интервал скважины включает наземное оборудование: установку для дозирования реагента с емкостью-1; устройство ввода в устьевую арматуру-3 (Рисунок 4); трубопровод малого диаметра с подогревом-2; обратный клапан, вентиль игольчатый-4. В скважину трубопровод вводят, через специальное устройство, размещенное во фланцевом разьеме арматуры-3.

Скважинное оборудование состоит из: трубного центриатора-5 [11], полимерно-

армированного трубопровода малого диаметра-7 (рисунок 7), стального пояса-8, вводной муфты-11 (рисунок 5), которую устанавливают на приеме глубинного насоса, но между входом в насос и вводной муфты размещают трубу НКТ длиной до 10 метров в качестве дополнительного резервуара. Ниже вводной муфты устанавливают фильтр-отклонитель-11 (рисунок 6). Фильтр-отклонитель предотвращает попадания отложений АСПО в ШГН. Обладает одной из важнейших функций - защита глубинно-насосного оборудования при его спуске в эксплуатационную колонну скважины. Такое исполнение не допускает преждевременного попадания АСПО во вход плунжерного насоса, обеспечивая тем самым более длительный срок службы насосного оборудования. К тому же защитная конструкция с использованием фильтра-отклонителя позволяет исключить засорение труб, замковой опоры, залипание клапанов плунжерной пары.

Полимерные армированные трубопроводы применяются совместно с насосными дозирующими установками для подачи химического реагента в заданный интервал скважины, для отвода жидкости с забоя газовой скважины, для отвода газа из-под пакера, для управления глубинными клапанами. Конструктивно труба состоит из термопласта армированного проволокой в два слоя встречным повивом (рисунок 7). Труба изготовлена послойным экструдированием из сополимера 02015-302 КМ и армированием высокопрочной оцинкованной стальной проволокой 14x0,8 мм, с пределом прочности 190 кг/мм<sup>2</sup>. Полимерно-армированный трубопровод малого диаметра в течение 10 лет проходил испытания на прочность, жесткость, износостойкость, температурную стойкость и т.д. Представленные исследования финансировались и проводились в лаборатории ООО «Инжиниринговая компания «ИНКОМП-нефть» г.Уфа, Россия [8]. Данный трубопровод зарекомендовал себя, как надежный элемент в точечной подачи химического реагента в скважину[3,4,5,6].

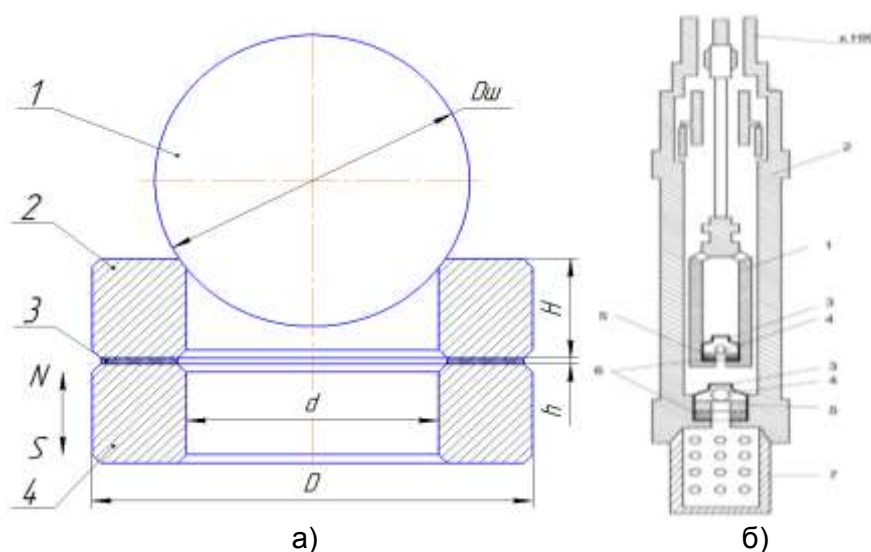


Рисунок 3- ШГН с магнитным клапаном

а) Самоустанавливающийся магнитный клапан (1 – шарик клапана; 2 – седло клапана; 3 – фторполимерная прокладка; 4 – магнитное кольцо)

б) Схема насоса с самоустанавливающимся магнитным клапаном

1 – плунжер насоса, 2 – цилиндр насоса, 3 – корпус клапанной пары, 4 – шарик клапана, 5 – седло клапана, 6 – клапанные магнитные кольца, 7 – фильтр насоса

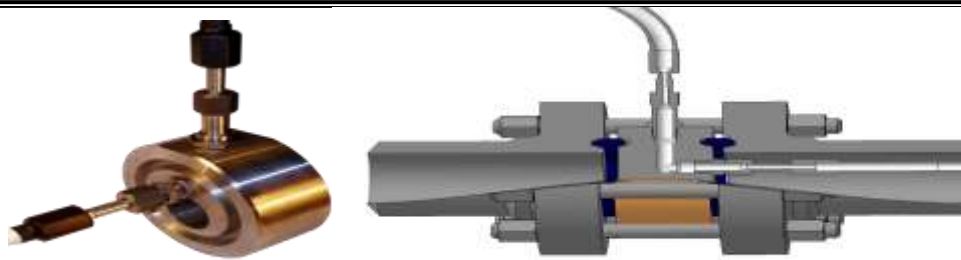


Рисунок 4 - Устройство ввода в устьевую арматуру

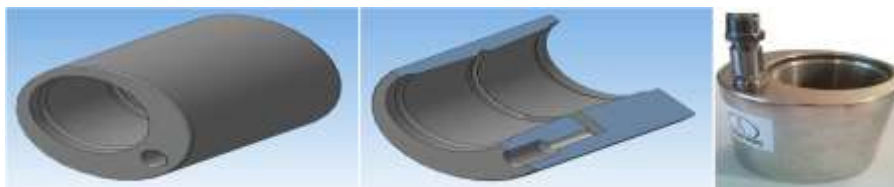


Рисунок 5 – Вводная муфта-патент №93455 от 22.12.2009 [9]



Рисунок 6-Фильтр-отклонитель

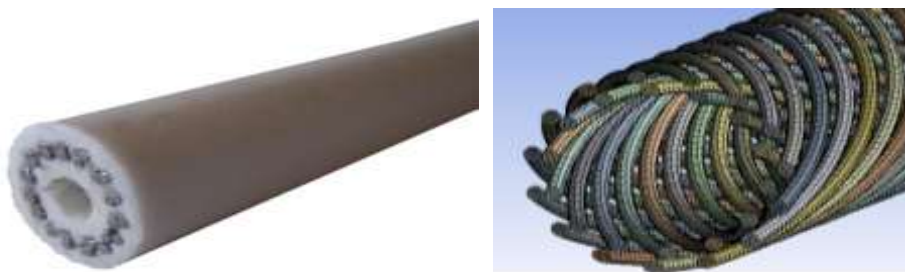


Рисунок 7– Полимерный армированный трубопровод ТГ5-15 (внутренний диаметр 5мм, наружный диаметр 15) выпускаемая Инжиниринговой компанией «ИНКОМП-нефть»

Скважинные соединительные элементы предназначены для соединения полимерных армированных трубопроводов в скважине при сращивании и ремонте, возможно соединение с другими типами трубопроводов[7,10]. Разработано соединительное устройство, включающее обжимную втулку, в которой с натягом размещен концевой элемент трубопровода. Натяг создается либо пластической деформацией обжимной втулки, либо накручиванием втулки с резьбой на трубопровод. При создании избыточного давления внутри трубопровода обеспечивается поджатие трубопровода к обжимной втулке, его надежная фиксация и герметизация в соединительной концевой арматуре. Для повышения несущей способности и соответственно надежности металлополимерного трубопровода был разработан соединительный элемент, снижающий напряжения в переходной зоне. Это достигается тем, что наружная цилиндрическая втулка имеет плавный переход по конусу либо кривой создающий минимальный градиент напряжений в переходной зоне. Параметры кривой линии, длина отдельных элементов втулки  $l_1, l_2$  определяются в зависимости от рабочего

давления и диаметра трубопровода.

Испытания полимерного армированного трубопровода с использованием концевой арматуры с частично свободным расширением показали, что максимальное рабочее давление при температуре окружающей среды 200С для трубопровода ТГ-5/15 повысилось с 25 МПа до 35 МПа [12,13].

При высоких рабочих давлениях (более 25 МПа) используется полимерный армированный трубопровод с внутренним каналом из нержавеющей стали. Для повышения надежности и герметичности соединения используется неразъемная концевая арматура.

**Выводы:**

Использование комплексного подхода для борьбы с осложнениями АСПО, высоковязкая эмульсия, высокое содержание газового фактора на приеме насоса с помощью системы точечной подачи химического реагента на прием ШГН и самоустанавливающиеся нагнетательного и всасывающего магнитного клапана позволит достичь синергетического эффекта в надежной эксплуатации ШСНУ.

Применение намагниченного седла клапана штангового глубинного насоса более простым конструктивным решением позволяет повысить надежность и стабилизировать работу насоса. За счет увеличения силы притяжения шарика к седлу благодаря магнитному кольцу обеспечивается герметичность клапанной пары и снижается влияние естественной гравитационной силы в скважинах с углом наклона от вертикали более 40 градусов[1].

В результате использования технологии точной дозировки химических реагентов увеличивается наработка на отказ ШСНУ. За счет внедрения технологий точной дозировки происходит повышение эффективности применения химических реагентов в «нужный» интервал колонны, в то же время уменьшается их расход.

С уменьшением вязкости жидкости и повышением коэффициента подачи насоса повысится энергоэффективность ШСНУ на 3% и более.

Возможность получения дополнительной добычи за счет снижения простоев скважин в ожидании промывочной техники, в ожидании бригад ПРС и во время ремонта бригад ПРС на 5% и более.

#### **Библиографический список:**

1. Насретдинов, М.Р. Повышение эффективности эксплуатации штанговых глубинных насосов за счет применения намагниченного седла клапана. В кн. Современные технологии в нефтегазовом деле – 2018, 2018: Уфа: УГНТУ, 2018. С. 79-82.
2. Современные химические методы насосного дозирования в нефтедобыче // Шайдаков В.В., Чернова К.В., Пензин А.В. // Москва – Волгоград, 2018.
3. Металлополимерная штанговая колонна // А.А.Антоненко, А.В. Пензин, В.В.Шайдаков, А.В. Лягов// Материалы 62-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных УГНТУ/ УГНТУ.– Уфа, 2011г.
4. Непрерывная штанговая колонна для скважинных глубинно-насосных установок// В.В.Шайдаков, А.В. Пензин, А.А. Антоненко, Е.В. Шайдаков, Ш.Р. Габидуллин//Журнал «Нефть. Газ. Новации» №8/2011г.
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.//Журнал «Нефтегазовое дело» – №3. – 2011г. – УГНТУ – Уфа
6. Антоненко А.А. Оценка перспектив совершенствования конструкции штанговой колонны /А.А. Антоненко, В.В. Шайдаков А.В. Пензин, Е.В. Шайдаков, Чернова К.В.
7. Насосные дозировочные системы для осложненных условий нефтедобычи // Шайдаков В.В., Людвиницкая Алла Ринатовна., Сухонос А. Л., Пензин А.В. // Palmarium Academic Publishing, 2015.
8. Shaydakov V.V. Estimation of strength parameters of small-bore metal-polymer pipes / Shaydakov V.V., Chernova K.V., Penzin A.V./ IOP Conference Series: materials science and engineering// 11<sup>th</sup> International conference on mechanical engineering, Automation and control

systems, MEACS. - Tomsk: Institute of Physics Publishing 2017, 04-06 December 2017.

9. Пат. №93455 Российская Федерация, МПК E 21 B 3400. Вводная муфта насосно-компрессорных труб // Шайдаков В.В., Пензин А.В., Мухутдинов Д. Х., Шайдаков Е. В., Новиков А. Н. – №2009147784/22; заявл.22.12.2009; год публ. 2010.

10. Пат. №93491 Российская Федерация, МПК F 16 L 3322. Устройство для соединения ниппеля с полимерным армированным гибким рукавом // Шайдаков В. В., Пензин А.В., Мухутдинов Д. Х., Шайдаков Е. В., Новиков А. Н., Полетаева О.Ю. – №2009146666/22; заявл. 15.12.2009; год публ. 2010.

11. Пат. 87451 Росскийкая Федерация, МПК E 21 B 1710. Центратор насосно-компрессорных труб // Шайдаков В. В., Пензин А.В., Мухутдинов Д. Х., Шайдаков Е. В. – №2009113156/22; заявл. 08.04.2009; год публ. 2009.

12. Шайдаков, В.В. 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. – С. 65-69.

13. Полимерные армированные трубопроводы в современных гидравлических системах // Шайдаков В.В., Чернова К.В., Пензин А.В. Москва, 2018.

УДК 622.244

### **Регулирование производительности центробежного насоса с помощью байпасной линии** Топоров П.А.

Научный руководитель – Быков И.Ю.

*Ухтинский государственный технический университет*

Энергосбережение является одной из важных задач современного мира. От решение этой задачи зависит место нашего общества в ряду развитых в экономическом плане стран. Наша страна не только обладает прекрасной научно-технической базой и интеллектуальным потенциалом, но так же огромными ресурсами. Ресурсообеспеченность нашей страны не должна влиять на энергорасточительность. Для достижения качественных показателей экономии, необходимо кардинально изменить отношение к энергоресурсосбережению. [1]

Основная цель энергосбережения одна – повышение энергоэффективность во всех отраслях. И наша задача – определить, какими способами и на сколько возможно осуществить это повышение.

Центробежные насосы – машины гидравлические, преобразующие энергию электродвигателя в гидравлический поток, который служит для перемещения перекачиваемой жидкости, а так же для создания напора, жидкостной смеси с различными веществами или газо-жидкостных смесей. Главным плюсом центробежных насосов является постоянство подачи (непрерывность), достаточно простое устройство, низкая себестоимость, высокий уровень надёжности, большой КПД (0,6-0,8). Так же, большим плюсом является возможность автоматизации управления. Но существуют и недостатки. К ним можно отнести то, что их подача изменяется в широких пределах. Это напрямую зависит от характеристик сети (сопротивления). Так же, для пуска в работу центробежного насоса необходимо заполнить его перекачиваемой жидкостью.

Одним из способов регулирования производительности центробежных насосов является дросселирование, суть этого способа заключается в том, что при необходимости изменении подачи насоса задвижка на напорном патрубке насоса либо открывается, либо закрывается. Этот способ отличается низким КПД, особенно если необходимый диапазон регулировок большой. [3]

Так же, существует ещё один способ, близкий к предлагаемому. Его суть заключается в том, что с помощью байпасной линии с выкида насоса на его вход направлять часть перекачиваемой жидкости и регулировать этот объём задвижкой. Указанный способ регулировки экономичен для насосов с коэффициентом быстроходности  $n_s > 300$  и для вихревых насосов, у которых при увеличении подачи мощность уменьшается. В

центробежных насосах с меньшим коэффициентом быстроходности регулирования подачи перепуском ведет к увеличению мощности, потребляемой насосом, и может вызвать перегрузку электродвигателя.

Нашей задачей, является унификация способа регулирования для любых центробежных насосов, а так же экономия электроэнергии, которая достигается при регулировании.

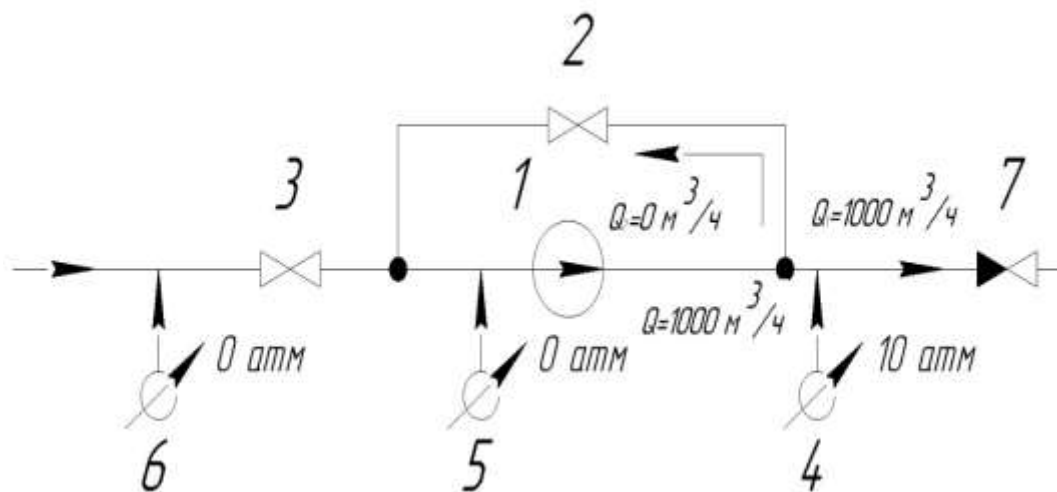
Результат достигается тем, что в предлагаемом способе регулирования перепуском части перекачиваемой жидкости с выхода насоса на его вход через байпас с регулирующей задвижкой и всасывающей задвижкой на входном трубопроводе насоса до байпаса. Принцип регулировки заключается в одновременном открытии байпасной и закрытии всасывающей задвижек. Благодаря чему достигается постоянный суммарный расход перекачиваемой жидкости.

В свою очередь, сохранение суммарного расхода перекачиваемой жидкости или номинальной мощности, потребляемым двигателем, позволяет не допустить повышения мощности насосом и перегруза двигателя при регулировании. Повышение давление на входе насоса приводит к пропорциональной экономии электроэнергии.

Предлагаемый способ регулирования показан на рисунках 1-3.

На рисунке 1 показан первоначальный вариант, задвижка 3 закрыта, 2 открыта, а задвижка байпаса 2 закрыта. Насосный агрегат работает в номинальном режиме. Давление на выходном патрубке насоса равно 10 атмосфер. Давление на впускном патрубке насоса для простоты принято 0 атм. Производительность насоса  $Q_1=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

На рисунке 2 показан ещё один вариант регулировки, в это случае задвижка на байпасе открыта на 10 %, а задвижка на впуске в насос призакрыта. Из-за чего жидкость не уходящая в выпускной патрубков циркулирует по байпасной линии, тем самым повышая давление на входе. Чем больше разность давлений на впуске и выпуске с насоса, тем больше снижается нагрузка на электродвигатель. Стоит учитывать, что скорости движения жидкостей изменятся, вследствие чего снижается кавитационный запас, что приводит к уменьшению диапазона регулирования.



1 – насос; 2 – байпасная задвижка; 3 – всасывающая задвижка;  
4,5,6 – манометры; 7 – обратный клапан.

Рисунок 1 – Первоначальный способ регулирования

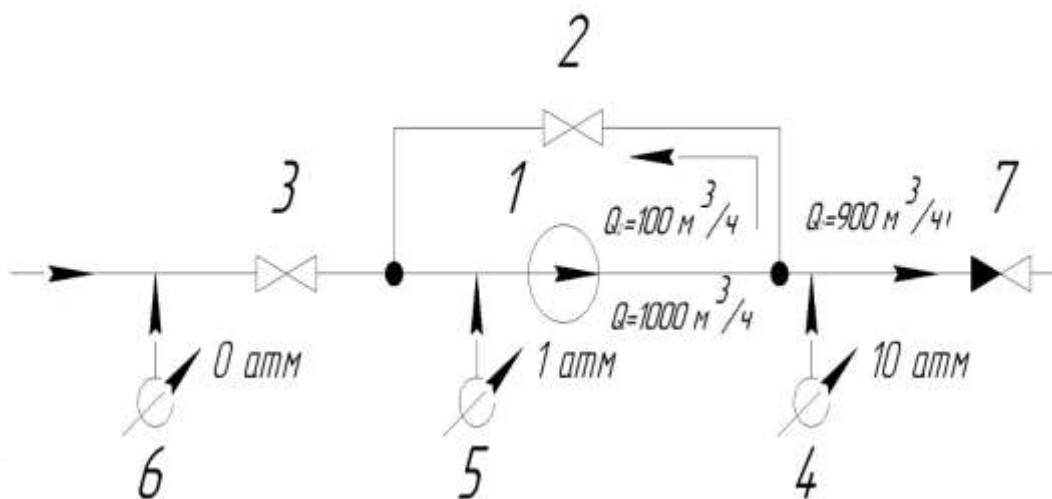


Рисунок 2 – Промежуточный способ регулирования

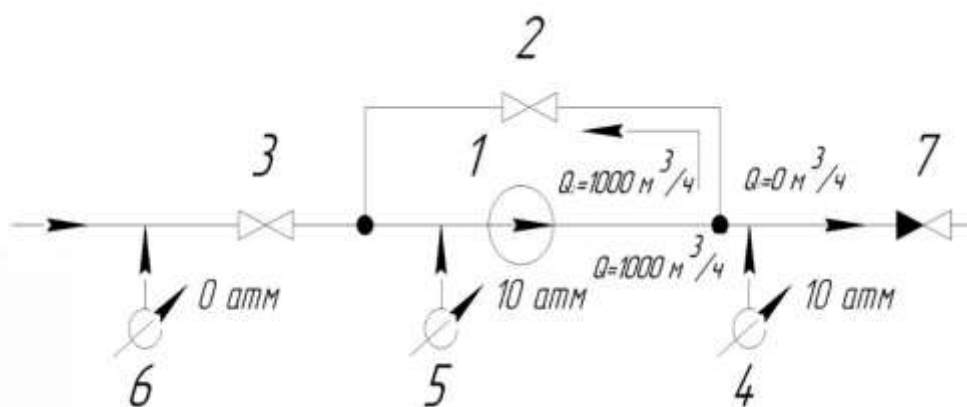


Рисунок 3 – Предельный способ регулирования

На рисунке 3 показан максимальный вариант регулирования, когда задвижка байпаса открыта, а на впуске насоса полностью закрыта. Циркуляция жидкости происходит по байпасной линии. Соответственно, энергия двигателя необходима лишь циркуляции жидкости по байпасной линии. Необходимо так же учесть диаметр байпасной линии. Рекомендуется принять его таким же, как и диаметр впускного патрубка насоса, для сохранения оптимальной скорости течения жидкости. [2]

Данный способ регулировки оптимально применять в мощных насосных агрегатах, т.к. частотные преобразователи и асинхронно-вентельные каскады применяемые для регулировки насосных агрегатов стоят значительных средств.

Говоря о экономии, в год для насоса типа ЦНС-300-600 имеющим привод от двигателя мощностью 800 кВт, составит 870000кВт\*ч при экономии в 10 % .

#### **Библиографический список:**

1. Караев М.А., Меликов М.А., Мустафаева Г.А. О коэффициенте быстроходности центробежных насосов и пересчете их характеристики с воды на более вязкую жидкость [Текст] / Известие высших технических учебных заведений Азербайджана, №6, 2003, с.24-27.
2. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции [Текст]: учеб. для техникумов, – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. 106 с.
3. Патент РФ № 2277645 27.04.2004 Способ регулирования производительности центробежного насоса / Патент России №2277645. 2004. / Шеин Е. Ю., Шеин А. Е., Шеин Е. Е.



## Влияние вязкости сырья на интенсивность отказов скребковых кристаллизаторов установки депарафинизации масел

Шарипов Т.И.

Научные руководители – Ризванов Р.Г., Шарафиев Р.Г.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Целью процессов депарафинизации масел нефтяных продуктов является удаление из них высокозастывающих кристаллических компонентов – парафинов, чтобы понизить их температуру застывания, а в ряде случаев также и получить выделяемый парафин в качестве целевого продукта. Парафины можно выделять при помощи разнообразных технических средств, основанных на различных физико-химических принципах [1].

Эффективность и производительность установки депарафинизации масел зависит не только от физико-химических свойств сырья, но и от работоспособности оборудования. Поддержание оборудования в работоспособном состоянии и предотвращение преждевременных отказов – основные принципы в эксплуатации оборудования.

Достоинствами *скребковых кристаллизаторов типа «труба в трубе»* являются развитая поверхность теплообмена, непрерывный режим работы, легкость регулирования рабочего режима, возможность осуществления процесса при незначительных переохлаждениях разделяемой смеси [2,3].

По эксплуатационным данным существуют следующие недостатки:

- повышение давления на выходе из-за недостаточной проходимости рабочего сечения труб, и, как следствие, выдавливание приводного вала;
- растяжение и соскакивание цепи со звездочек приводных валов;
- ослабление прижимных хомутов звездочек, перемещение их вдоль оси и износ корпуса подшипникового узла;
- заклинивание, обрыв скребковых и приводных валов;
- износ тройниковых подшипников;
- износ и поломка скребков, закручивание их по образующей скребкового вала;
- несовершенство масляной системы.

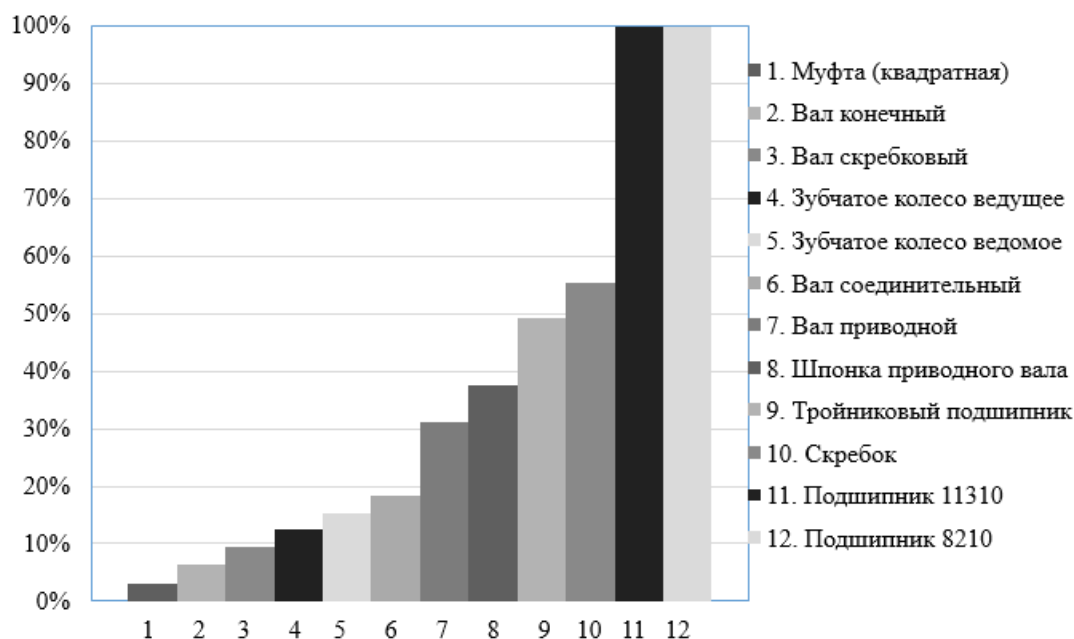


Рис. 1. Доля заменённых деталей.

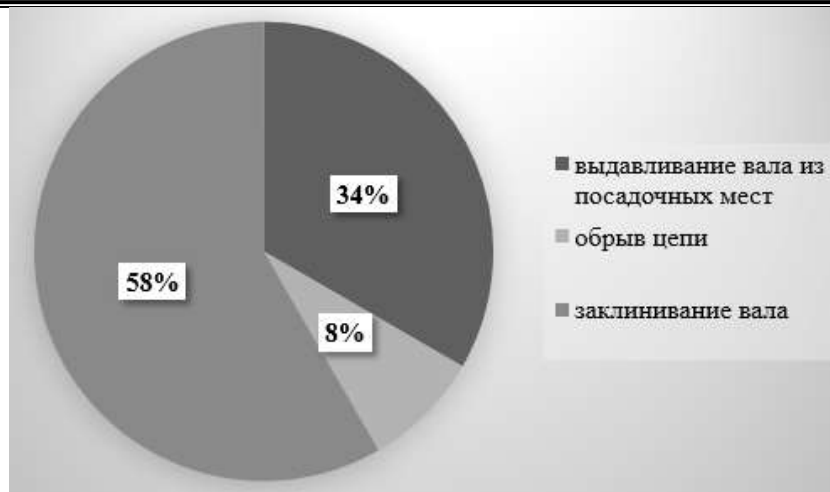


Рис. 2. Распределение видов отказов кристаллизаторов.

На рисунках 1 и 2 показаны результаты анализа замены изношенных деталей 15 скребковых кристаллизаторов и распределение видов отказов за период с 2012 по 2018 г. установки депарафинизации масел соответственно.



Рис. 3. Деформированные скребки и износ тройникового подшипника.

Результаты проведенного анализа показывают, что наиболее подверженные износу детали кристаллизатора – скребки и тройниковые подшипники, преждевременный износ которых (рис. 3) в большинстве случаев является первопричиной отказа данного оборудования.

Анализируя интенсивность отказов при работе установки на сырье различных фракций, получена зависимость количества отказов от вязкости сырья (табл.1), (рис.4).

Таблица 1. Кинематические вязкости сырья.

Масляная фракция рафината	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с
III фракция	21,7
IV фракция	59,8
рафинат остаточный	84,6

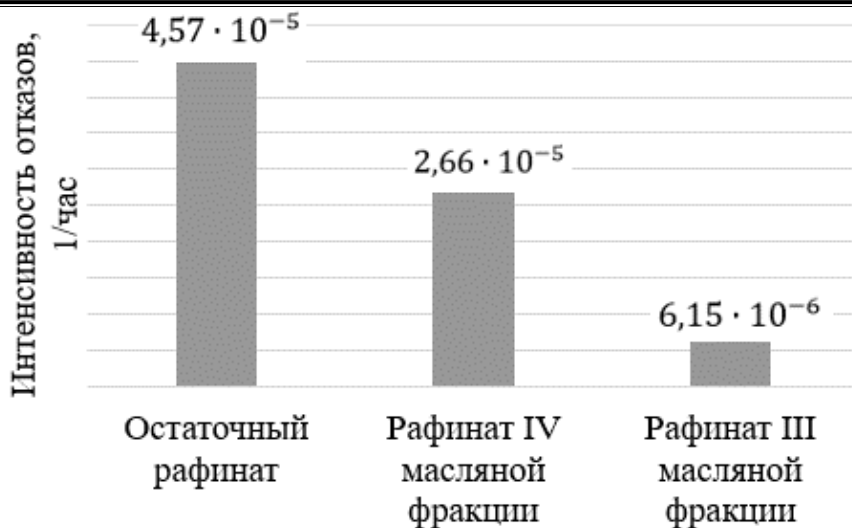


Рис. 4. Зависимость интенсивности отказов скребковых кристаллизаторов от вязкости сырья.

Большой процент отказов, приходящийся при работе на остаточном рафинате и рафинате IV масляной фракции объясняется высокой кинематической вязкостью из-за которой требуется больше обводнённого растворителя на разбавление. Большое содержание воды отрицательно влияет на рост кристаллов парафина, что в свою очередь вызывает закупорку труб и аварийную остановку кристаллизатора.

Практика показывает, что ремонт скребкового кристаллизатора типа «труба в трубе» сложный процесс, который требует существенные затраты, как капитальных, так и физической силы рабочих. Усложняют график ремонта отказы оборудования из-за преждевременного износа составных частей. Отказ одного кристаллизатора снижает загрузку установки на 10-15 %, что в свою очередь сказывается на итоговой выработке сырья.

Поскольку большую часть специализированного оборудования на установках депарафинизации масел занимают скребковые кристаллизаторы, то вопросы повышения надёжности данного оборудования и увеличения межремонтного периода на сегодняшний день являются актуальными.

#### **Библиографический список:**

1. Богданов, Н.Ф. Депарафинизация нефтяных продуктов / Н.Ф. Богданов, А.Н. Переверзев. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 247 с.
2. Гельперин Н.И. Основы техники фракционной кристаллизации. / Н.И. Гельперин, Г.А. Носов – М.: Химия, 1986. – 304 с.
3. Круглов С.С. Совершенствование кристаллизатора дискового типа для процессов производства нефтяных масел: диссертация канд. техн. наук. РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. Москва, 2016

УДК 622.248(031)

#### **Анализ патентной и научно-технической информации по превенторам**

Шестакова Е.В., Михайлов П.Г.

Научный руководитель: Шайдаков В.В., Ямалиев В.У.

*Уфимский государственный нефтяной университет, г. Уфа*

В нефтяной и газовой промышленности к наиболее опасным видам аварий относятся газонефтяные выбросы и фонтаны, взрывы и пожары. Открытые фонтаны, возникающие при бурении скважин, представляют собой наиболее сложные аварии [1,2]. Их появление не только нарушает процесс строительства или капитального ремонта скважины, но также несёт за собой значительные экономические и экологические потери, возможны человеческие жертвы.

По данным Ростехнадзора в России за последние 5 лет зарегистрировано 23 открытых фонтана, а за последний год произошло более 70 пожаров на буровых установках в следствии газонефтепроявлений.

Важной задачей является снижение риска возможных аварий при эксплуатации противовыбросового оборудования до оптимального уровня [3]. Основным элементом противовыбросового оборудования являются превенторы. Применяют плашечные, универсальные и вращающиеся превенторы.

Целью данной статьи является определение уровня развития техники по регионам и изучение тенденции развития рынка.

Источники информации для поиска научно-технической информации научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/defaultx.asp>. Источники информации для поиска патентной информации: базы данных Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) «Рефераты патентных документов за 2007-2017 г.г.», базы данных ФИПС «Полные тексты российских патентных документов за 2007-2017 г.г.» <http://www.fips.ru>, базы данных Европейского Патентного ведомства (European Patent Office) [ep.espacenet.com](http://ep.espacenet.com), страны поиска патентной информации: Россия, Китай, США, страны Евросоюза.

По данным электронной библиотеки было опубликовано 722 работы, затрагивающих тему превенторов (рисунок 1).

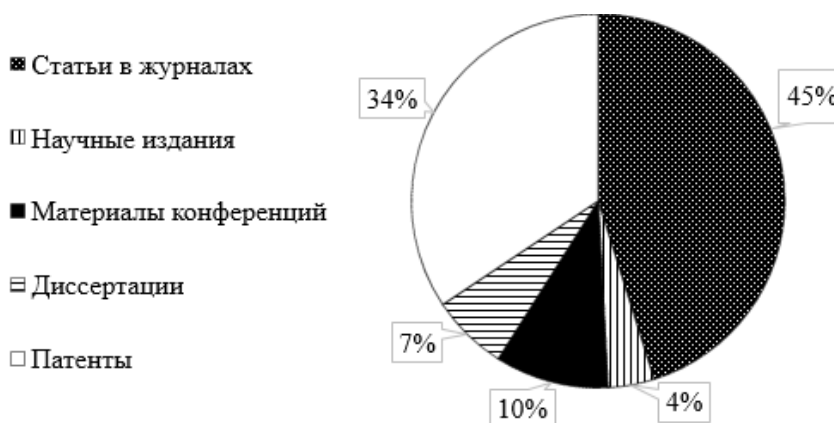


Рисунок 1 – Количество опубликованной научной информации по превенторам, %

Результаты проведенного патентного поиска за период 2007-2017 г.г., представлены на рисунке 2. По представленным данным было выявлено 212 патентов: российских – 43, китайских – 142, американских – 17 и европейских – 10.

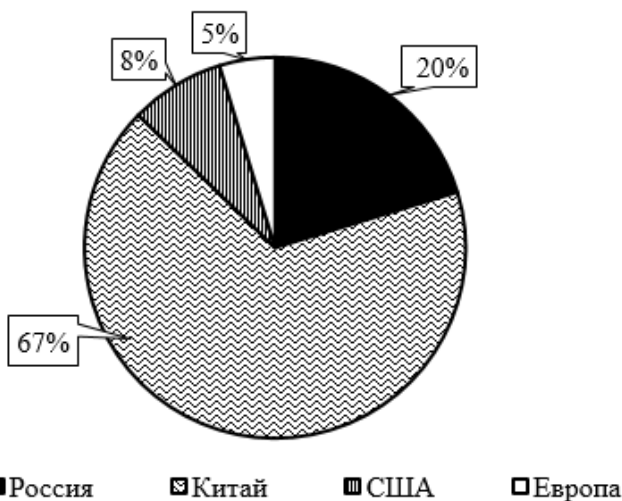


Рисунок 2 – Количество патентов по превенторам за период 2007-2017 г.г., %

Распределение и интенсивность патентных разработок в области превенторов в период за 2007-2017 г.г. представлена на рисунке 3. Исходя из убывающей кривой патентирования в России, США и странах Европы можно предположить, что отсутствие интенсивных разработок, связано с удовлетворяющим уровнем разработанных превенторов. В тоже время, Китай ведёт более активные работы в области совершенствования этого оборудования. График общей кривой остаётся примерно на одном уровне в течении всего периода, но наблюдается возрастание потенциала.

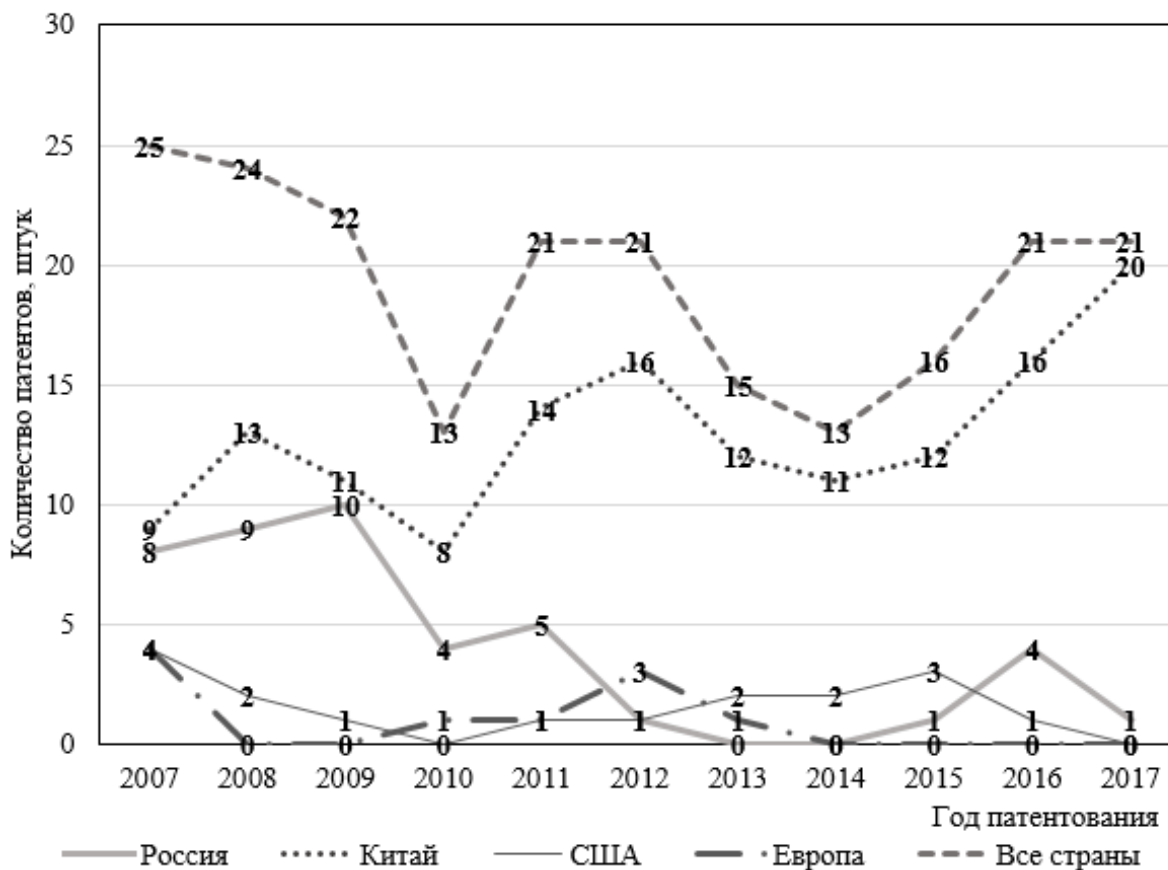


Рисунок 3 – Количество патентов за период 2007-2017 г.г. по превенторам

Количество опубликованных патентов по типам превентора, представлено на рисунке 4.

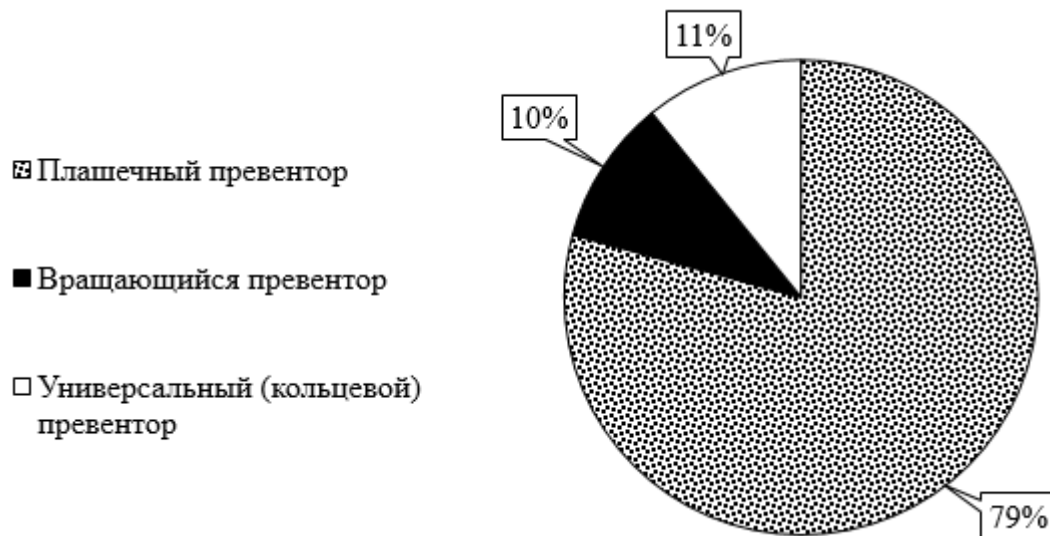


Рисунок 4 – Количество патентов по типу превентора за 2007-2017 г.г., %

Из 43 российских патентов 39 относятся к плашечным превенторам. Процентное соотношение патентов по его совершенствуемым элементам отображено на рисунке 5. Из диаграммы заметно, что наиболее часто изменениям подвергаются плашки и корпус. У плашек наиболее часто разрабатываются конструкции уплотнений, срезающих ножей, пластин; способы замены составных частей. У корпуса преобразовывается конфигурация и кинематический узел.

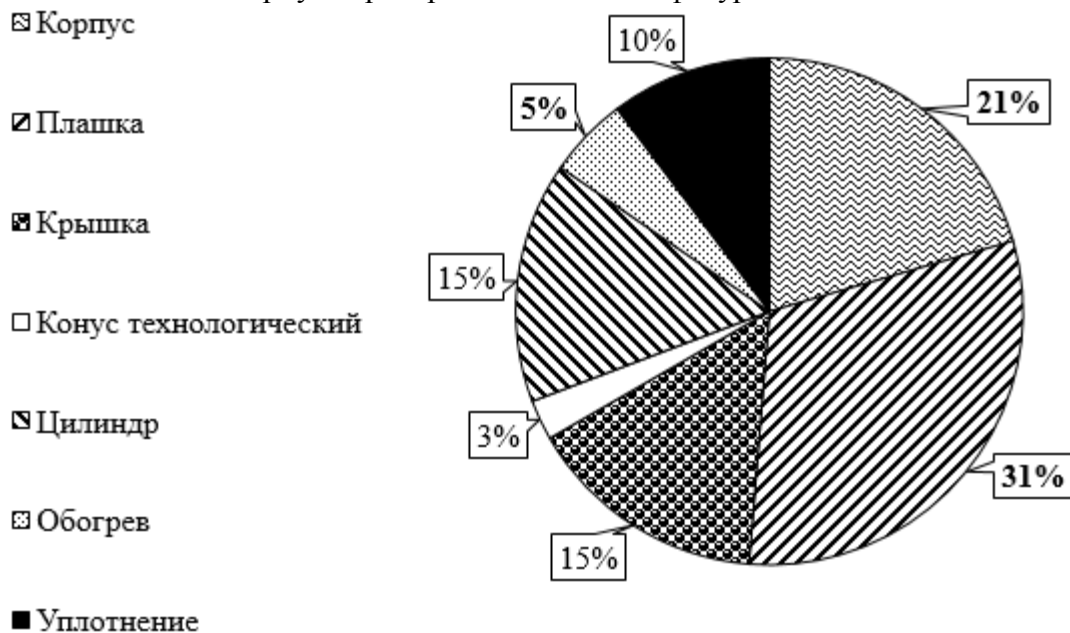


Рисунок 5 - Совершенствуемые элементы в российских патентах по плашечным превенторам за период 2007-2017 г.г., %

В России к патентованию превенторов в равной степени проявляют интерес предприятия "Сибтехноцентр"», "СибБурМаш"». В США патентованием занимаются CAMERON INTERNATIONAL CORPORATION и National Oilwell VARCO. В Китае: SHENGLI FANLAND PETROLEUM EQUIPMENT CO LTD.

По результатам анализа можно заключить, что проведён количественный анализ научно-технической информации (статьи в журналах, материалы конференций, научные издания, диссертации и патенты) равный 722 публикациям по исследуемой теме. Наибольшее количество приходится на патенты и научные статьи (около 80 процентов от общего количества информации).

Итог анализа патентов, проведённого по базам данных Федерального института промышленной собственности и Европейского Патентного ведомства, показал, что за период 2007-2017 годов было опубликовано 212 патентов, наибольшая часть из которых принадлежит Китаю (более 65 процентов) и России (около 20 процентов). Наибольшее количество публикаций патентов приходится на отрезки с 2007 по 2009 года и с 2016 по 2017 года. Основываясь на общем распределении количества патентов, закономерно, что производство превенторов перенесено в Китай.

В России большая часть патентов относится к плашечным превенторам (более 80 процентов). Чаще всего у данного типа оборудования совершенствуются плашки (около 30 процентов) и корпус (около 20 процентов).

Таким образом, проведённый анализ патентной и научно-технической информации по превенторам показал, что общая тенденция по количеству информации идет на увеличение, значит данная тема является актуальной.

#### **Библиографический список:**

1. Сулейманов Р.С., Хафизов А.Р., Шайдаков В.В., Чеботарёв В.В., Ставицкий В.А., Кабанов О.П., Пестрецов Н.В. Сбор, подготовка и хранение нефти и газа технологии и

оборудование / уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2007.

2. Шайдаков В.В., Полетаева О.Ю., Чернова К.В., Катрич Н.М. Физико-химическое воздействие при подготовке нефти, газа и воды в промышленных условиях. Уфа, 2012. Сер. Иновационные технологии при добыче нефти и газа.

3. Ямалиев В.У., Гареев Р.Р. Оптимизация системы диагностирования динамического оборудования на установках комплексной подготовки газа газовая промышленность. 2012. № 12 (683). С. 91-93.

УДК 621.82:004.052.32

**Диагностические параметры оценки расцентровки валов и дефектов подшипников в центробежных насосных агрегатах**

Шичёв П. С.

Научный руководитель – И. Ю. Быков

*Ухта, Ухтинский государственный технический университет*

Мероприятия по оценке технического состояния промышленного оборудования в обязательном порядке входят в регламентируемые перечни работ по его техническому обслуживанию и реализуются методиками, основу которых составляют диагностические методы, предполагающие анализ различных диагностических параметров, характер которых определяется разновидностью диагностируемого оборудования и режимами его работы.

Одной из разновидностей оборудования, составляющей значительную часть из эксплуатируемого на различных производственных объектах, являются динамические машины, в частности, центробежные насосные агрегаты (ЦНА). В большинстве случаев, непредвиденный отказ ЦНА вызывает опасность для обслуживающего персонала и риск существенных материальных затрат предприятия. На рисунках 1, а, б обозначены доля отказов ЦНА в общем количестве по всему оборудованию нефтегазовых предприятий и распределение причин отказов по видам неисправностей, возникающих и развивающихся по причинам заводского брака, нарушений технологий монтажа и сборки при вводе агрегата в эксплуатацию, в том числе после ремонтов, нарушения эксплуатационных режимов, естественного износа.

Наиболее опасными и часто обнаруживаемыми неисправностями являются дефекты подшипников и нарушение соосности валов (расцентровка) ЦНА. Отмеченные неисправности являются дефектами механического происхождения и связаны с проявлением модуляции механических колебательных сил в агрегате.

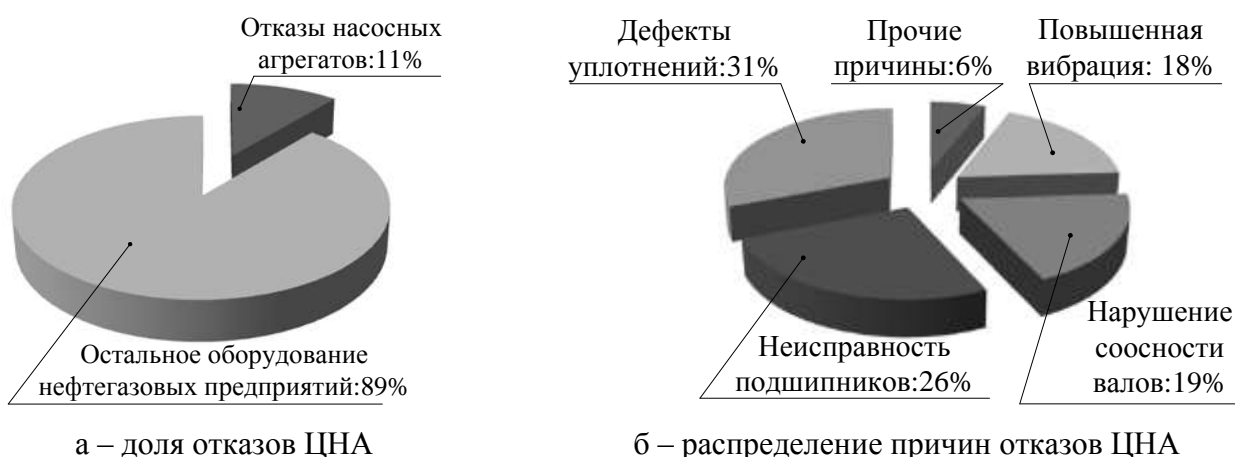


Рисунок 1 – Диаграммы распределения долей отказов ЦНА и их причин

Высокую чувствительность к изменениям механических колебательных сил имеют методы диагностики, основанные на анализе параметров сигнала вибрации, как явления,

полностью определяемого колебательными силами в машине, в том числе и механическими, а также сигналов электрических параметров приводного двигателя ЦНА, что объясняется связью параметра тока с радиальными и тангенциальными силами, воздействующими на ротор двигателя [1]. В свою очередь, использование методов, предполагающих анализ характеристик тока двигателя, позволяет организовать более эффективные методики оценки неисправностей в труднодоступных и эксплуатируемых в тяжелых условиях воздействия климатических факторов и загрязнений ЦНА. Эффективность объясняется возможностью выполнения мониторинга параметров без непосредственного доступа к объекту с привязкой к линии питания электродвигателя [2].

Анализ современного уровня разработки рассматриваемого метода показал, что существует необходимость его изучения в аспекте определения количественных значений диагностических параметров, соответствующих различным уровням дефектов, в частности, расцентровки и дефектов в подшипниках ЦНА.

Исследование диагностических параметров выполнено с помощью экспериментального оборудования, установленного в научно-производственной лаборатории ФГБОУ ВО УГТУ. Комплекс оборудования включает в себя центробежный консольный насосный агрегат К 20/30, присоединенный к емкости через регулирующие вентили, шкаф с пусковой, защитной и измерительной аппаратурой, ноутбук для программной обработки сигналов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Экспериментальное оборудование

Порядок эксперимента включает в себя измерение сигнала тока фазы линии питания электродвигателя при искусственном создании неисправностей в агрегате в виде расцентровки валов и дефектов подшипников качения насоса и двигателя. Количественно уровень расцентровки определен центровочным устройством по наибольшему смещению ( $a, b$ ) между полумуфтами (рисунок 3, а). Уровень дефекта подшипника соответствует максимальному смещению между обоймами (1,2) в радиальном и осевом направлениях, при приложении соответствующих усилий ( $F_r, F_a$ ), измеряемому микрометром с ценой деления 0,01 мм (рисунок 3, б).



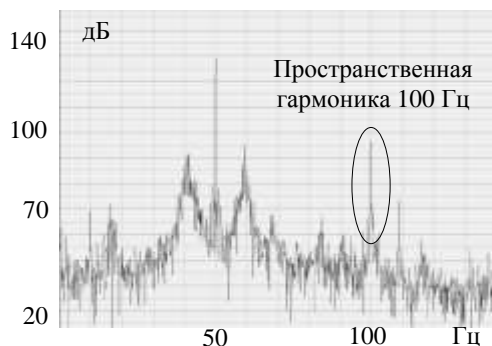
а – определение уровня расцентровки      б – определение уровня дефекта подшипника  
1,2 – наружная и внутренняя обоймы

Рисунок 3 – Схемы к определению уровней дефектов

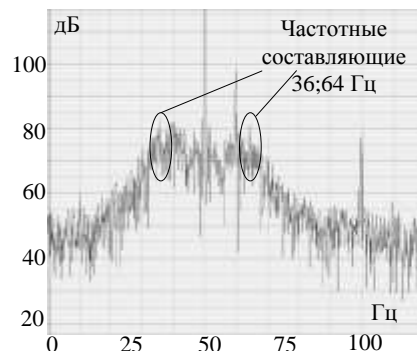


С помощью специализированного программного обеспечения Zetlab определены информативные частотные составляющие спектра, реагирующие на изменение уровней расцентровки валов и дефектов в подшипниках агрегата (см. рисунки 4, а, б, в).

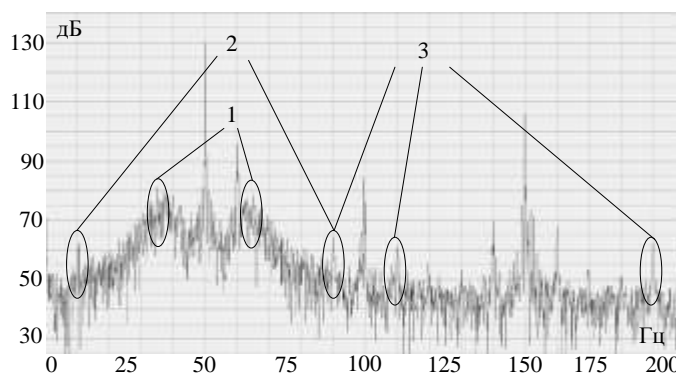
Информативность отмеченных частотных составляющих спектра объясняется преимущественной чувствительностью значения их амплитуд к возникновению и изменению уровня дефектов в сравнении с составляющими на других частотах.



а – спектр тока при наличии расцентровки валов



б – спектр тока при наличии дефекта в подшипниках насоса



1 – частотные составляющие 36;64 Гц; 2 – частотные составляющие 10;90 Гц;  
3 – частотные составляющие 90;110;190 Гц;

в – спектр тока при наличии дефекта в подшипниках двигателя

Рисунок 4 – Спектры тока двигателя при наличии дефектов ЦНА

При этом диагностическими параметрами оценки уровней расцентровки валов и дефектов подшипников агрегата могут являться значения относительных амплитуд информативных составляющих спектра тока:  $A'_i = A_i / A_{50}$ , где  $A_i$  – амплитуда информативной составляющей,  $A_{50}$  – амплитуда основной гармоники на частоте 50 Гц [2].

По результатам экспериментального исследования определены диагностические параметры, с помощью анализа которых возможно определить уровни расцентровки валов и дефектов в подшипниках насоса и электродвигателя ЦНА:

- Расцентровка валов:  $A'_{100} = A_{100} / A_{50}$  – по составляющей на частоте 100 Гц;
- Дефект подшипников:  $A'_{36}; A'_{64}$  – по наибольшему для составляющих 36 и 64 Гц;
- Для локализации дефекта подшипника в электродвигателе, дополнительно, необходимо качественно оценить изменение амплитуд составляющих на частотах 10, 90, 110, 190 Гц:  $A_{10}; A_{90}; A_{110}; A_{190}$ .

Таким образом, количественная оценка определенных диагностических параметров для различных уровней расцентровки валов и дефектов подшипников агрегата в дальнейшем позволит эффективно диагностировать указанные дефекты в ЦНА.

**Библиографический список:**

1. Копылов И. П. Электрические машины. Москва: Высш. шк.; Логос. 2000. 607 с.
2. Шичёв П. С., Ягубов З. Х. Определение диагностических признаков неисправного состояния центробежного насосного агрегата в спектре тока электродвигателя // Контроль. Диагностика / «Спектр». 2017. №6. С. 50-57.

УДК 624.154

**Анализ существующих конструкций и выбор оптимальной схемы гидроприводного насоса**

Шматин Е. К., Сиразетдинова А. М.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Усинск*

В связи с вступлением основных месторождений нефтедобычи в позднюю стадию разработки, характеризующуюся ростом обводненности продукции скважин и снижением дебитов, особую актуальность приобретают вопросы подготовки к разработке нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Трудноизвлекаемые запасы (высоковязкие, высокообводненные нефти и низкопроницаемые коллекторы, а также нефтяные месторождения с газовой шапкой) — это более 60% отечественной сырьевой базы, и их доля непрерывно растет.

Одним из способов повышения коэффициентов извлечения нефти на поздней стадии разработки крупнейших нефтяных месторождений страны является бурение боковых направленных стволов из «старого» фонда скважин. БС имеет малый в сравнении с основным стволом диаметр обсадной колонны (89-114 мм) из-за невозможности спуска в старый ствол скважины долота большего размера.

Следовательно, возникают вопросы требующие решения: создание насосного оборудования для добычи высоковязкой нефти с минимальными габаритными размерами и способное работать в условиях наклонно-направленных и горизонтальных скважинах.

Одним из перспективных видов оборудования в этом направлении, являются гидроприводные винтовые насосы.

Первое упоминание о возможности создания погружного гидроприводного винтового насосного агрегата (ГВНА) по схеме винтовой гидромотор-винтовой насос появилось в России в 1971 г. Но реализация конструкция была затруднена ввиду отсутствия наработанных технология изготовления основных узлов и агрегатов.

В настоящее время не велись конструкционные разработки подобных схем. Однако на сегодняшний день имеются серьезные основания пересмотреть вопрос о разработке и внедрении установок гидроприводных винтовых насосов, поскольку:

- накоплен опыт изготовления и эксплуатации основных узлов агрегата (многозаходных винтовых пар, шарниров, гибких валов, осевых опор, резьбовых соединений);
- увеличился удельный вес наклонно-направленных скважин, при эксплуатации которых использование традиционной техники механизированной добычи вызывает определенные проблемы;
- увеличился фонд скважин с трудноизвлекаемыми запасами..

Перспективность и актуальность проектов разработки и внедрения установок гидроприводных винтовых насосов обусловлена рядом технико-экономических преимуществ:

- по сравнению с УШВН -возможность эксплуатации в скважинах со сложным профилем, отсутствие штанг, возможность выбора оптимального режима, простота замены погружного агрегата.
- по сравнению с УЭВН- отсутствие необходимости в электрическом кабеле, улучшенные пусковые свойства.

Установка разработанная в данном проекте представляет собой компоновку из серийно изготавливаемого винтового забойного двигателя Д-76 компании Интегра в нормальном положении и винтовой пары насоса МВН-45 (рис. 1).

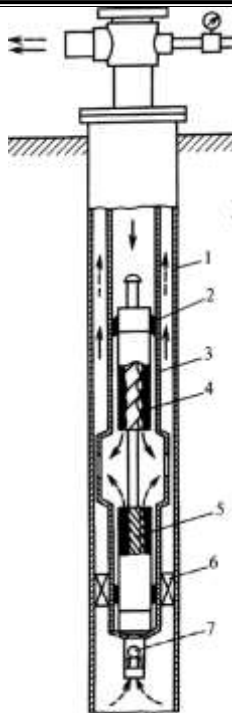


Рисунок 1 – Схема погружного гидроприводного винтового

Энергия потока рабочей жидкости высокого давления в гидродвигателе погружного агрегата преобразуется в механическую энергию вращательного движения винта гидродвигателя. Гидродвигателя приводит в движение винт насосной части агрегата, в результате чего насос погружного агрегата отбирает добываемую нефть из скважины и по затрубному пространству, между двумя рядами насосно-компрессорных труб поднимает на устье скважины.

На поверхности находятся: силовой привод установки (трехплунжерный насос и электродвигатель), оборудование для очистки рабочей жидкости. Добытая продукция (нефть и отработавшая в гидродвигателе агрегата рабочая жидкость) от устья скважины по трубопроводу низкого давления поступает в трехфазный сепаратор, где происходит разделение на газ, нефть и пластовую воду. Нефть далее разделяется на два потока, одна ее часть поступает по трубопроводу в систему сбора, а вторая - на циркуляционный насос и на блок циклонной очистки, где производится отделение механических примесей до качества "подтоварной нефти". Затем очищенная нефть поступает в емкость для сбора рабочей жидкости, а оттуда на прием трехплунжерного насоса. дальнейшем цикл движения рабочей жидкости повторяется и осуществляется непрерывно, обеспечивая тем самым бесперебойную работу погружного гидроприводного насосного агрегата.

Особенностью устьевого оборудования является наличие четырехходового крана для подъема насосного агрегата из скважины. Четырехходовой кран на устье скважины переключается так, чтобы рабочая жидкость поступала под насос заставляя его подниматься вверх внутри колонны труб в потоке закачиваемой жидкости. При достижении устья скважины агрегат своей верхней головкой захватывается специальным ловильным устройством, размещенном в устьевом оборудовании, и извлекается из скважины.

Этот способ позволяет осуществлять замену отработавшего в скважине погружного агрегата на новый без подъема колонны труб, что обеспечивает резкое сокращение простоя скважины связанное с заменой агрегата. Подъем агрегата с глубины 2000 метров осуществляется в течение 35-40 минут. Спуск агрегата в скважину осуществляется свободным сбросом его внутрь колонны труб.

С целью уменьшить габаритные размеры двигателя обтачивается по корпусу на 2 мм. Для разгрузки от осевой силы используется уравновешенная схема. Рабочая жидкость направляется сверху вниз (то есть осевая сила направлена вниз), в насос поток также поступает сверху вниз (осевая сила направлена вверх). В качестве рабочей жидкости используется нефть. Особенность данной конструкции в использовании в качестве уплотнительного элемента пята-сальника шпиндельной секции ВЗД.

В конструкции используется стандартная двигательная секция ВЗД с кинематическим отношением рабочих органов 4:5, шпиндельная секция с полым валом, также в ней имеются отверстия для выхода потока в затрубное пространство.

Насосная секция представляет собой конструкцию цилиндр в цилиндре, пространство между которыми разделено на 4 рабочих полости с помощью радиально расположенных ребер. Во внутреннем цилиндре, который состоит из стакана и статор винтового насоса, расположены шарнирная муфта, промежуточный вал, имеются радиальная опора, и дополнительная осевая опора, основная функция которой разделить поток жидкости поступающей в насос и поток на выходе из насоса, именно поэтому для этого используется пята-сальник (резинометаллическая опора скольжения). Применение пята-сальника позволяет снизить длину насоса за счет уменьшения количества шарнирных соединений. (имеем перепад давления, то есть сальники не долговечны)

Для выбора оптимального кинематического отношения рабочих органов винтового насоса в ходе проекта создана математическая модель. Исходными данными для нее являются технологические параметры и конструкция скважины, затем производится расчет параметров скважины и параметров насоса. На следующем этапе рассматривается несколько вариантов кинематического соотношения и выбирается наиболее подходящее заданным требованием. Для этих расчетов используется Excel. Затем для выбранного кинематического отношения проводится проверка различных вариантов по эксцентриситету, для определения верхнего и нижнего пределов крутящего момента. Точное числовое значение крутящего момента необходимо для проверки с помощью соlid симуляций на прочность шарнирной муфты.

Устройство работает следующим образом флюид через нижнюю крышку насоса поступает в 2 рабочие полости, затем через отверстия входа в насос поступает непосредственно в винтовой насос, на выходе из насоса флюид попадает в 2 оставшиеся рабочие полости и движется по ним вверх в пространство над дополнительной осевой опорой, поднимаясь выше жидкость попадает в полый вал, на выходе из которого происходит смешением с рабочей жидкостью и жидкость поступает в затрубное пространство.

Новизна данной работы в создании работоспособного сбрасываемого насосного агрегата УГВН с заменяемым гидродвигателем. Особенность данной конструкции в использовании в качестве уплотнительного элемента пята-сальника шпиндельной секции ВЗД.

Преимущество данной установки:

- агрегат создан из серийно выпускаемых изделий.
- независимая насосная секция к которой с помощью переводника крепится ВЗД 45-76 позволяет осуществлять добычу с дебетом 5-35 кубов. Проверка осуществлялась с помощью математической модели.

- Габаритные размеры длин установки до 4м, диаметр 72 мм.
- Широкий диапазон регулирования режимов работы.
- Простота замены агрегата 35-40 мин, снижение сроков простоя скважины.
- Низкие требования к рабочей жидкости, используется товарная нефть

Недостатки

- высокие расходы рабочей жидкости, однако замкнутая циркуляция жидкости позволяет решить эту проблему.

целесообразно для кустовой добычи

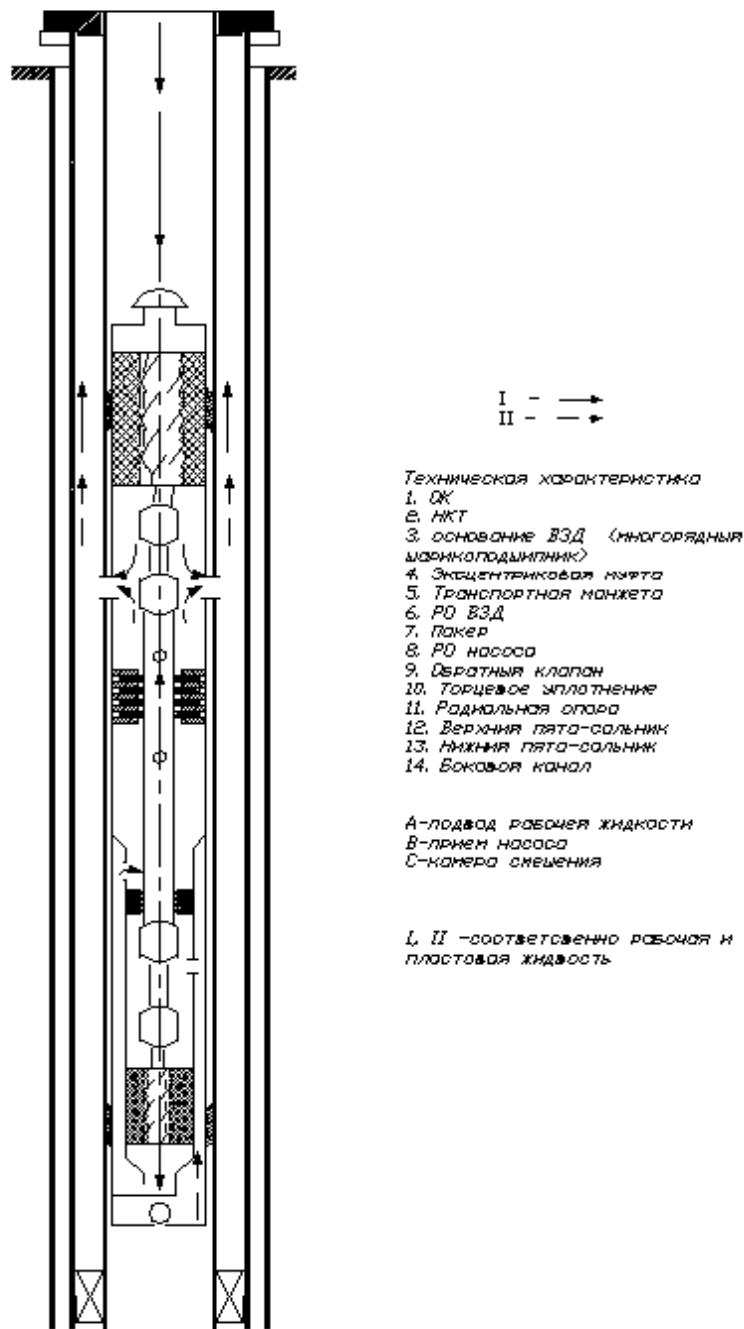


Рисунок 2 – Принципиальная схема УГВН

**Библиографический список:**

1. Шичёв П. С., Ягубов З. Х. Определение диагностических признаков неисправного состояния центробежного насосного агрегата в спектре тока электродвигателя // Контроль. Диагностика / «Спектр». 2017. №6. С. 50-57.
2. Шайдаков В.В., Полетаева О.Ю., Чернова К.В., Катрич Н.М. Физико-химическое воздействие при подготовке нефти, газа и воды в промышленных условиях. Уфа, 2012. Сер. Иновационные технологии при добыче нефти и газа.

**Линейный привод штангового насоса с уравнивающим устройством**

Юнусов И. И.

Научный руководитель – Молчанова В. А.

*Уфимский Государственный нефтяной технический университет*

Эксплуатация скважин с высоковязкой продукцией с применением различных технических средств подтверждает высокую эффективность длинноходовых установок скважинных штанговых насосов, работающих в постоянном режиме с малой скоростью движения штанговой колонны при малой частоте подъемов/спусков, обеспечивающих постоянство скорости штанг на большей части хода. При этом достигается высокий коэффициент наполнения насоса, снижаются потери на трение в насосном подъемнике. Однако такие режимы не могут быть реализованы с балансирными станками-качалками из-за присущего им близкого к гармоническому закона движения штанг.

Для реализации благоприятных тихоходных режимов откачки с оптимальной длиной хода и минимальной частотой качаний, позволяющих снизить динамические нагрузки на штанги и привод, повысить долговечность работы оборудования, достигнуть минимальных энергетических показателей, особенно при эксплуатации скважин с высоковязкими нефтями, целесообразно применение специально разработанных для таких условий линейных приводов с уравнивающим устройством, обеспечивающих равномерное движение штанг на большей части хода.

Анализ существующих линейных приводов штанговых насосов показал, что основным недостатком являются высокие нагрузки на привод при движении зубчатой рейки вверх [3]. Привод воспринимает нагрузку на подъем колонны штанг в жидкости и столба пластовой жидкости, находящийся над плунжером скважинного насоса. Таким образом, уравнивание линейного привода можно обеспечить размещением необходимого контргруза.

Уравнивание с целью равномерного распределения нагрузки на двигатель за обе половины цикла сводится к обеспечению равенства моментов на шарнире за оба хода штанг. При этом отрицательный момент должен быть устранен, а положительные максимумы значительно снизиться. При уравнивании работы привода исходят из необходимости обеспечения наименьшего среднеквадратичного значения вращающего момента за полный цикл работы, которому соответствуют ходы плунжера вверх и вниз. Соблюдение этого условия может быть очень просто проверено, так как вращающий момент электродвигателя в линейном приводе пропорционален силе тока. При этом практически обеспечивается и равенство максимумов вращающегося момента за оба полуцикла, т.е. при ходе плунжера вверх и при ходе его вниз, а также равенство работ, совершаемых двигателем за оба полуцикла.

Неравномерная нагрузка вызывает неравномерную работу электродвигателя. Такая неравномерность приводит к ускоренному износу узлов привода и к ненормальному режиму работы электродвигателя. Оптимальный режим его работы будет обеспечен в том случае, если работа, совершаемая двигателем в течение одного двойного хода (при ходе штанг вверх и вниз), постоянна.

На рисунке 1 приведена схема устройства линейного привода УСШН с уравнивающим устройством.

Привод с уравнивающим устройством содержит стойку-опору 1, линейный привод с асинхронным двигателем 2, ходовые винты 3, 4 для балансировки траверсы и регулировки длины хода, соосные штанге и оси скважины, с установленными на них гайками 5, 6, которые жестко прикреплены к концам траверсы 7, закрепленной на штанге. В верхней части стойки-опоры 1, установлен вращающийся ролик уравнивающий 9 с уложенной на нем гибкой связью 8, один из концов которой связан с траверсой 7, а другой – с противовесом уравнивающим 10.

Максимальная нагрузка, передаваемая на линейный привод УСШН без уравнивающего контргруза может варьироваться от 6 до 15т [4]. Применяя же уравнивающий контргруз можно добиться значительных увеличений передаваемой нагрузки. Данное решение делает возможным применение линейного привода в глубоких скважинах.

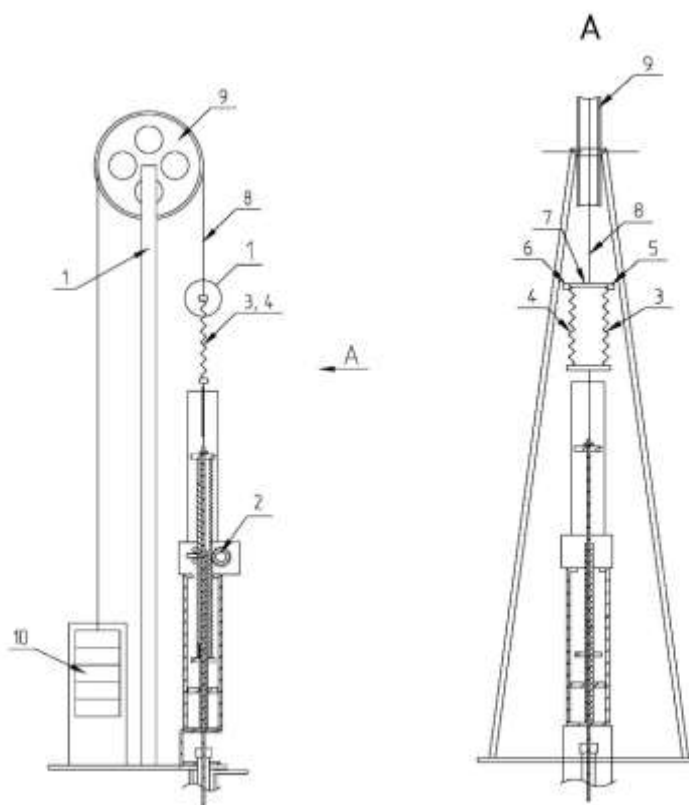


Рисунок 1 – Линейный привод УСШН с уравнивающим устройством

Линейный привод с уравнивающим устройством работает следующим образом: стойка-опора *1* установлена рядом со скважиной с опорой на площадку соосно продольной оси скважины на расстоянии радиуса ролика, уравнивающего *9*. От электродвигателя движение передается зубчатой рейке, которая в свою очередь соединена через сальник с траверсой. В результате чего узлы линейного привода совершают возвратно-поступательное движение совместно с траверсой *7*. Траверса *7*, в свою очередь, через гибкую связь *8* и ролик уравнивающий *9* приводит в движение противовес уравнивающий *10*. Противовес *10* располагается в каретке с роликами, которая служит в качестве защиты для обслуживающего персонала и для предотвращения отклонения от траектории движения. В качестве противовеса *10* используются чугунные пластины, общий вес которых регулируется за счет снятия и добавления дополнительных секции.

Затраты времени на монтаж линейного привода, включающий первичный сбор узлов, заливку масла в редуктор и реечный механизм, установки ролика, посекционный сбор контргруза, наладку и запуск в работу занимает не более 6 часов. При монтаже возникает необходимость использования крана грузоподъемностью до 1 т. Привод может быть демонтирован и установлен на настил в вертикальном положении, и в этом случае нет необходимости производить слив масла из реечного механизма. Если привод будет укладываться в горизонтальное положение, необходимо будет произвести операцию слива масла из реечного механизма и повторную заливку перед монтажом линейного привода. Слив и повторный залив масла в редуктор по причине его полной герметичности производить не требуется [3].

Таким образом в линейном приводе УСШН без уравнивающего контргруза наиболее нагруженными, вследствие больших вертикальных нагрузок, являлись шестерня и ось рейки, сама зубчатая рейка, работающая совместно с полированным штоком, асинхронный электродвигатель работающий на подъем колонны штанг в жидкости и столба пластовой жидкости, редуктор. Наибольшим износ приходился на шестерню и редуктор, воспринимающие большие моменты [2]. Данные недостатки были устранены путем устройства уравнивающих контргрузов через ролик, которые воспринимают нагрузку на подъем колонны штанг и уравнивают моменты за оба хода штанг.

Из-за отсутствия аналогов, наиболее близким к разрабатываемому линейному приводу с уравнивающим устройством являются цепные приводы. Возможные причины отказов и поломок можно рассмотреть на примере ОАО АНК «Башнефть», в фонде которой на 2016 год имелось 55 единиц цепных приводов [1]. В ходе анализа выяснено, что, основными слабыми звеньями являются ролики каретки и применение вместо грузового каната грузовой ленты.

Применение уравнивающего устройства в линейном приводе обеспечивает равномерную работу электродвигателя, вследствие чего повышается его срок службы. При этом достигается высокий коэффициент наполнения насоса, снижаются потери на трение в насосном подъёмнике. Благодаря регулируемой траверсе возможно изменять длину хода штока.

**Библиографический список:**

1. Башнефть [электронный ресурс]: годовой отчет, 2016. – Режим доступа: [http://www.bashneft.ru/files/iblock/658/hg\\_svd\\_new\\_small.pdf](http://www.bashneft.ru/files/iblock/658/hg_svd_new_small.pdf) (Дата обращения: 12.06.2018).
2. Якимов С. Б. Линейный привод ШГН. Первый опыт применения в России / С. Б. Якимов, А. А. Клусов // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2013. – № 8. – С. 12.
3. Якимов С. Б. Линейный привод штангового насоса: передовой опыт из Трансильвании / С. Б. Якимов, Д. А. Косилов, А. А. Баринов // Вестник механизированной добычи (приложение к журналу «Новатор»). – 2013. – № 4. – С. 68–72.
4. Beck T. L. United States Patent Application Linear rod pump apparatus and method / T. L. Beck, R. G. Anderson, R. G. Peterson, M. A. MacDonald. – 2012. – № US 8152492 B2.

УДК 62-822:621.653.6

**Анализ систем гидроприводов штанговых скважинных насосов для добычи нефти**

Юшин Е. С.

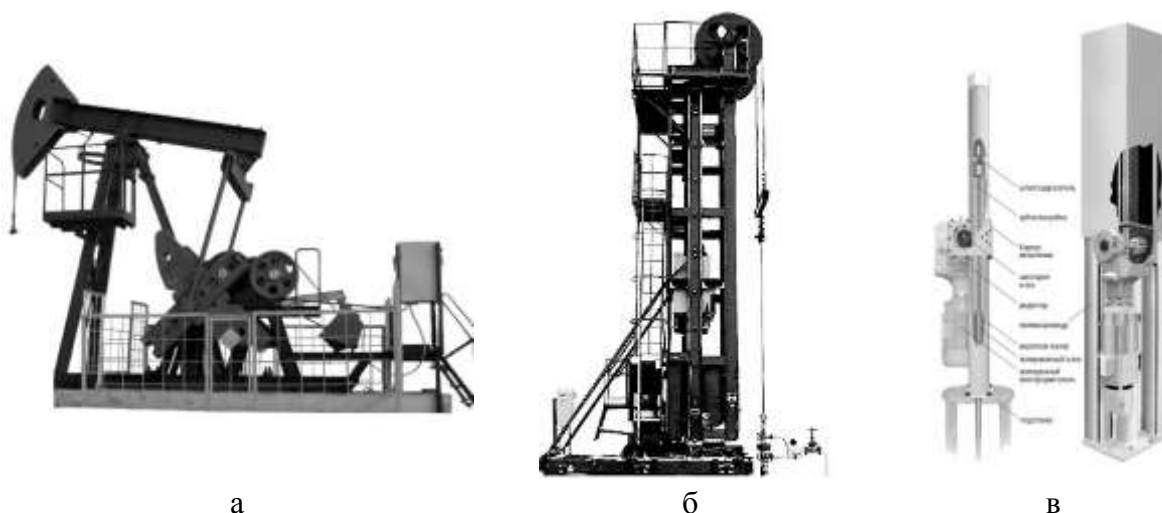
*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Механизированная добыча нефти штанговыми глубинными насосами (ШГН) относится к одному из наиболее распространенных способов совместно с извлечением углеводородов погружными центробежными электронасосами. Штанговые скважинные насосные установки включают подземное оборудование (глубинный насос) и наземную часть (привод).

Согласно ГОСТ Р 51763-2001, приводы ШГН бывают:

- с механической трансмиссией (балансирные и безбалансирные станки-качалки, безбалансирный цепной и линейный реечный привод);
- с гидравлической трансмиссией.

Основные виды приводов ШГН с механической трансмиссией показаны на рисунке 1.



а – балансирный станок-качалка (СК); б – цепной привод;  
в – линейный реечный привод (LRP)

Рис. 1. Основные виды приводов ШГН с механической трансмиссией



Известно, что балансирные СК (рисунок 1а) являются наиболее распространенным видом ШГН как в России, так и за рубежом. Они не лишены ряда недостатков, однако, производители не спешат от них отказываться в силу многолетнего опыта работы с этим приводом. Разработанный и реализованный на территории Татарстана компанией «Татнефть» цепной привод ШГН (рисунок 1б) является относительно новым типом привода, но широкого распространения он пока не получил. Кроме того, некоторые организации отказываются от цепного привода вследствие ряда особенностей, одной из которых называют повышенный обрыв штанговой колонны при эксплуатации. Новейшей разработкой Общества Unico inc. (США) является линейный реечный привод ШГН (рисунок 1в), так называемый LRP (linear rod pump), применяемый, в основном, на промыслах Северной и Южной Америк, стран Азии. Этот тип привода ШГН в настоящее время мало изучен и практически не используется в добыче нефти на территории РФ, однако, некоторые отечественные производители уже начали выпуск своей «линейки» такого оборудования.

Переход к гидроприводу ШГН может быть обусловлен следующими основными причинами:

- необходимостью увеличения длины хода насосных штанг с сохранением общей металлоемкости конструкции привода (действительная длина хода СК = 3...4 м; максимальное усилие 60...80 кН при заявляемых 6 м и 100...120 кН);
- необходимостью отказа от фундамента (наличие горизонтальных составляющих опорных реакций при работе привода ведет к расшатыванию конструкции, следовательно, требуется центровка относительно оси скважины);
- необходимостью снижения времени монтажно-демонтажных работ и проведения ремонтов в полевых условиях.

Эффективность работы ШГН с гидроприводом зависит, в первую очередь, от способа уравнивания. КПД системы уравнивания можно оценить по параметру удельной энергоемкости.

Удельная энергоемкость ( $E$ ) – количество накапливаемой энергии на единицу собственной массы аккумулятора.

На сегодняшний день применяются следующие способы уравнивания гидроприводов ШГН:

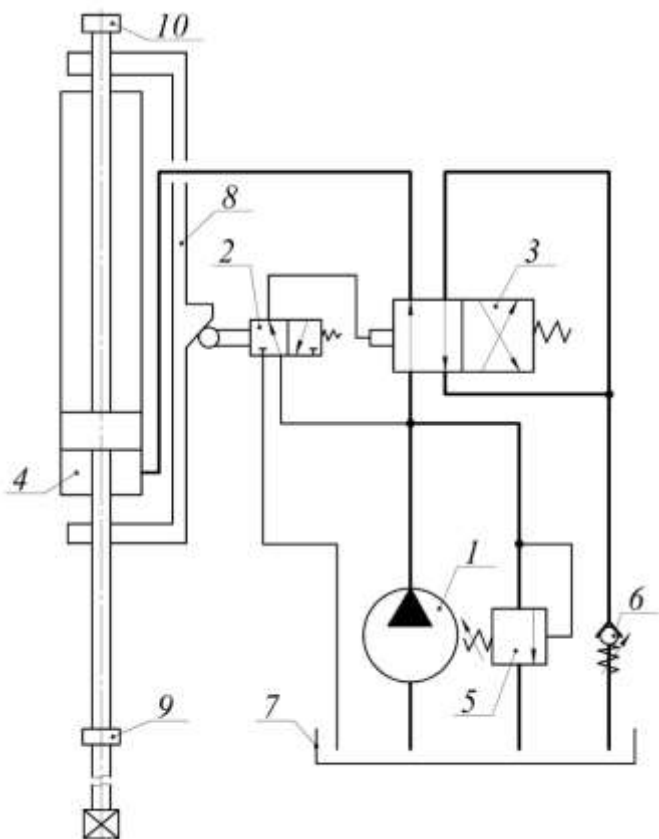
- механическое или грузовое ( $E = 1...6$  кДж/кг);
- пневматическое ( $E = 25...30$  кДж/кг);
- динамическое или инерционное ( $E = 200$  кДж/кг и выше) [1].

Как видно, инерционное уравнивание обладает наибольшей способностью аккумулирования энергии и её последующей отдачи гидроприводу. Такие системы перспективны в добыче нефти механизированным способом с помощью ШГН.

Для маломощных гидроприводов ШГН могут применяться системы без уравнивания. Схема гидросистемы скважиннонасосной установки с гидромеханическим управлением без уравнивания представлена на рисунке 2.

При ходе штока гидроцилиндра 4 вверх рабочая жидкость из емкости 7 от насоса 1 поступает в управляющий двухпозиционный распределитель 2 и основной распределитель 3. Штанга 8, связанная со штоком упорами 9 и 10, при ходе штока вверх удерживает золотник распределителя 2 в правом (по схеме) положении. При этом распределитель 3 под давлением также переключается в правое положение.

Рабочая жидкость поступает в полость гидроцилиндра 4. При достижении нижним упором 9 штанги 8 кулачок ее поднимается вверх, освобождая пружину распределителя 2. Распределитель переключается в левое положение, и управляющая гидролиния основного распределителя 3 соединяется со сливной гидролинией управления, в результате чего золотник распределителя 3 под действием собственной пружины управления также переключается в левое положение. При этом насос 1 и рабочая полость гидроцилиндра соединится с основной сливной линией. Шток движется вниз.



1 – насос; 2 – двухпозиционный распределитель; 3 – основной распределитель; 4 – рабочий гидроцилиндр; 5 – предохранительный обратный клапан; 6 – обратный клапан; 7 – ёмкость; 8 – штанга; 9 – нижний упор; 10 – верхний упор

Рис. 2. Гидропривод с гидромеханическим управлением без уравнивания

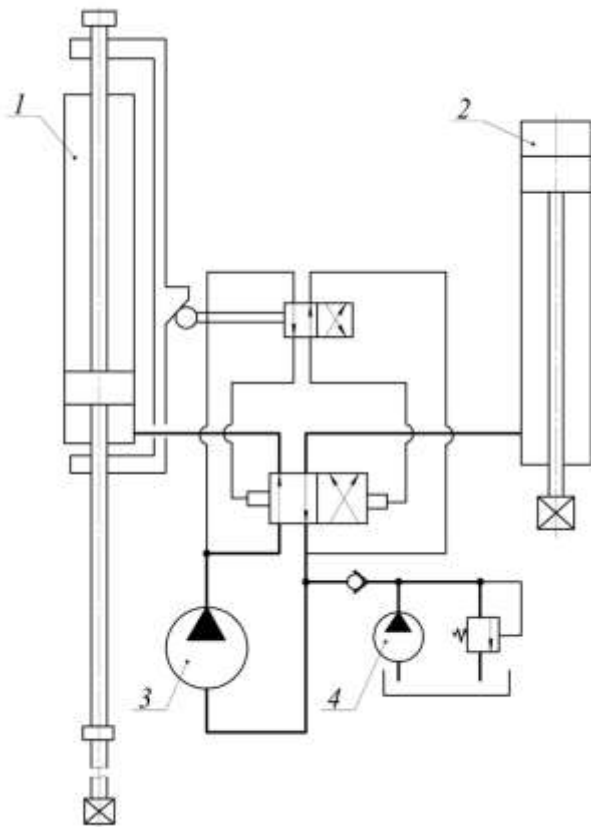
При ходе штока гидроцилиндра 4 вверх рабочая жидкость из емкости 7 от насоса 1 поступает в управляющий двухпозиционный распределитель 2 и основной распределитель 3. Штанга 8, связанная со штоком упорами 9 и 10, при ходе штока вверх удерживает золотник распределителя 2 в правом (по схеме) положении. При этом распределитель 3 под давлением также переключается в правое положение.

При достижении верхним упором 10 штанги 8 кулачок ее вновь установит управляющий распределитель 2 в правое положение. Рабочая жидкость от насоса поступает в линию управления распределителя 3. Однако, теперь уже давление в этой линии равно давлению слива, поскольку насос соединен с ним. Для переключения распределителя в правое положение необходимо, чтобы давление в линии управления превысило усилие пружины распределителя. С этой целью, в основной сливной линии установлен обратный клапан 6, регулирующий давление подпора в сливе. Таким образом, пока насос не развил давление для подъема гидроцилиндра, распределитель 3 переключается под давлением линии слива. Пружина распределителя 3 рассчитана на противодействие сливной линии управления распределителя 2, в которой отсутствует подпорный обратный клапан. Предохранительный обратный клапан 5, установленный параллельно насосу 1, срабатывает в моменты реверсов, обеспечивая их «подрессоривание» [2].

Схема гидросистемы скважиннонасосной установки с гидромеханическим уравниванием показана на рисунке 3.

Рабочие полости основного 1 и уравнивающего 2 цилиндров соединены между собой через двухпозиционный гидрораспределитель и насос 3. При ходе штока основного цилиндра 1 вверх насос 3 подает жидкость в его рабочую полость, а уравнивающий цилиндр 2 подает рабочую жидкость на прием насоса. При ходе штока цилиндра вниз жидкость циркулирует в противоположном направлении.

Насос малой мощности 4 подпитывает всасывающую линию основного насоса и пополняет систему рабочей жидкостью.



- 1 – рабочий гидроцилиндр;  
 2 – уравнивающий гидроцилиндр;  
 3 – основной насос; 4 –  
 подпитывающий насос малой  
 мощности

Рис. 3. Гидропривод с гидромеханическим уравниванием

Из приводов с уравниванием в первое время были распространены приводы с гидропневматическим уравниванием, имеющие более компактную конструкцию, вследствие чего они применялись для мощных насосов с большой длиной хода. Как правило, приводы с гидропневматическим уравниванием применяются с замкнутой системой циркуляции рабочей жидкости и гидравлическим управлением реверса [2].

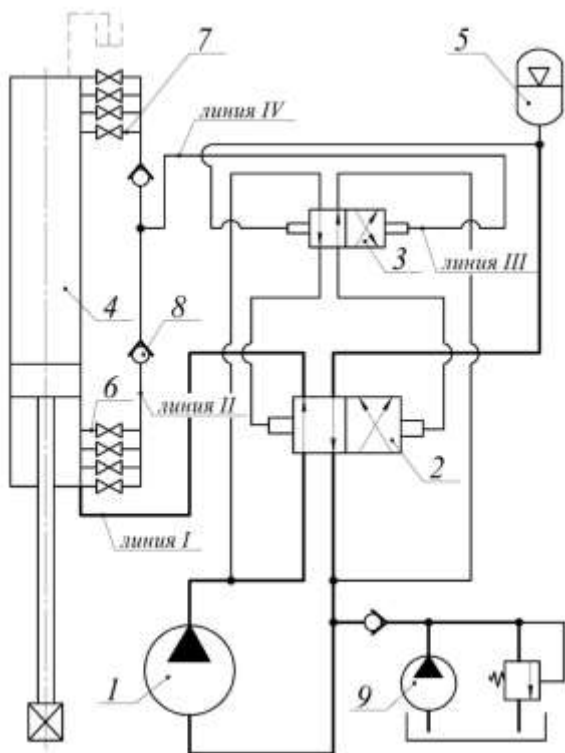
Схема гидросистемы скважиннонасосной установки с гидропневматическим уравниванием представлена на рисунке 4.

Система включает насосную станцию 1 с аппаратурой управления 2 и 3 и гидропневматический аккумулятор 5. В верхней и нижней частях рабочего гидроцилиндра 4 расположено несколько отводов с вентилями 6 и 7, предназначенными для регулирования хода штока гидроцилиндра при гидроуправлении реверсом.

В начале рабочего хода вверх управляющий 3 и основной 2 распределители включены в правое (по схеме) положение. Рабочая жидкость по напорной линии I поступает в штоковую полость гидроцилиндра и перемещает шток вверх. Через открытый вентиль нижней группы 6 поршень открывает проход жидкости в линию управления II.

Однако нижний обратный клапан 8 отсекает поступающий поток жидкости от линии управления III распределителя 3. При дальнейшем движении поршня вверх жидкость поступает в один из верхних отводов 7 с открытым вентиляем и через верхний обратный клапан 8 в линию управления III. Распределитель 3 переключается в левое положение, так как давление под поршнем и в линии управления III больше давления аккумулятора, питающего линию управления IV.

Установленный в левое положение распределитель управления 3 переключит основной распределитель 2 также в левое положение. Насос 1 переключается на зарядку аккумулятора 5, а жидкость из гидроцилиндра 4 по линии I подается на прием насоса. Управляющий распределитель 3 удерживается в левом положении до тех пор, пока поршень при ходе вниз не откроет проход жидкости из линии управления III через нижний обратный клапан 8 и нижний открытый вентиль во всасывающую полость цилиндра. Распределитель 3 переключится вновь в правое положение и возобновится цикл движения поршня вверх. Как и во всех замкнутых системах, здесь применяется насосная станция подпитки 9 [2].



1 – насосная станция;  
 2, 3 – распределитель; 4 – рабочий гидроцилиндр; 5 – гидропневматический аккумулятор; 6, 7 – вентиль;  
 8 – обратный клапан; 9 – насосная станция подпитки; I – линия напорная;  
 II, III, IV – линии управления

Рис. 4. Гидропривод с гидропневматическим уравниванием

Разновидностью гидросистемы скважиннонасосной установки с гидропневматическим уравниванием является привод с комбинированной циркуляцией жидкости, схема которого представлена на рисунке 5.

Преимущество этого типа привода заключается в отделении рабочих жидкостей гидропривода цилиндра и аккумулятора.

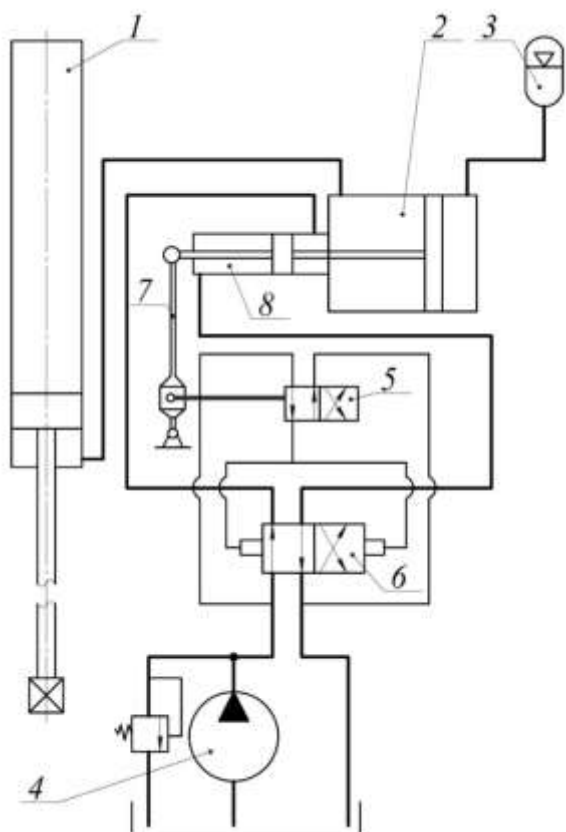
Для привода возвратно-поступательного движения рабочего цилиндра 1 применяют вспомогательный цилиндр 2, аккумулятор 3, насос 4, гидромеханическую систему управления реверсом 5, 6 и 7. Вспомогательный цилиндр 2 – двухступенчатый. Ступени его 2 и 8 между собой гидравлически не связаны, а имеют лишь общий шток. Полость большего диаметра соединена с рабочим цилиндром 1 и аккумулятором 3, полость меньшего диаметра – с насосом 4. Первая система является замкнутой, вторая – открытой.

При подъеме штока цилиндра вверх распределители 5 и 6 устанавливаются в правое (по схеме) положение. Рабочая жидкость от насоса 1 подается во вспомогательный цилиндр малой ступени в полость с общим штоком. Последний, перемещаясь влево (по схеме), подает рабочую жидкость из большой ступени вспомогательного цилиндра 2 в рабочий цилиндр 1.

Одновременно аккумулятор 3 разряжается. При достижении управляющей штангой 7 упора тяги золотника распределителя 5, последний переключится в левое положение и переключит основной золотник 6. Насос начнет подавать жидкость в левую полость малой ступени 8 вспомогательного цилиндра. Аккумулятор 3 заряжается и шток рабочего цилиндра спускается [2].

В настоящее время известен гидрофицированный привод штангового скважинного насоса «Гейзер» ООО «НПП «ПСМ-Импэкс», г. Екатеринбург (рисунок 6).

Принцип работы гидропривода с пневмогидравлическим уравниванием состоит в присоединении устьевого штока и колонны штанг к штоку гидроцилиндра, расположенного вертикально на одной оси с ним. При подаче насосом масла под давлением в нижнюю полость гидроцилиндра его шток идет вверх и поднимает колонну штанг глубинного насоса, осуществляется подъем нефти. При ходе вниз масло вытесняется из гидроцилиндра в бак. Длина хода и направление хода штока задается конечными выключателями, а реверс подачи масла для соответствующего изменения направления хода штока обеспечивается системой управления.



- 1 – рабочий гидроцилиндр;  
 2 – большая ступень вспомогательного гидроцилиндра; 3 – аккумулятор;  
 4 – насос; 5, 6 – распределитель;  
 7 – штанга; 8 – малая ступень вспомогательного цилиндра

Рис. 5. Гидропривод с гидропневматическим уравниванием (с комбинированной циркуляцией жидкости)



- а – монтаж на устьевую арматуру (на планшайбу трубной головки); б – монтаж на упрощенное основание с разгрузкой устьевой арматуры

Рис. 6. Общий вид гидропривода «Гейзер»

Отличительные особенности нового оборудования:

- низкие энергозатраты благодаря использованию рекуперативной системы с пневмогидроаккумулятором;
- возможность плавного регулирования рабочих параметров, в том числе скоростей опускания и подъема;
- малая масса и лёгкий монтаж в течение времени не более 3 ч;
- отсутствие фундамента (возможен монтаж на заболоченных и неустроенных участках);
- полная автоматизация процесса, включая дистанционное управление (в том числе с

помощью мобильного телефона) и видеоконтроль;

– возможность управления несколькими установками от одного «интеллектуального куста».

Основная техническая характеристика гидроприводов «Гейзер»:

- нагрузка на устьевой шток – до 200 кН;
- количество ходов штока – от 1 до 8 мин<sup>-1</sup>;
- длина хода штока – от 1 до 6 м (шаг 0,5 м).

Известен и гидропривод «Обь» производства ЗАО «Челябинский завод технологической оснастки», г. Челябинск (рисунок 7).



Рис. 7. Общий вид гидропривода ПШН-80×2,5 «Обь»

Сообщается, что с использованием приводов «Обь» специалисты «НК «Роснефть» разработали и в 2009 г. успешно апробировали на Комсомольском месторождении в ООО «РН-Пурнефтегаз» технологию геолого-технических мероприятий по реабилитации скважин из бездействующего фонда.

Основная техническая характеристика гидропривода «Обь»:

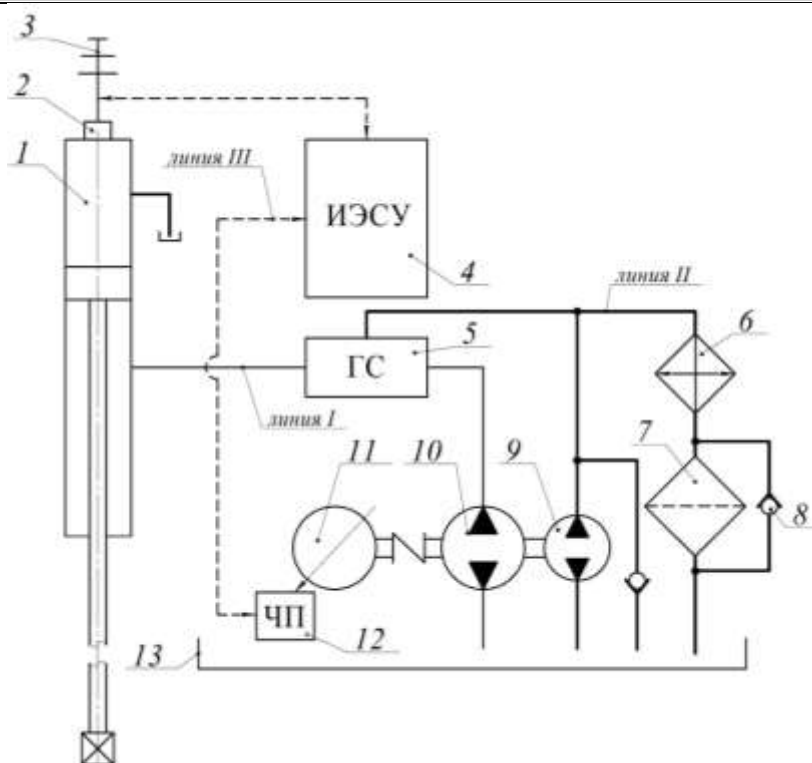
- нагрузка на устьевой шток – 80 кН;
- количество ходов штока – от 1 до 6 мин<sup>-1</sup>;
- длина хода штока – 2,5 м.

В связи с тем, что гидроприводы штанговых скважинных насосов не обеспечивают требуемой энергоэффективности, в их состав стали включать специализированные блоки рекуперации электроэнергии. Примером такого типа гидропривода с рекуперацией электроэнергии может быть гидропривод штангового скважинного насоса типа «Герон» ООО «Нефте-Гидроприводы Конькова», г. Екатеринбург.

Схема гидропривода «Герон» с рекуперацией электроэнергии показана на рисунке 8.

Комплект «Герон» с рекуперацией электроэнергии включает гидропривод, блок-бокс управления и контроля с частотным преобразователем, нерегулируемый гидромотор и прибор учета электроэнергии.

Перед началом работы поршень рабочего гидроцилиндра находится в нижнем положении. Поршневая полость цилиндра заполнена воздухом с парами рабочей жидкости.



- 1 – рабочий гидроцилиндр; 2 – линейная система обратной связи положения поршня гидроцилиндра; 3 – активный молниеотвод; 4 – интеллектуальная электронная система управления с частотным преобразователем (ИЭСУ); 5 – гидросистема (ГС); 6 – теплообменный аппарат; 7 – сливной фильтр; 8 – обратный клапан; 9 – подпитывающий насос; 10 – гидравлический реверсивный насос-мотор; 11 – реверсивный электродвигатель; 12 – частотный преобразователь (ЧП); 13 – ёмкость

Рис. 8. Гидропривод «Герон» с рекуперацией электроэнергии

Интеллектуальная электронная система управления после опроса всех датчиков состояния дает команду на включение, и рабочая жидкость под давлением от насоса через гидроаппаратуру гидравлической системы поступает в штоковую полость гидроцилиндра. Поршень поднимается и тянет за собой шток, связанный с колонной штанг через устьевую подвеску со скоростью, контролируемой системой управления.

Линейная система обратной связи отслеживает достижение поршнем крайнего верхнего положения и передает соответствующий сигнал в электронную систему управления, которая в свою очередь отдает команду на переключение положения гидроаппаратуры.

Рабочая жидкость из штоковой полости через гидроаппаратуру и работающий в режиме гидромотора насос сливается в гидробак. Так как валы мотора и электродвигателя жестко связаны муфтой, электродвигатель преобразует механическую энергию в электрическую. Когда напряжение превышает пороговое значение, транзисторы открываются в обратном направлении и ток протекает в сеть. Таким образом, происходит рекуперация энергии.

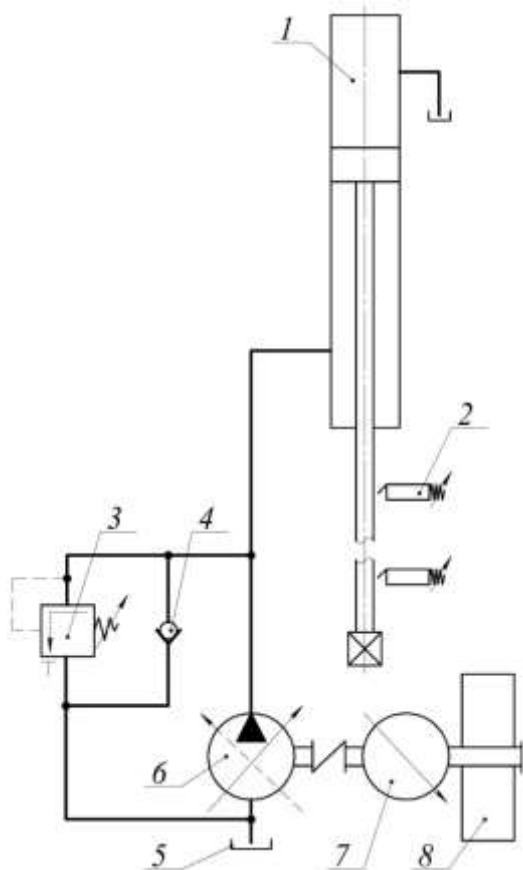
Запасенная энергия используется на следующем ходе штангового насоса, таким образом достигается эффект энергосбережения (до 35 %).

Основная техническая характеристика гидроприводов «Герон»:

- нагрузка на устьевой шток – до 200 кН;
- количество ходов штока – от 1 до 6 мин<sup>-1</sup>;
- длина хода штока – от 1 до 6 м (шаг 0,5 м).

Среди зарубежных аналогов можно выделить гидроприводы ШГН фирмы Weatherford (производство США), а также фирмы Bosch Rexroth AG (производство Германия).

Гидропривод R7 Bosch-Rexroth представлен на рисунке 9.



- 1 – рабочий гидроцилиндр; 2 – клапан ограничения тягового усилия;
- 3 – предохранительный клапан;
- 4 – обратный клапан; 5 – емкость;
- 6 – регулируемый насос;
- 7 – реверсивный электродвигатель;
- 8 – маховик

Рис. 9. Гидропривод R7 Bosch-Rexroth

Особенностью гидропривода является наличие системы защиты от перегрузок (встроенный клапан ограничения тягового усилия, позволяющий избежать поломок штока; при заедании штока движение плунжера не прекращается, а идет в обратном направлении).

Присущими недостатками всех типов гидросистем ШГН является необходимость в плановом ТО (раз в полгода следует заменять рабочую жидкость гидросистемы, проверять уплотнения гидроцилиндров).

Основная техническая характеристика гидроприводов «R7 Bosch-Rexroth»:

- нагрузка на устьевой шток – до 160 кН;
- количество ходов штока – от 4 до 8 мин<sup>-1</sup>;
- длина хода штока – от 2,5 до 5,0 м.

Таким образом, из представленного обзора можно заключить:

- гидравлический привод штанговых глубинных насосов является перспективной альтернативой широко применяемых станков-качалок, а также внедряемых механических цепных и реечных приводов в силу большей энергоэффективности, монтажеспособности, меньшей металлоемкости, более высокой степени безопасности при эксплуатации;
- наиболее эффективным и совершенным является динамическое (инерционное) уравнивание гидропривода штангового глубинного насоса, позволяющее добиться высоких показателей удельной энергоемкости;
- гидропривод штангового насоса позволяет, в отличие от других приводов, существенно сократить типоразмерный ряд установок, а также эксплуатировать их на морских территориях в условиях ограниченных размеров площадок;
- гидроприводные установки обеспечивают «мягкий» режим нагружения колонны штанг, исключая перегрузку, обусловленную кинематикой четырехзвенного преобразующего механизма СК, увеличение нагрузки при заклинивании плунжера скважинного насоса и иных аварийных ситуаций;
- дальнейшее преобразование гидропривода штангового насоса с целью повышения показателей эффективности видится в совершенствовании системы инерционного уравнивания (преимущественно применение маховиков).

#### **Библиографический список:**

1. Молчанов А. Г. Пути дальнейшего совершенствования штанговых скважинных насосных установок / А. Г. Молчанов // Бурение и нефть. 2014. № 2. – С. 3-8.
2. Объёмный гидропривод нефтепромыслового оборудования / А. А. Даниельянц, А. В. Круткин, В. В. Орлов и др. – М. : Недра, 1975. – 176 с.



УДК 577.15

### Перспективные направления инженерной энзимологии

Бабилова М. О.

Научный руководитель - Ивенина И. В.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

Ферменты, или энзимы — обычно белковые молекулы или их комплексы, ускоряющие (катализирующие) химические реакции в живых системах. Наука о ферментах называется энзимологией.

К 2013 году было описано более 5000 разных ферментов. Отличительной особенностью ферментов по сравнению с небелковыми катализаторами является их высокая специфичность - константа связывания некоторых субстратов с белком может достигать 10<sup>10</sup> моль/л и менее. Каждая молекула фермента способна выполнять от нескольких тысяч до нескольких миллионов «операций» в секунду. При этом эффективность ферментов значительно выше эффективности небелковых катализаторов — ферменты ускоряют реакцию в миллионы и миллиарды раз, небелковые катализаторы — в сотни и тысячи раз.

Ферменты обычно проявляют высокую специфичность по отношению к своим субстратам (субстратная специфичность). Это достигается частичной комплементарностью формы, распределения зарядов и гидрофобных областей на молекуле субстрата и в центре связывания субстрата на ферменте. Ферменты обычно демонстрируют также высокий уровень стереоспецифичности (образуют в качестве продукта только один из возможных стереоизомеров или используют в качестве субстрата только один стереоизомер), региоселективности (образуют или разрывают химическую связь только в одном из возможных положений субстрата) и хемоселективности (катализируют только одну химическую реакцию из нескольких возможных для данных условий).

Ферменты широко используются в народном хозяйстве — пищевой, текстильной, кожевенной промышленности, сельском хозяйстве, в тонком органическом синтезе, в фармакологии и медицине. Использование ферментов в различных технологических процессах развивается в рамках инженерной энзимологии.

Инженерная энзимология - это новое научно-техническое направление, задачей которого является конструирование органических катализаторов (энзимов) с заданными свойствами на основе ферментов и полиферментных систем, выделенных из клеток или находящихся в них. Инженерная энзимология основана на принципах органического и ферментативного катализа, химической технологии, биотехнологии и биохимии и имеет исключительно прикладную направленность.

Широкое использование ферментов в биотехнологии до последнего времени сдерживалось вследствие ряда причин, а именно:

- трудоемкости отделения ферментов от исходных реагентов и продуктов реакции;
- нестабильности ферментов при хранении и при действии различных факторов;
- высокой стоимости чистых ферментных препаратов.

Эти проблемы удалось решить, используя процесс иммобилизации ферментов. Иммобилизованные ферменты — соединения, которые искусственно связываются с нерастворимым носителем. При этом они сохраняют свои каталитические свойства. В настоящее время этот процесс рассматривается в двух аспектах — в рамках частичной и полной ограниченности свободы перемещения белковых молекул.

Ученые установили определенные преимущества иммобилизованных ферментов. Выступая в качестве гетерогенных катализаторов, они могут с легкостью отделяться от реакционной среды. В рамках исследований установлено, что применение иммобилизованных ферментов может быть многократным. В процессе связывания соединения изменяют свои свойства. Они приобретают субстратную специфичность, устойчивость. При этом их активность начинает зависеть от условий среды. Иммобилизованные ферменты отличаются долговечностью

и высокой степенью стабильности. Она больше, чем, например, у свободных энзимов в тысячи, десятки тысяч раз. Все это обеспечивает высокую эффективность, конкурентоспособность и экономичность технологий, в которых присутствуют иммобилизованные ферменты.

Носители (иммобилизаторы) должны обладать: нерастворимостью, высокой биологической и химической устойчивостью, способностью к быстрой активации, значительной гидрофильностью, необходимой проницаемостью. Носители должны легко переходить в реакционно-способный вид. В настоящее время не существует материала, который бы полностью соответствовал этим требованиям. Тем не менее на практике применяются носители, которые пригодны к иммобилизации определенной категории ферментов в конкретных условиях.

В зависимости от своей природы материалы, при связи с которыми соединения превращаются в иммобилизованные ферменты, разделяются на неорганические и органические. Связывание многих соединений осуществляется с полимерными носителями. Эти органические материалы разделяют на 2 класса: синтетические и природные. В каждом из них, в свою очередь, выделяют группы в зависимости от строения. Неорганические носители представлены преимущественно материалами из стекла, керамики, глины, силикагеля, графитовой сажи. Иммобилизованные ферменты получают путем покрытия носителей пленкой оксидов титана, алюминия, циркония, гафния или обработки органическими полимерами. Важным достоинством материалов является легкость регенерации.

Наибольшей популярностью пользуются липидные, полисахаридные и белковые материалы. Среди последних стоит выделить коллаген, фибрин, кератин, а также желатин. Такие белки достаточно широко распространены в природной среде. Они доступны и экономичны. Кроме этого, они обладают большим количеством функциональных групп для связывания. Белки отличаются способностью к биодegradации. Это позволяет расширить применение иммобилизованных ферментов в медицине.

Из полисахаридов чаще всего применяются хитин, декстран, целлюлоза, агароза и их производные. Чтобы полисахариды были более устойчивы к реакциям, их линейные цепи сшивают поперечно эпихлоргидрином. В сетчатые структуры достаточно свободно вводятся разные ионогенные группировки. Хитин в больших количествах скапливается в виде отходов при промышленной переработке креветок и крабов. Это вещество отличается химической стойкостью и обладает хорошо выраженной пористой структурой.

Синтетические полимеры-иммобилизаторы изготавливают на основе акриловой кислоты, стирола, поливинилового спирта, полиуретановые и полиамидные полимеры. Большинство из них отличаются механической прочностью. В процессе преобразования они обеспечивают возможность варьирования размера пор в достаточно широких пределах, введения разнообразных функциональных групп.

В настоящее время существует два принципиально отличных друг от друга варианта иммобилизации. Первым является получение соединений без ковалентных связей с носителем. Этот способ является физическим. Другой вариант предполагает возникновение ковалентной связи с материалом - химический метод.

Адсорбция стала первым способом ограничения подвижности элементов. С помощью нее иммобилизованные ферменты получают путем удерживания препарата на поверхности носителя благодаря дисперсионным, гидрофобным, электростатическим взаимодействиям и водородным связям. В настоящее время этот вариант не потерял своей актуальности и считается наиболее распространенным способом иммобилизации в промышленности. Описано более 70 ферментов, иммобилизованных адсорбционным методом. В качестве носителей выступали, преимущественно, пористое стекло, разнообразные глины, полисахариды, оксиды алюминия, синтетические полимеры, титан и прочие металлы.

Механизм адсорбции ферментов на нерастворимых материалах отличается простотой. Она достигается при контакте водного раствора препарата с носителем. Он может проходить статическим или динамическим способом. Раствор фермента перемешивается со свежим осадком, к примеру, гидроксида титана. Затем в мягких условиях соединение высушивается.

Активность фермента при такой иммобилизации сохраняется почти на все 100%. При этом удельная концентрация достигает 64 мг на грамм носителя.

К недостаткам адсорбции относят невысокую прочность при связывании фермента и носителя. В процессе изменений условий реакции могут отмечаться потеря элементов, загрязнение продуктов, десорбция белка. Для повышения прочности связывания носители предварительно модифицируют. В частности, материалы обрабатывают ионами металлов, полимерами, гидрофобными соединениями и прочими полифункциональными агентами. В ряде случаев модификации подвергают сам препарат. Но достаточно часто это приводит к уменьшению его активности.

Включение в гель достаточно распространено благодаря своей простоте. Этот способ подходит не только для индивидуальных элементов, но и для мультиэнзимных комплексов. Включение в гель может выполняться двумя методами. В первом случае препарат соединяют с водным раствором мономера, после чего выполняют полимеризацию. В результате возникает пространственная структура геля, содержащая в ячейках молекулы фермента. Во втором случае препарат вносится в раствор готового полимера. Затем его переводят в состояние геля.

Перспективный интерес представляют микрокапсулирование и включение белков в липосомы. Первый вариант заключается в том, что ферментный раствор внедряется в замкнутую капсулу, стенки которой выполнены из полупроницаемого полимера. Возникновение мембраны на поверхности обуславливается реакцией межфазной поликонденсации соединений. Одно из них растворено в органической, а другое – в водной фазе. Толщина мембраны исчисляется в сотых долях микрометра. При этом величина капсул – сотни или десятки микрометров.

Метод включения в липосомы близок к микрокапсулированию. Липосомы представлены в ламеллярных или сферических системах липидных бислоев. Для выделения липосом из липидного раствора проводят выпаривание органического растворителя. Оставшаяся тонкая пленка диспергируется в водном растворе, в котором присутствует фермент.

Иммобилизация путем формирования новых ковалентных цепей между ферментами и носителями считается наиболее массовым методом получения биокатализаторов промышленного назначения. В отличие от физических способов этот вариант обеспечивает необратимую и прочную связь молекулы и материала. Молекулу отделяют от материала при помощи вставки. В качестве нее часто выступают поли- и бифункциональные агенты. Ими, в частности, являются гидразин, бромциан, глутаровыйдиальдегид, сульфурилхлорид и пр.

В ближайшем будущем значительный рост использования ферментных препаратов связан с возможностью ферментативного гидролиза лигноцеллюлозных субстратов [1]. В этом направлении ведется большая работа: селективно отобрано свыше 200 культур микроскопических грибов, характеризующихся суперсинтезом внеклеточных целлюлаз; получено более 20 бактериальных культур-трансформантов, осуществляющих синтез отдельных компонентов целлюлаз (в основном эндоглюканазы); налажены технологии, позволяющие производить около 50 разных коммерческих препаратов целлюлаз, отличающихся составными целлюлазными активностями, разработаны различные технологии предобработки лигноцеллюлозных материалов, увеличивающие выход глюкозы в результате ферментативного гидролиза и др.

#### ***Библиографический список:***

1. Кузнецов Б. Н. Новые методы получения химических продуктов из биомассы деревьев сибирских пород / Б. Н. Кузнецов, С. А. Кузнецова, В. Е. Тарабанько // Российский химический журнал. Том XLXIII— 2004.—№3.— С. 4-20.

## **Химические методы анализа нефти в процессе нефтедобычи**

Блок В.Е.

Научный руководитель – Власов А.С.

*Ухтинский государственный технический университет*

На данный момент нефть и продукты ее переработки являются источником основных видов жидкого топлива: бензина, керосина, реактивного, дизельного и котельного. Из нефти вырабатывают смазочные и специальные масла, нефтяной пек, кокс, различного назначения битумы, пластичные смазки, нефтехимическое сырье. Из нефтехимического сырья, в свою очередь, производят ряд важнейших продуктов для различных областей промышленности, сельского хозяйства, медицины и быта: пластические массы; синтетические волокна, каучуки и смолы; текстильно-вспомогательные вещества; моющие средства; растворители; белково-витаминные концентраты; различные присадки к топливам, маслам и полимерам; технический углерод.

Знание химического состава нефти необходимо для выбора наиболее оптимальных направлений процессов нефтепереработки, расчета мощности нефтеперерабатывающих установок, а так же для решения проблем, связанных с геологией нефти и нефтедобычей.

Целью данного проекта является рассмотрение современных методов анализа нефти и нефтепродуктов, а так же способы их разделения на составляющие.

Качественный анализ нефтепродуктов представляет собой важную, но достаточно сложную задачу. Для ее решения используются стандартизированные методы анализа. Помимо существуют также официальные методы анализа нефти (по ГОСТ), но они являются трудоемкими и времязатратными. Альтернативными стандартным методам являются физико-химические методы анализа, основанные на разделении и последующем определении состава и строения как индивидуальных соединений нефтяного происхождения, нефтяных фракций и нефтепродуктов, получаемых при переработке сырой нефти.

На современном этапе развития физико-химических методов анализа различают несколько видов анализа нефти и ее фракций: элементный, индивидуальный, групповой и структурно-групповой.

### ***Определение элементного состава нефти***

Для правильного выбора метода переработки нефти, составления материальных балансов некоторых процессов необходимо знать элементный состав нефти.

Наличие в нефти серо- и кислородсодержащих соединений требует сооружения специальных установок очистки. Для этого необходимы сведения о содержании в нефти серы и кислорода. Серосодержащие соединения наиболее вредны как при переработке нефти, так и при использовании нефтепродуктов, поэтому содержание серы входит как показатель (в ГОСТ) на нефть. Основную часть нефти и нефтепродуктов составляют углерод (83-87%) и водород (12-14%). Их содержание полезно знать для расчетов процессов, таких как: горение, газификация, гидрогенизация, коксование и др.

*Безостаточное сжигание органической массы нефтепродукта в токе кислорода до диоксида углерода и воды.*

Этот вид элементного анализа предназначен для выявления количества содержания углерода и водорода.

Определение серы можно проводить различными методами. Для легких нефтепродуктов применяют ламповый метод или сжигание в кварцевой трубке. Для средних и тяжелых нефтепродуктов подходит метод смыва конденсата при сжигании образца в калориметрической бомбе.

### *Ламповый метод.*

Он заключается в сжигании нефтепродукта не коптящим пламенем в специальной лампе и улавливании образовавшегося диоксида серы в абсорберах с раствором соды. Последующим титрованием избытка соды определяют ее количество, пошедшее на связывание диоксида серы,

и вычисляют количество серы.

*Метод сжигания в трубке.*

Принципиально ничем не отличается от лампового метода, только образовавшийся в процессе горения диоксид серы окисляют пероксидом водорода до триоксида серы; дальнейшее определение ведут как в предыдущем методе.

*Метод смыва бомбы.*

Заключается в сжигании нефтепродукта в калориметрической бомбе, в которую предварительно залито 10 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. После сжигания воду из бомбы и смывы ее со стенок переносят в колбу, подкисляют, кипятят для удаления СО<sub>2</sub>, затем добавляют хлорид бария. Выпавший осадок сульфата бария выделяют, сушат и по его массе вычисляют содержание серы.

*Метод Дюма или Кьельдаля.*

*Метод Дюма* основан на окислении нефтепродукта твердым окислителем - оксид меди(II) - в токе диоксида углерода. Образовавшиеся в процессе окисления оксиды азота восстанавливают медью до азота, который улавливают после поглощения СО<sub>2</sub>, и по его объему определяют количество азота в нефтепродукте.

*Метод Кьельдаля* основан на окислении нефтепродукта концентрированной серной кислотой. Из образующегося сульфата аммония азот выделяют при обработке щелочью в виде аммиака, который улавливают титрованным раствором кислоты.

*Разности между 100 и суммарным содержанием всех остальных элементов в процентах.* Этот метод позволяет определить процентное содержание кислорода. Это неточный метод, так как на его результатах сказываются погрешности определения всех остальных элементов.

Имеются прямые методы определения кислорода, например *гравиметрический метод пиролиза нефтепродуктов в токе инертного газа в присутствии платинированного графита и оксида меди*. О содержании кислорода судят по массе выделившегося СО<sub>2</sub>.

#### **Определение группового состава нефти**

Даже узкие фракции нефти представляют собой сложные смеси углеводородов и гетероатомных соединений.

*Метод фракционирования.*

Одним из методов изучения состава нефти, а также ее товарно-потребительских свойств является разделение сложной смеси нефти на более простые ее составляющие, так называемые фракции. Методы разделения базируются на различии в физических и химических свойствах разделяемых компонентов. В частности, все углеводороды, входящие в состав нефти, имеют свои индивидуальные температуры кипения и испарения при нагреве. На этом и основаны наиболее распространенные методы изучения состава нефти, которые и положены в основу ее заводской переработки. В процессе перегонки при постепенно повышающейся температуре компоненты нефти отгоняются в порядке возрастания их температур кипения. Этот процесс получил название фракционирования. Для всех индивидуальных веществ температура кипения при данном давлении является физической константой.

*Ультрафиолетовая спектроскопия.*

Ультрафиолетовую спектроскопию широко используют при анализе нефтей. Поглощение энергии в ультрафиолетовой области обусловлено изменениями энергетического состояния внешних электронов. Для идентификации компонентов нефтяных фракций используют спектры поглощения в средней ультрафиолетовой области ( $\lambda = 190-400$  нм). Системы сопряжения двойных связей вызывают смещение полос поглощения в длинноволновую область спектра с увеличением их интенсивности. Таким образом, УФ-спектроскопию можно использовать для анализа полиненасыщенных и ароматических структур, остальные углеводороды не дают характерные полосы поглощения в средней ультрафиолетовой области.

*Ядерный магнитный резонанс (ЯМР).*

Метод ядерного магнитного резонанса широко применяется для исследования структуры органических соединений наряду с методами оптической спектроскопии. Поглощение энергии радиочастотного излучения, которое используется в этом методе, связано с магнитными свойствами ядер. Метод протонного магнитного резонанса, как разновидности ЯМР дает

информацию о распределении водорода, связанного с ароматическими циклами, гетероатомами, а также входящего в состав радикальных заместителей. Широкое применение метод ядерного магнитного резонанса нашел в исследованиях высококипящих нефтяных фракций. Недостаток метода состоит в том, что особенности строения углеродных скелетов приходится рассчитывать по распределению водорода, данная процедура дает результат с относительно высокой погрешностью. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), один из современных видов ЯМР, основан на парамагнетическом свойстве систем, на электронных оболочках которых имеются неспаренные электроны. Изучения показали, что парамагнетизмом обладают и нефти, благодаря входящим в них смолисто-асфальтеновым компонентам. ЭПР-спектры нефтей позволяют провести косвенный анализ степени их обогащенности смолисто-асфальтеновыми компонентами. Ширина сигнала отражает степень уплотнения структуры асфальтенов: чем она выше, тем меньше ширина сигнала. Таким образом, ЯМР может применяться, для косвенных характеристик средних и тяжелых фракций нефти, в частности суммы смолисто-асфальтеновых компонентов.

#### *Газожидкостная хроматография.*

Из всех видов хроматографии в нефтехимии и нефтепереработке наибольшее применение нашла газожидкостная хроматография, благодаря ряду преимуществ по сравнению с другими физико-химическими методами, такими как: высокая разделяющая способность, время разделения фракции нефти состоящей из десятков и сотен компонентов составляет с средним 0,5 – 1 час; высокая чувствительность – метод позволяет определять микропримеси с концентрацией до 10-10%; так как чувствительность детектирования в газах на порядок выше чем в других растворителях; быстрота анализа – скорость диффузии в газах намного превышает, диффузию в жидкостях, поэтому в колонке быстро устанавливается равновесие и достигается высокая удельная эффективность; малый размер пробы (десятые доли миллиграмма); достаточно высокая точность анализа – средняя относительная погрешность измерения концентраций 5%; сравнительная простота аппаратного оформления.

Кроме фракций полученных в ходе фракционирования, газовую хроматографию применяют для идентификации сложных смесей, нестабильных веществ, практически нелетучих высокомолекулярных соединений, благодаря сочетанию хроматографического и химического анализа, объединенного в единую хроматографическую схему, данный метод получил название *аналитическая реакционная газовая хроматография*. Сущность метода состоит в том, чтобы в результате химических реакций, таких как гидрирования, дегидрирования, этерификации, пиролиза, получить новую смесь, компоненты которой разделяются или идентифицируются лучше, чем компоненты исходной смеси. Данный метод позволяет устанавливать наличие во фракциях непредельных углеводородов, селективно поглощая их в реакторе с силикагелем, обработанным серной кислотой. Таким образом, данный метод может быть применен для определения летучих фракций нефти, а так же нелетучих, которые могут вступать в реакции с последующим их обнаружением в смеси.

#### *Хромато-масс-спектрометрия.*

На сегодняшний день благодаря появлению масс-спектрометров высокого разрешения, обеспечивающих разделение углеводородных и гетероатомных ионов с близкими массами, данный метод получил более широкое применение для анализа средних и тяжелых нефтяных фракций, ранее используемый только для легколетучих фракций. Метод основан на комбинации двух современных методов газовой хроматографии и масс-спектрометрии. С помощью первого осуществляют разделение смеси на компоненты, с помощью второго - идентификацию и определение строения вещества, количественный анализ. Современный этап развития масс-спектрометрии характеризуется разнообразием способов ионизации вещества, быстродействием и полной автоматизацией эксперимента и программной обработкой результатов.

В заключение хотелось бы сказать, что различные типы нефти имеют очень разнообразный элементный и компонентный состав, для определения её состава необходимо использовать комплекс химических и физико-химических методов для полного отображения состава и принятия дальнейших решений по её переработке, так использование какого то одного

метода не дает полной информации, что и согласуется с рассмотренными нами литературными данными.

**Библиографический список:**

1. Методы анализа нефти и нефтепродуктов. Режим доступа: [https://otherreferats.allbest.ru/geology/00134892\\_0.html](https://otherreferats.allbest.ru/geology/00134892_0.html)
2. Основы физико-химического анализа продуктов нефтепереработки и нефтехимического синтеза: Учебно-методический комплекс. Режим доступа: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/050/74050/53330>
3. Исследование состава нефти и нефтепродуктов. Режим доступа: <https://www.neftemagnat.ru/enc/292>

УДК 537.62:549.731.13

**Оптимизация методики получения ферромагнитных наночастиц**

Гарш Д. И.

Научный руководитель - Ивенина И. В., Смирнов Ю. Г.

*Ухта, Ухтинский государственный технический университет*

Магнитные наночастицы уже сейчас находят широкое применение в различных областях человеческой деятельности. И прикладные направления их исследования продолжают развиваться. Показан значительный потенциал применения магнитных наночастиц в биомедицине, магнитно-резонансной томографии, системах хранения данных, технологиях восстановления окружающей среды, магнитоуправляемых жидкостях, различных детекторах и системах иммуноанализа [1]. Их используют, в частности и как средства пробоподготовки (очистка или концентрирование), и как маркеры.

Ферромагнитные наночастицы представляют собой частицы магнетита с формулой  $Fe_3O_4$  и размерами от 5 до 100 нм, которые обладают магнитными свойствами. В серии публикаций была показана возможность использования их для очистки сточных вод от нефтяного загрязнения [2]. В технологической схеме подготовки воды предполагается использование блока регенерации магнитных наночастиц для повторного использования их в цикле очистки.

В качестве основной химической реакции для получения наночастиц предлагается использовать метод Рене Массарта [3], основанный на реакции гидролиза смеси солей железа (II, III) раствором аммиака:



Форма, размеры и состав образующихся частиц зависит от типа соли (хлориды, сульфаты, нитраты), соотношения  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ , температуры проведения реакции, pH, а также от типа основания и скорости перемешивания [1]. При оптимальном сочетании названных факторов получают наноразмерные частицы магнетита  $Fe_3O_4$ .

Главной задачей регенерации ферромагнитных наночастиц является их очистка от «налипшей» нефти и нефтепродуктов и при этом обязательным является сохранение степени дисперсности, то есть их нано-размеров. Последний аспект обусловлен тем, что полнота извлечения эмульгированных нефтепродуктов из воды неразрывно связана с размерами частиц магнетита.

Для восстановления наночастиц магнетита было рассмотрено два потенциально возможных метода: промывка растворителем и химическая регенерация через стадию обжига. При выборе методики вариант с использованием растворителя был отвергнут по нескольким причинам. Во-первых, использование любого органического растворителя не гарантирует 100%-ной очистки магнетита. Во-вторых, встаёт вопрос о дальнейшем отделении магнетита от растворителя. В-третьих, пострадает экологическая составляющая данного метода очистки воды, поскольку появится дополнительный источник загрязнения: растворитель с нефтепродуктами необходимо как-то утилизировать. И, наконец, следует учитывать неизбежную агрегацию наночастиц в процессе многочисленных операций (учитывая, что предлагаемый метод очистки

должен быть реализован в рамках замкнутого технологического цикла), что неизбежно приведет к снижению эффективности метода в целом, поскольку полнота извлечения эмульгированных нефтепродуктов неразрывно связана с размерами частиц магнетита.

В связи с выше сказанным более перспективным является регенерация ферромагнитных наночастиц химическим методом. Принципиальная схема регенерации показана на рис. 1 и включает следующие стадии после извлечения из водной фазы.

- 1) Механическая очистка магнитного сепаратора от «нефте-магнетитной» массы, которую далее подвергают термической обработке для удаления влаги и нефтепродуктов в блоке ВМЧ.
- 2) Термическое удаление нефтепродуктов при температуре до 700°C. В процессе термической обработки магнетит окисляется и полностью переходит в оксид железа (III).
- 3) Растворение оксида железа (III) в соляной кислоте с образованием хлорида железа (III).
- 4) Добавление хлорида двухвалентного железа.
- 5) Осаждение магнетита раствором аммиака.
- 6)

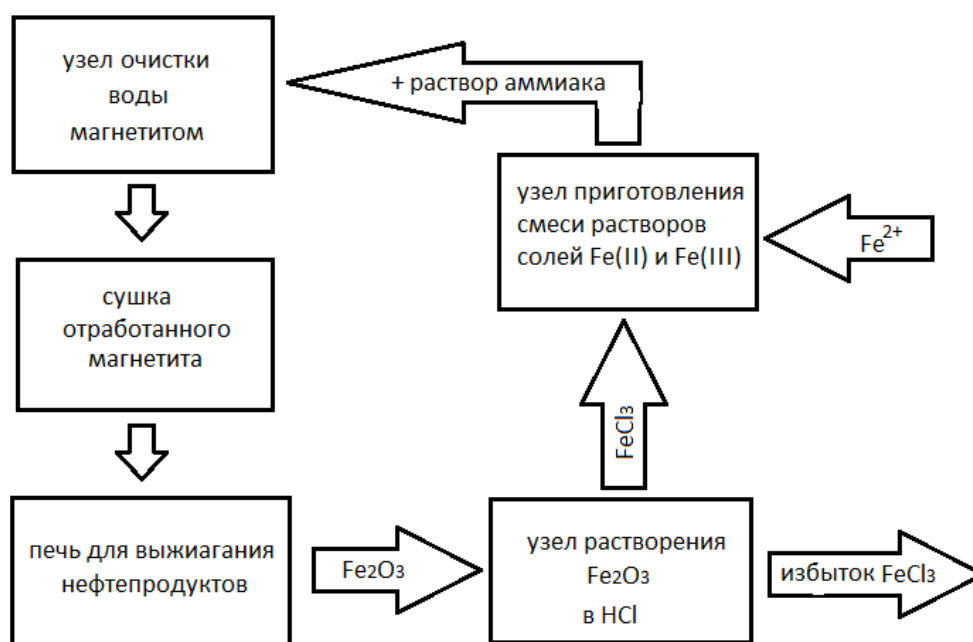
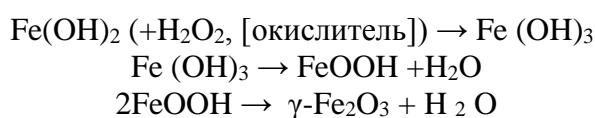


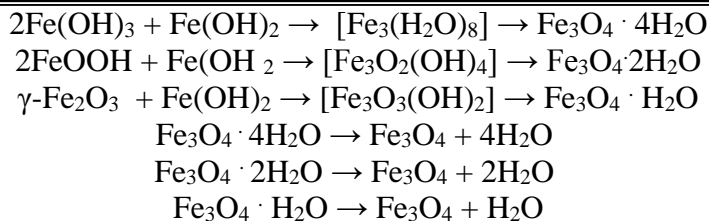
Рисунок 1. Технологическая схема цикла регенерации наночастиц магнетита.

К преимуществам предлагаемой технологической схемы следует отнести также следующий момент. Всякий раз для извлечения эмульгированной нефти будут использованы **свежеприготовленные** наночастицы, то есть метод не предполагает хранения магнетита, следовательно, не возникает вопрос о его стабилизации в жидкой фазе.

Спорным остается вопрос, можно ли в рамках данной технологической схемы получать наночастицы магнетита другими методами. Не смотря на простоту методики, использование раствора аммиака для гидролиза солей железа экологически небезопасен и требует особых мер безопасности для работников, осуществляющих процедуру осаждения. Существуют различные технологии получения ферромагнитных наночастиц. Кроме метода Массарта, предложено также получение магнетита окислением свежесажденного гидроксида железа (II) при помощи перекиси водорода. Возможный механизм реакций, приводящий к образованию магнетита, протекает по уравнениям [4]:







Для осаждения магнетита также могут быть использованы и другие растворы со щелочной средой, например: карбонаты и гидрокарбонаты натрия или калия, щелочи. Однако это повлияет на ход реакции и условия осаждения, поскольку процесс обмена в растворе, как показано выше, является многостадийным и предполагает образование промежуточных стадий оксидов и гидроксидов железа, а также их гидратов. В работе [1] показана серия исследований, которые позволили определить оптимальные условия и концентрации, необходимые для обеспечения стабильного состояния полученной магнетитной суспензии и обеспечения магнитной восприимчивости полученного продукта. Однако, предложенная в работе методика исследует возможности метода Массарта и предполагает осаждение магнетита из нейтральных растворов солей. В технологической линии регенерации магнетита предполагается использовать соляную кислоту для растворения прокаленного оксида железа (III), поэтому полученный раствор имеет кислую среду. В данных условиях техника осаждения (концентрации, температура) может измениться. Поэтому целью предлагаемой работы было установление режима осаждения наночастиц магнетита из кислых растворов солей железа.

Второй составляющей данной работы было установление возможности использования пластовой воды нефтяных месторождений для приготовления рабочей жидкости с магнетитом для очистки от нефтяного загрязнения. Пластовые воды нефтяных месторождений отличаются высокой насыщенностью химическими элементами разного состава, среди которых преобладают катионы Na, K, Mg, Ca, Fe, Al, Si, O, Cl, S, N, H, Br, I. Эти элементы находятся в воде в виде растворенных в ней солей: хлоридов (NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>), сульфатов (CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), карбонатов и гидрокарбонатов (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, KHCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>), сульфидов (FeS, CaS). Пластовая вода нефтяных месторождений отличается высокой минерализацией, преимущественно хлоридно-натриевым, хлоридно-кальциевым или гидрокарбонатно-натриевым составом, высоким содержанием I<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sub>2</sub>S, наличием солей нафтеновых кислот и растворенных углеводородных газов. В пластовых водах нефтяных и газовых месторождений минерализация изменяется в достаточно широких пределах: от 1 г/л (пресные воды) до 400 г/л и более (крепкие рассолы). Состав зависит от месторождения, минерального состава горных пород, химического состава технологических жидкостей (буровых, буферных растворов и растворов для заводнения пласта), и глубины извлечения пластовой воды. Могут ли повлиять различные компоненты в составе технической воды на структурообразование при осаждении магнетита? Как отразится присутствие минеральных солей в составе рабочей жидкости на парамагнитных свойствах полученного продукта? Данные исследования еще не проводились, поскольку технологии тонкой очистки воды от нефтяного загрязнения при помощи наночастиц магнетита как таковой пока не существует.

Все это может в значительной мере отразиться на схеме регенерации рабочей жидкости в цикле очистки сточных вод нефтяных месторождений от нефтяного загрязнения. Между тем, использование пластовой воды без предварительной деминерализации для получения магнетита решило бы экологическую проблему наработки воды и увеличения объемов сточных вод, очищенных от нефтепродуктов, но содержащих большое количество минеральных солей и потому не пригодных для сброса на ландшафт.

#### **Библиографический список:**

1. Петракова А. В. Синтез магнитных наночастиц оксида железа для применения в иммуноанализе [текст] / А. В. Петракова, А. Е. Урусов, С. Н. Костенко, С. М. Придворова, М. А. Васильев, А. В. Жердев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - №5. Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10559> (дата обращения: 02.02.2019).

2. Лютоев А. А. Извлечение эмульгированных примесей нефти из воды при помощи высокодисперсных частиц магнетита [текст] / А. А. Лютоев, Ю. Г. Смирнов, И. В. Ивенина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2014. - №4. – С. 40-45.
3. Massart R. Preparation of aqueous magnetic liquids in alkaline and acidic media // IEEE Trans. Magn., 1981, Mag-17, 2. P. 1247–1248.
4. Грабовский Ю. П. Разработка физико-химических основ синтеза магнитных жидкостей с заданными свойствами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук [текст] / Ю. П. Грабовский, Ставрополь, 1998, 44 с.

УДК 665.753.4

### **Разработка соединений, улучшающих качество дизельного топлива**

Еремеева А.М.

Научные руководители – Кондрашева Н.К., Коршунов Г.И.

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

Одним из актуальных направлений развития химических технологий и переработки энергоносителей является одновременное повышение эффективности и экологической безопасности производства. Для достижения данной цели необходима реконструкция установок по получению углеводородных продуктов на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, что является дорогостоящим и долгосрочным мероприятием.

В связи с дефицитом запасов нефти, а также низким уровнем переработки (85%) в Европейских странах [1], возникает необходимость в создании технологии и производстве альтернативных видов топлива. Одним из наиболее востребованных является биодизельное топливо, так как на долю всех автомобилей более половины приходится на транспорт с дизельными двигателями.

В России же использование автомобилей на дизельном двигателе значительно меньше, чем в Европе, но данный вид транспорта набирает популярность в связи с достоинствами топлива, такими как улучшенные экологические свойства (снижение выбросов углеводородов, дисперсных частиц, летучих органических соединений в атмосферу при сжигании дизельного топлива в двигателе автомобиля), улучшенная смазывающая способность, повышенное цетановое число, использование возобновляемого сырья (непищевого).

Введение присадок и добавок является альтернативным способом улучшения характеристик моторного топлива. Одними из основных характеристик товарного дизельного топлива является смазывающая способность, выраженная скорректированным диаметром пятна износа при 60°C, окислительная стабильность и низкотемпературные свойства.

В настоящее время, современный пакет присадок, применяемый к гидроочищенным дизельным топливам, состоит из ряда присадок, создающих синергетический эффект. В такой пакет входят присадок цетаноповышающие, противоизносные, депрессорно-диспергирующие, антистатические, антиокислительные, моющие, промоторы воспламенения и др. Одними из основных являются противоизносные присадки, позволяющие предотвратить или уменьшить износ деталей двигателя автомобиля. Но вместе с улучшением смазывающей способности одновременно происходит окислительная деградация и образование отложений в топливе. В связи с этим целесообразно использовать синергетическую топливную композицию, состоящую из противоизносной и антиокислительной присадок.

Присадки используют в двух основных случаях: при изготовлении топлив — для получения продукта, удовлетворяющего требованиям стандартов и при использовании стандартных топлив — для улучшения их эксплуатационных, экологических и эргономических характеристик. Также в России ряд научно-исследовательских институтов разрабатывают различные рецептуры присадок для внедрения и производства для нефтеперерабатывающих заводов. Центральный НИИ – ВНИИ НП (Всероссийский Научно-Исследовательский Институт по Переработки Нефти), также занимается стандартизацией и каталогизацией потребляемых

присадок в России [2].

Степени износа деталей двигателя отражает такой показатель, как смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа топлива. Интенсивность изнашивания зависит от наличия, свойств и размеров смазочной пленки, образующейся на поверхности металла толщиной, не превышающей 1 мкм. Пленка может состоять из различных гетероатомных соединений топлива. Гидроочищенные дизельные топлива содержат, в основном, вещества, не обладающие достаточно хорошей адсорбционной и хемосорбционной активностью для образования пленки, так как из него специально удаляются в процессе гидроочистки данные вещества [3].

По литературным данным можно выявить закономерность: если в дизельном топливе содержание серы менее 0,05% масс., тогда необходимо улучшение противоизносных свойств, а именно введение противоизносных присадок в топливо. Эти присадки добавляются в дизельное топливо и предназначены для предотвращения износа топливной аппаратуры. Установлено, что наилучшими смазочными свойствами обладают кислородсодержащие соединения. Так как биодизельное топливо на 70-90% состоит из сложных эфиров, оно может являться качественной добавкой к экологически чистому дизельному топливу, улучшающей смазывающие свойства последнего.

При использовании в качестве кислородсодержащих соединений смеси сложных эфиров достигается максимальная эффективность. Существует несколько способов получения данных соединений. Одним из методов их получения является синтез на основе растительных компонентов и спиртов. Однако введение кислородсодержащих соединений ухудшает окислительную стабильность топлив, что впоследствии приводит к необходимости использования антиокислительных присадок и, как правило, удорожанию самого топлива [4].

В данной работе были получены 6 типов биодобавки также 3 тип присадок, позволяющих улучшить различные эксплуатационные характеристики. Затем были составлены образцы дизельного топлива с улучшенными экологическими свойствами и впоследствии изучены их низкотемпературные и эксплуатационные характеристики.

Анализ полученных свойств образцов показал, что вовлечение биодобавок в качестве добавки к гидроочищенному малосернистому дизельному топливу целесообразно в количестве, не превышающем 10% масс., а именно 1, 3, 5 и 10%. По изученным физико-химическим характеристикам ЭЧДТ, были выбраны для дальнейших испытаний образцы биодобавок, полученные по реакции переэтерификации.

При введении синтезированной биодобавки диаметр пятна износа дизельного топлива снижается до с 450 до 113 мкм (практически в 4 раза), сохраняя экологические свойства топлива на прежнем уровне (содержание общей серы не превышает 10 ppm), но при этом окислительная стабильность ухудшается до 3328 г/м<sup>3</sup>, превышая норму более чем в 130 раз. Вводя в прежний состав антиокислительную присадку, в основе которой лежит смесь азот- и кислородсодержащих соединений, в количестве 0,05 % масс. показатель окислительной стабильности топлива улучшается более чем в 10 раз (но не приходит в норму), при этом смазывающая способность по сравнению с исходным гидроочищенным топливом снижается в 2 раза. При введении антиокислительной присадки в количестве 0,05 % масс. в экологически чистое дизельное топливо, содержащее 1 % масс. биодобавки показатель окислительной стабильности находится в пределах требований ГОСТа (< 25 г/ м<sup>3</sup>), а смазывающая способность снижается до 170 мкм.

Таблица 1. Характеристики трех лучших образцов топлива

Свойство топлива	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Смазывающая способность: СДПИ, мкм	195	133	113

Одним из значительных факторов при разработке составов топлива является обязательное уменьшение вредных выбросов при его использовании. При введении биодобавок в дизельное топливо, главным образом, уменьшаются выбросы вредных веществ после использования

экологически чистого топлива в двигателе. Содержание углеводородов в отработанных газах снижается до 55 %, летучих органических соединений – до 59 %, оксидов углерода – до 45 %, количество дисперсных частиц снижается до 63 % [5].

Образцы ЭЧДТ не удовлетворяет ГОСТ 305-82, что послужило началом для дальнейших исследований по улучшению его низкотемпературных свойств.

Наиболее эффективным и экономически целесообразным способом улучшения низкотемпературных свойств топлив, является использование депрессорных присадок, при введении которых в малых дозах, чаще всего 0,05-0,10 масс. %, достигается существенная температурная депрессия и улучшение текучести при низких температурах [6,7]. Но экологически чистые дизельные топлива имеют отличный состав от нефтяных дизельных топлив, поэтому действие на них депрессорных и депрессорно-диспергирующих присадок может быть ограничено или вовсе отсутствовать.

Наличие биодобавки в смесевом топливе повлияло на температуру застывания топлива, но незначительно. Значения температур застывания смесевое топлива, удовлетворяющих ГОСТ 305-82, достигаются при тех же концентрациях присадок, что и для гидроочищенного дизельного топлива.

Таким образом, наличие биодобавки в смеси с нефтяным гидроочищенным дизельным топливом в количестве не более 5% оказывает незначительное влияние на температуру застывания смеси, что позволяет вводить депрессорно-диспергирующие присадки в оптимальной концентрации 0,02 – 0,22% в смесевое экологически чистое дизельное топливо и улучшать его низкотемпературные свойства до требуемых норм.

Себестоимость экологически чистого дизельного топлива возросла на 12 %, но вместе с тем улучшились пусковые и эксплуатационные характеристики, что позволяет сократить затраты на поломки транспорта и продлить срок эксплуатации двигателя.

Как показали результаты исследований, после установки на двигатель нейтрализатора выбросы вредных компонентов ОГ в среднем удалось снизить сажевые частицы – на 70...80 %, NOx – на 50...60%, CO – 50...55%. на 80%, поэтому сумма экологического ущерба была уменьшена и составила: ЭСФ= 50500 тг. на один автомобиль в год [8].

#### **Библиографический список:**

1. Глубина переработки нефти в России, Европе и США [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neftegaz.ru/analysis/view/8485-Glubina-pererabotki-nefti-v-Rossii-Evrope-i-SShA> (дата обращения 20.10.2018)
2. Кондрашева, Н.К. Получение и исследование биодизельного топлива на основе кукурузного масла и бутилового спирта / Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева // Академический журнал Западной Сибири. – 2014. – Т.10, № 2 (51). – С. 24.
3. Данилов А.М. Роль присадок в производстве современных топлив [электронный ресурс] // Neftegaz.RU : печатный деловой журнал. – Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/activity/statist> (дата обращения 13.02.2019)
4. Дворецкий, С.И. Производство биодизельного топлива из органического сырья / С.И. Дворецкий, А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, И.А. Рязанцева // Специальный выпуск (39) - Москва: Изд. Университет им. В.И. Вернадского, 2012.
5. Режим доступа: [http://a4group.net/kupit\\_gotovyi\\_chertezh-chertezhi-teplotehnika\\_ventilyaciya\\_vodosnabzhenie/pereeterifikaciya\\_gidrooblagorazhivanie.html](http://a4group.net/kupit_gotovyi_chertezh-chertezhi-teplotehnika_ventilyaciya_vodosnabzhenie/pereeterifikaciya_gidrooblagorazhivanie.html) (дата обращения 20.10.2018).
6. Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А., Валиев Д.З. Получение зимних сортов дизельного топлива с применением депрессорно-диспергирующих присадок на основе нефтехимического сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 10. С. 645-647.
7. K. Borgmann, J. Stocker // Chem. Techn. (DDR) - 1975. Bd. 27. - № 5. - S. 286.
8. Модели и методы регулирования снижения вредных выбросов в дизельном двигателе – Часть 5 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/374704> (дата обращения 20.10.2018).

## Применение маркеров нефти

Иркабаев И.Э.

Научный руководитель – Шайдаков В.В.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Маркеры – это невидимые химические соединения, вводимые в жидкие и газообразные среда в малом количестве. Их присутствие можно обнаружить только с помощью специально разработанных индивидуальных индикаторов. Важным достоинством является то, что процесс идентификации не представляет сложности и может быть осуществлен как в лабораториях, так и непосредственно на заправочных станциях и терминалах перевалки.

Ввод маркера осуществляется путем добавления в нефть специальных химических веществ – молекулярных маркеров, которые не влияют на качество и потребительские свойства углеводородных смесей, не вызывают коррозии, не токсичны и при переработке нефти полностью разлагаются.

Благодаря методу газохроматографического анализа, можно узнать, где была добыта нефть, когда отгружена потребителю, и даже – как осуществлялась ее логистика по пути на дальнейшую переработку [1].

Маркеры применяют в различных сферах деятельности. Таких, как нефтехимическая промышленность, медицина и сельское хозяйство. В нефтехимической промышленности маркеры применяют для предотвращения воровства нефти из трубо- и продуктопроводов, емкостей и хранилищ, а также для контроля качества нефти. В медицине маркеры нашли применение в диагностике и лечении сложных заболеваний. В сельском хозяйстве применяют в селекции сельскохозяйственных культур и животных.

Маркер тимолфталейна вводится в маркировочный раствор или композицию в виде предварительно растворенного в неводном растворителе с образованием раствора, который может растворяться в маркированном масле. Неводный растворитель предпочтительно выбирают из группы, состоящей из ароматических углеводородов, ароматических спиртов и апротонных растворителей, и содержит по весу около 5-50% (например, 15-25%) маркера и около 50-95% (например, 75 -85%) растворителя. Создание маркирующих растворов, которые невидимы в жидких продуктах на основе масла в эффективных концентрациях, но приобретают характерный синий цвет, проявляющийся в маркированном продукте с использованием соответствующего проявляющего реагента. Реагенты, используемые для отображения цвета, сами по себе удобны в обращении с продуктом и бесцветным тимолфталейновым маркером, а также при маркировке продуктов этим маркером. Это относится также к способам идентификации нефтепродуктов с использованием растворов, содержащих указанный токен.

Летучие соединения (маркеры) экстрагируют из нефти путем барботажного контакта газового потока с раствором летучих маркеров в малолетучем растворителе (нефть или нефтепродукты) с последующим парофазным анализом методом газовой хроматографии. Причем в качестве летучих маркеров используют алифатические одноатомные спирты и их смеси, а газовый поток, насыщенные летучими соединениями (спиртовые маркеры и углеводороды нефти), барботируют через неполярный растворитель для удаления летучих углеводородов нефти. Затем поток газа, насыщенный летучими спиртовыми маркерами, барботируют через небольшой объем дистиллированной воды для получения концентрированного водного раствора спиртового маркера, который дозируют в газовый хроматограф для анализа. Устройство для осуществления способа содержит последовательно соединенные блок подготовки газа и три последовательно соединенные барботера, первый из которых заполнен пробой нефти с летучим спиртовым маркером объемом  $V_1$ , второй - неполярным растворителем объемом  $V_2=V_1$ , а третий барботер заполнен дистиллированной водой объемом  $V_3=0,01V_1$ . Техническим результатом изобретения является повышение чувствительности газохроматографического определения летучих спиртовых маркеров транспортируемых нефти и нефтепродуктов.

Маркировка нефтепродукта включает добавление скрытого красителя, выбранного из группы, состоящей из азадипиррометеновых красителей, дипиррометеновых красителей и любой их комбинации, в нефтепродукт и распределение красителя в нефтепродукте. Нефтепродукт, выбранный для анализа, может быть подвергнут спектроскопическому анализу на наличие азадипиррометенового красителя, дипиррометенового красителя или их комбинации. Концентрация, по меньшей мере, одного азадипиррометенового или дипиррометенового красителя, присутствующего в части нефтепродукта, может быть определена для идентификации нефтепродукта как поддельного, фальсифицированного или подлинного на основе определенной концентрации азадипиррометенового или дипиррометенового красителя.

Маркером является соединение, синтезированное этерификацией соответствующей линейной или разветвленной C1-C18 алкилкарбоксильной кислоты. Согласно этому способу C5-C10 алкилкарбоксильные кислоты применяют для маркировки топлива, благодаря пониженной интерференции от фоновой флуоресценции. Концентрация маркера в жидком нефтепродукте обычно составляет по меньшей мере 0,25 частей на миллион (чмл).

Маркер можно выделить из меченого нефтепродукта с помощью раствора, состоящего на 5-60 об. % из смешиваемого с водой, несмешиваемого с нефтью растворителя-мостика, из воды, минерального щелочного источника, такого как KOH, и/или алкил- или алкокосиамина. Для определения на месте соответствующий объем водной выделяемой смеси смешивают с соответствующим объемом проверяемой жидкой нефти. Если маркер присутствует в жидкой нефти, то он будет выделен водным слоем и будет флуоресцировать при реакции с выделяемой смесью. Для качественного обнаружения маркера используют ручной источник УФ-излучения. Согласно этому способу возможно определить уровни маркера приблизительно до значений 5%. Например, топливо было помечено маркером в количестве 3 чмл, растворенным в изооктане. Маркер был выделен и проверен под ультрафиолетовой лампой и дал флуоресцентное свечение, указавшее на присутствие маркера.

ORIMARKER - это уникальный ассортимент бесцветных химических маркетинговых агентов для идентификации бренда или сорта, а также для обнаружения мошенничества. ORIMARKER может использоваться для маркировки нефтяной жидкости, включая керосин:

- Нет видимого изменения цвета базового топлива при добавлении маркера;
- Красновато-фиолетовый цвет при проявлении;
- Отличное развитие цвета в присутствии красного красителя;
- Маркер с быстрым растворителем для более безопасного обращения.

Maxol Colors – однофазные жидкие красители, не растворимые в порошке, смешиваемые со всеми нефтепродуктами.

Они также не содержат влаги и нерастворимых веществ. Цвета Maxol легко перекачиваются, разливаются и дозируются от контейнера к резервуару.

Спектральные маркеры [2].

В целях предотвращения подделки качественного топлива и связанной с этим деградации характеристик автомобильных и авиационных двигателей. Проверка меток в топливе может быть выполнена непосредственно перед заправкой:

- самолета;
- автомобили, требующие качественного бензина. (премиум-сегмент, автогонки и др.);
- дизельные двигатели, работающие при низких температурах.

В целях предотвращения контрабанды и уклонения от уплаты налогов. В таких случаях контрафактное топливо может не отличаться своими деталями от оригинала, за исключением отсутствия спектрального маркера. В таких случаях достаточно получить качественный ответ на следующий вопрос: это оригинальное топливо перед нами или подделка?

Более сложная задача маркировки возникает, когда топливо не было полностью заменено поддельным или поддельным. Исходное топливо разбавляется поддельным топливом, и только количественный тест может точно установить соотношение исходного и поддельного в конечной смеси. Использование группы маркеров вместо одного маркера позволяет проводить не только количественные тесты, но и кодировать информацию о производителе топлива, периоде его

производства и характеристиках при транспортировке. Можно осуществлять непрерывный мониторинг качества топлива в любой момент распределения продукции, от производителя до конечного потребителя.

Существующие количественные тесты в настоящее время требуют длительных лабораторных исследований и дорогостоящего оборудования, и такие тесты имеют уровень точности 10-20%.

Спектральные маркеры:

- превосходная чувствительность и низкий уровень шума;
- решение проблем уклонения от налогов и борьбы с контрафакцией товаров.

Как это работает:

Исходный продукт маркируется специальными химическими веществами в ультранизких дозах (на уровне одной миллионной части или менее), после чего продукт может быть мгновенно проанализирован с помощью высокопроизводительного оборудования для выявления подделок.

Что можно маркировать:

- подавляющее большинство жидких, твердых и сухих веществ.

Например:

- пищевые продукты, содержащие алкоголь;
- воду;
- парфюмерная продукция;
- лекарственные препараты;
- ценные бумаги;
- нефтяные продукты.

К разработке ученых есть интерес со стороны компаний, связанных с обслуживанием трубопроводов и нефтебаз.

В нефтехимической промышленности в будущем планируется разработка скрытых маркеров для продуктов нефтепереработки – бензинов и масел. При помощи таких маркеров можно легко отследить товарный оборот продукта, установить какой компании принадлежит продукт и соответствует ли он заявленному качеству. Также снизить стоимость маркеров. Одним из самых перспективных направлений в современной медицинской диагностике являются поиски биомаркеров разных заболеваний. В сельском хозяйстве применение маркеров в селекции животных и растений.

#### **Библиографический список:**

1. Пат. Российская Федерация, МПК G01N 30/00. Способ определения маркеров транспортируемых нефти и нефтепродуктов и устройство для его осуществления / Арутюнов Ю.И., Онучак Л.А., Сизоненко Г.М. – № 2013114002/28; заявл. 28.03.2013, – 9 с.

2. Enhanced Spectrometry, Inc. Спектральные маркеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://enspectr.ru/downloads/EnSpectrMARKERS532EN.pdf>.

УДК 676.023.11:661.728.7

#### **Эколого-экономические аспекты отбелики хвойной целлюлозы в три ступени**

Капустин Н. В.

Научный руководитель - Фёдорова Э. И.

Сыктывкарский лесной институт, г.Сыктывкар

При переходе предприятий к наилучшим доступным технологиям следует снижать расходы токсичных отбеливающих реагентов и увеличивать расход экологически безопасного реагента пероксида водорода, что несомненно, скажется на показателе белизны целлюлозы [1].

Преимущество мягкой ЕСФ - отбелики хвойной целлюлозы, обусловленной более глубокой деструкцией остаточного лигнина на делигнифицирующих ступенях отбелики с участием пероксида водорода, заключается:

- в качественных показателях хвойной целлюлозы при минимальном расходе диоксида хлора;

- в уменьшении объемов фильтратов, поступающих на биологическую очистку;  
- следовательно, и в уменьшении содержания фенолов и хлорфенолов в стоках и выбросах в окружающую среду.

При этом следует отметить преимущества и недостатки различных химических веществ, используемых при отбеливании целлюлозы:

- кислород используется в больших количествах на дорогостоящем оборудовании;
- диоксид хлора дает высокую белизну без разрушения целлюлозы, но его необходимо производить на месте на целлюлозно-бумажном комбинате;
- при отбелке диоксидом хлора в сточных водах содержится существенное количество хлорид – ионов;
- а основной делигнифицирующий реагент пероксид водорода является дорогим реагентом.

Известно, что наиболее эффективное отбеливание достигается на первой стадии  $\text{ClO}_2$  ( $\text{D}_0$ ) при pH в интервале 3,5 – 4,0. Но остаточный  $\text{ClO}_2$  может создавать токсичные пары и коррозию на последующей стадии промывки. Поэтому реагенты ( $\text{SO}_2$  или  $\text{NaOH}$ ) используется в нижней части башни для ее нейтрализации, чтобы можно было уменьшить коррозию и устранить токсичные пары, схема реакции:



При этом время удерживания может составлять от 15 до 60 минут для завершения реакций отбеливания диоксидом хлора. Среднее время составляет около двух часов.

Во время отбеливания диоксидом хлора, как правило, температура поддерживается от 50 до 80 °С. Высокие температуры могут увеличить скорость реакции, но при температуре выше 80 °С прочность волокна может ухудшиться. Оптимальная температура этого отбеливателя составляет 70–75 °С и лучше сохранять концентрацию массы от 10 до 14 % [1].

Недостатком отбеливающего диоксида хлора является его нестабильность и он считается чрезвычайно токсичным и взрывоопасным при обращении и транспортировке. При высокой концентрации он самопроизвольно взрывоопасен.

Представляют интерес технологические, экономические и экологические перспективы отбелки с озоновой ступенью [2].

Применение озона позволяет сократить на одну-две число ступеней отбелки и промывки. Типовая схема обычной ECF отбелки сульфатной целлюлозы: при наличии в схеме озоновой ступени целлюлозу белят в три ступени (Ze-D-P: озон- диоксид хлора-пероксид).

Озон способен реагировать практически со всеми типами структурных фрагментов лигнина при этом осуществляется: деструкция ароматического кольца с образованием щавелевой и метилщавелевой кислот, альдегидов и  $\text{CO}_2$ .

**Цель исследования:** отбелка хвойной целлюлозы по схеме:  $\text{H}_2\text{SO}_4 / \text{ClO}_2 - \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaOH} - \text{O}_3 / \text{H}_2\text{SO}_4$ .

**Задачи исследования:**

1. Провести сравнительную оценку расхода реагентов и стоимости хвойной целлюлозы в сравнении с производством.
2. Рассмотреть схему отбелки целлюлозы в сравнении с производственной схемой отбелки хвойной целлюлозы.

Производственная схема:  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Щ}_1\text{ОП} - \text{ClO}_2 - \text{Щ}_2\text{П} - \text{K}$ , где П-пероксид водорода, Щ-гидроксид натрия.

На рисунках 1 представлены расходы диоксида хлора в сравнении с производством, а на рисунке 2 – показатели глубины делигнификации хвойной целлюлозы в зависимости от расхода пероксида водорода.

При увеличении расхода  $\text{H}_2\text{O}_2$  глубина делигнификации возрастает незначительно, рисунок 2.

Поэтому нецелесообразно повышение расхода пероксида водорода более 2%, поскольку стоимость пероксида водорода увеличилась в 2019 году (как следует из данных таблицы).

Сравнительная оценка стоимости 1 т хвойной целлюлозы разработанной и производственной схеме представлена в таблице.



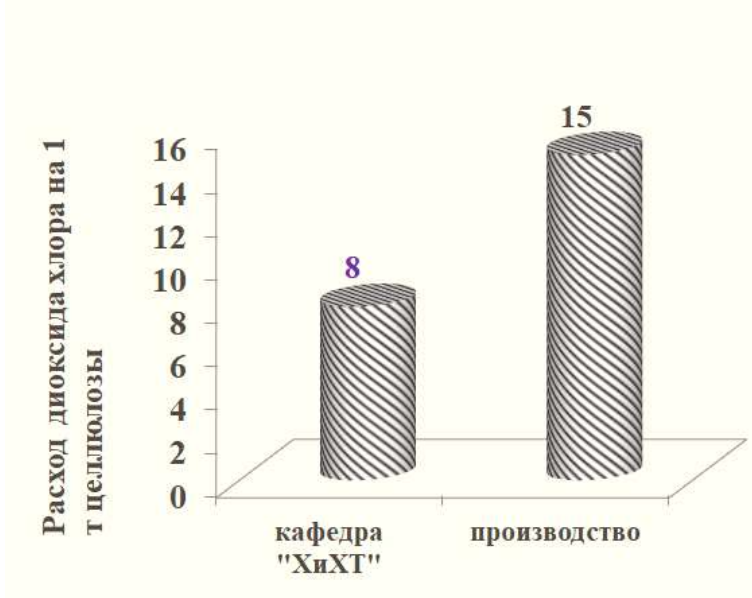


Рисунок 1 – Расход диоксида хлора на 1т целлюлозы

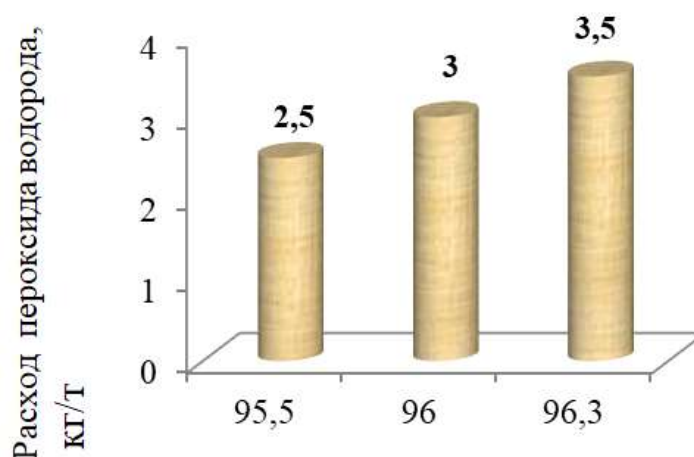


Рисунок 2 – Показатели глубины делигнификации (%) от расхода пероксида водорода

Таблица – Сравнительная оценка стоимости 1 т целлюлозы

Наименование	Цена, руб/кг	Схема 1		Схема 2 производство	
		На 1 т воздушно-сухой целлюлозы		На 1 т воздушно-сухой целлюлозы	
		Расход, кг	Цена, руб.	Расход, кг	Цена, руб.
Целлюлоза	17,00	1000	17000	1000	17000
Пероксид водорода	40	20	800	3	120
Гидроксид натрия	14,00	12	168	13	182
Серная кислота	1,81	16	28,96	16	28,96
Диоксид хлора	82	8	656	15	1230
Озон, мин	20,64	1	20,64	-	-
Серный ангидрид	9,4	1,9	17,89	1,9	17,89
<b>Итого:</b>			<b>18505,49</b>		<b>18578,85</b>

Представленная схема отбеливания хвойной целлюлозы показывает, что стоимость 1 т целлюлозы, полученной по схеме 2, не превышает производственную стоимость 1 т целлюлозы.

Кроме того представляет интерес схема водопользования при отбеливании целлюлозы в три ступени, рисунок 3.

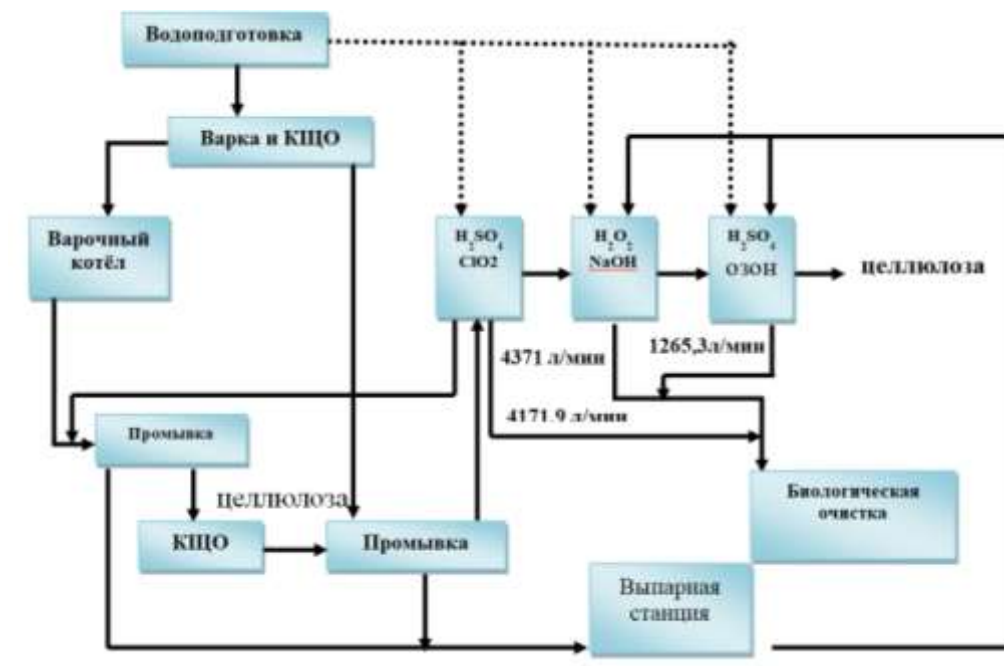


Рисунок 3 – Схема водопользования при отбеливании в три ступени

Объемы сточных вод, направляемые на станцию биологической очистки, не предусматривают повторного использования для промывки целлюлозы, во избежание адсорбции хлорид – ионов, в то время как фильтраты третьей ступени могут быть использованы для промывки на первой ступени.

### Заключение

Проведена отбеливание хвойной целлюлозы в три ступени:

- при снижении расхода диоксида хлора в 2,25 раз;
- сокращением объема сточных вод 1,5 раз без вторичного использования фильтратов отбеливания;
- при снижении энергетических затрат за счет сокращения количества ступеней отбеливания при отбеливании хвойной целлюлозы;
- представлена схема водопользования при отбеливании в три ступени

### Библиографический список:

1. Федорова Э. И., Демин В.А., Шмелева А.В., Жаравина О.В., статья «Сокращение расхода диоксида хлора в отбеливании целлюлозы одно из направлений минимизации негативного воздействия на окружающую среду», статья в журнале «ЦБК», 2016 г, № 5, стр.51–53.
2. Гермер Э.И., Метэ А., Осташи Ж.-К. Типовые схемы отбеливания с озоновой ступенью для разных целлюлоз. Сообщение 1. Преимущества озоновой отбеливания. Потребность в типовых схемах и предпосылки к их созданию. «Целлюлоза. Бумага. Картон» – №7, 2015, с. 44 – 48.

**Направление исследования экологически безопасных способов отбелики целлюлозы при совмещении отбеливающих реагентов**

Паршуков В. С.

Научный руководитель - Фёдорова Э. И.

*Сыктывкарский лесной институт, г.Сыктывкар*

Применение озона имеет большие перспективы с точки зрения экологии. Использование озона началось с очистки им сточных вод различных химических производств. В силу своей высокой окислительной способности, особенно в щелочной среде, озон разлагает многие органические и неорганические вещества, загрязняющие стоки и улучшает их состав. Отбеливающий диоксид хлора является очень неустойчивым соединением, он считается чрезвычайно токсичным и взрывчатым, чтобы обрабатывать и транспортировать. При высокой концентрации он является спонтанным взрывчатым веществом. Для устранения взрыва при отбеливании диоксид хлора следует защищать от ультрафиолетового излучения, поддерживать меньшую концентрацию. Диоксид хлора очень мало влияет на снижение степень полимеризации целлюлозы. Напротив, озонирование целлюлозных волокон привело к существенному уменьшению степени полимеризации целлюлозы. Например, при содержании озона 20 моль экв. / 100 г волокна снижение вязкости целлюлозы составило 40 %.

Наряду с недостатками, озон обладает и рядом преимуществ, проявляющихся при отбелке целлюлозы:

- снижение смолистости целлюлозы;
- уменьшение реверсии белизны;
- значительное снижение загрязненности и цветности стоков;
- снижение расхода хлора на отбелку, либо исключение хлора из схемы отбелики.

**Задачи исследования:**

- провести отбелку хвойной целлюлозы по схеме:  $\text{ClO}_2 / \text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaOH} - \text{O}_3$  при различном расходе озона на 1 ступени;
- определить показатель глубины делигнификации полученных образцов целлюлозы;
- рассчитать расход окислителей в ед. акт. хлора;
- определить показатель ХПК фильтратов отбелики.

**Этапы отбелики целлюлозы:**

1. Отбелка целлюлозы диоксидом хлора с последующим озонированием;
2. Отбелка целлюлозы пероксидом водорода в щелочной среде при  $\text{pH} = 10$ ;
3. Озонирование целлюлозы (режим процесса представлен в таблице 1).

**Методика определения глубины делигнификации:**

- навеску  $0,4000 \pm 0,0005$  г исследуемой целлюлозы взвешивают на аналитических весах, помещают в бюксы, добавляют 15 мл 14 % азотной кислоты и перемешивают до однородной массы на магнитной мешалке;
- бюксы помещают в термостат при температуре  $70 \pm 0,05$  °С на 20 минут (по секундомеру);
- по истечении времени термостатирования бюксы с целлюлозной массой переносят в сосуд с водой и охлаждают до комнатной температуры в течение 10 минут (по секундомеру);
- охлажденную суспензию отфильтровывают на стеклянном пористом фильтре, полученный результат фотометрируют на спектрофотометре ПЭ 5400УФ при длине волны 425 нм в кювете толщиной 10 мм относительно чистой 14 % азотной кислоты.

Глубину делигнификации – долю растворенного при обработке лигнина вычисляют по формуле:  $\text{ГД} = (1 - D / D_0) \times 100 \%$ ,

где 1 – содержание лигнина в хорошо промытой сульфатной целлюлозе;

D– оптическая плотность раствора целлюлозы после обработки;

D<sub>0</sub> – оптическая плотность раствора исходной целлюлозы.

Результаты исследования представлены в таблице 1–2.

Таблица 1 - Режим и качественные показатели отбелки хвойной целлюлозы в три степени по схеме:  $\text{ClO}_2 / \text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaOH} - \text{O}_3$

1 степень 0,8 % $\text{ClO}_2 / \text{O}_3$ (1 мин) / 1,6 % $\text{H}_2\text{SO}_4$ Режим: $\tau$ , мин / $T$ °C	2 степень 2 % $\text{H}_2\text{O}_2$ / 1,2 % NaOH Режим: $\tau$ , мин / $T$ °C	3 степень $\text{O}_3$ 1 мин Режим: $\tau$ , мин / $T$ °C	Глубина делигнификации, %
120 / 90	180 / 80	60 / 90	89,0

- ВКР Тимушевич Тимур

Таблица 2 – Режим отбелки хвойной целлюлозы после кислородно-щелочной обработки при различном расходе озона по схеме:  $\text{ClO}_2 / \text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaOH} - \text{O}_3$

1 степень 0,8 % $\text{ClO}_2 / \text{O}_3$ (2,4,6 мин) / 1,6 % $\text{H}_2\text{SO}_4$ Режим: $\tau$ , мин / $T$ °C	2 степень 2 % $\text{H}_2\text{O}_2$ / 1,2 % NaOH Режим: $\tau$ , мин / $T$ °C	3 степень $\text{O}_3$ 1 мин Режим: $\tau$ , мин / $T$ °C
120 / 90	180 / 80	60 / 90

На рисунок 1 показаны показатели глубины делигнификации хвойной целлюлозы при различной продолжительности озонирования [1].

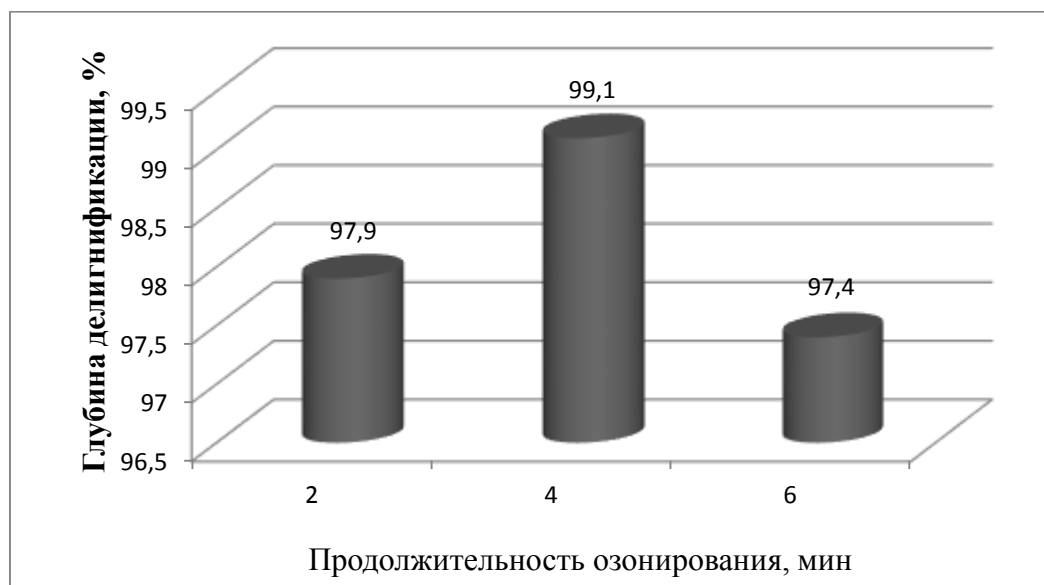


Рисунок 1 - Показатели глубины делигнификации хвойной целлюлозы при различной продолжительности озонирования.

При обработке озонем 4 минуты показатель глубины делигнификации возрастает только на 1,2 % и незначительно зависит от продолжительности озонирования [2].

Суммарный расход окислителей от продолжительности озонирования 2, 4, 6 минут составил 6,3; 6,6 и 6,7 ед. акт. хлора, соответственно [3].

Кроме того, определен показатель ХПК фильтратов отбелки: количество кислорода, требуемого на окисление органических веществ, дает величину. ХПК – это масса кислорода (мг), необходимая для окисления веществ, содержащихся в 1 л исследуемой воды (мг кислорода/л, мгО/л).

На рисунке 2 показаны показатели химического потребления кислорода.

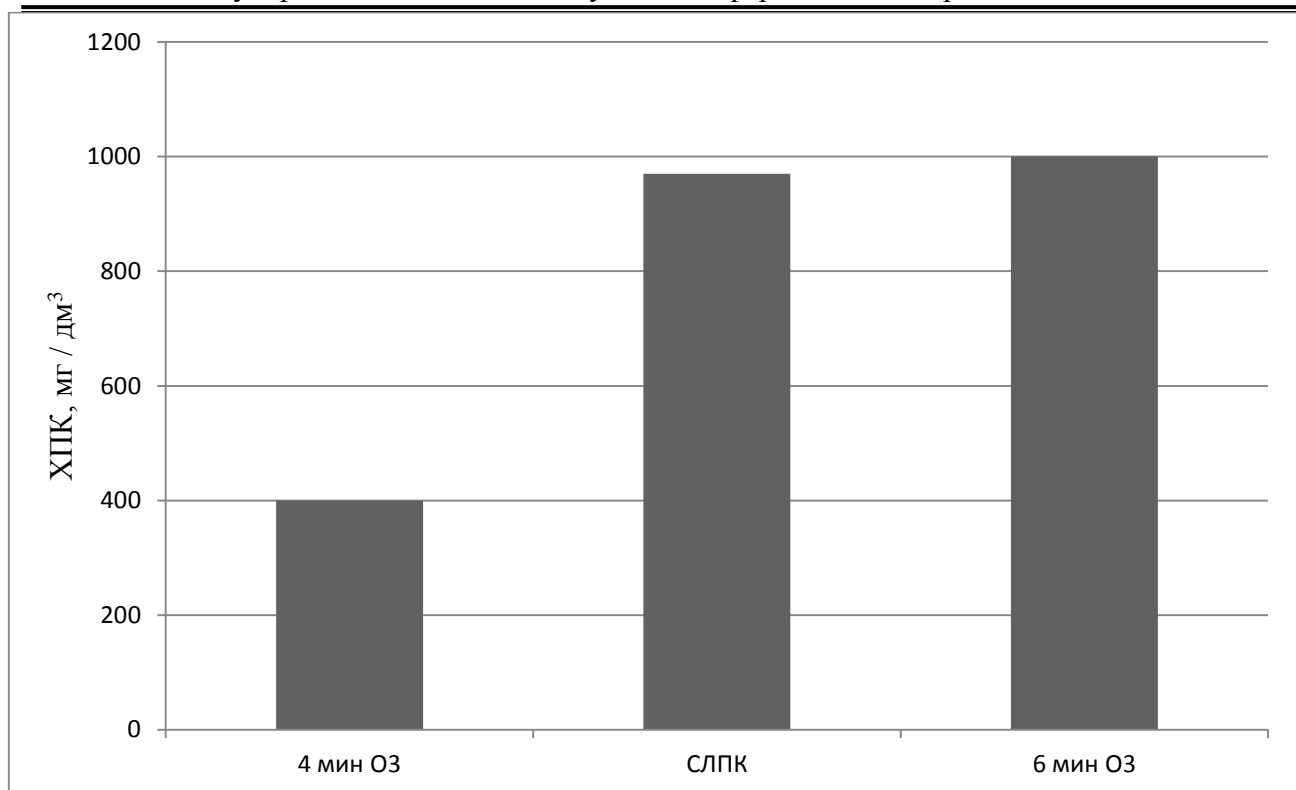


Рисунок 2 - Показатели химического потребления кислорода (ХПК).

#### Заключение

1. Поскольку известно, что диоксид хлора легко реагирует с лигнином и не реагирует в значительной степени с углеводами, проведен эксперимент совмещения этого реагента с озоном.

2. Исследование влияния продолжительности озонирования на показатель глубины делигнификации показало, что не целесообразно проведение этого процесса более 2 минут, поскольку показатель глубины делигнификации возрастает только лишь на 1,2 %.

3. Кроме того, также нецелесообразность увеличения продолжительности озонирования более 2 минут обусловлена высоким значением показателя химического потребления кислорода (ХПК), поскольку допустимый показатель химического потребления кислорода составляет 500 мг / дм³.

#### **Библиографический список:**

1. Эффекты от озона и хлора диоксидом по химическим свойствам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [docslide.us/documents/effects-of/](https://docslide.us/documents/effects-of/)копия – (Дата обработки: 29.03.2014)

2. Отбелка целлюлозы озоном [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [kniga.seluk.ru/k-bezopasnost/](http://kniga.seluk.ru/k-bezopasnost/)копия – (Дата обработки: 15.11.2017)

3. Озонирование в очистке промышленных сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://mediana-eco.ru/information/ozon\\_prom/](http://mediana-eco.ru/information/ozon_prom/)копия – (Дата обращения : 20.05.2017).

УДК 676.023.13:661.728.7:628.54

#### **Преимущества совмещения УФ-излучения и зона в отбелке целлюлозы и в очистке сточных вод**

Черных В. Ю.

Научный руководитель - Фёдорова Э. И.

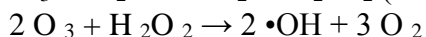
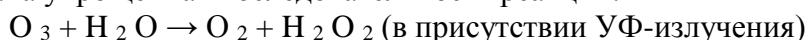
*Сыктывкарский лесной институт, г.Сыктывкар*

Мировая целлюлозно-бумажная промышленность в настоящее время развивается медленными темпами и характеризуется структурными изменениями как в спросе на конечную

продукцию, так и в региональном распределении мощностей по выработке целлюлозы. Современное целлюлозно-бумажное производство достаточно быстро реагирует на изменение потребительского спроса на конечную продукцию и в связи с этим процесс производства целлюлозы сегодня нуждается в обеспечении новыми техническими решениями, реконструкциями, модернизацией оборудования. Россия сегодня занимает девятое место в мире по выпуску химической целлюлозы. Основной объем производимой продукции представлен сульфатной небеленой целлюлозой - доля выпуска данного полуфабриката в суммарном выпуске целлюлозы составила 70%. А вот по производству беленой целлюлозы российская промышленность значительно уступает Швеции и Финляндии.

В течение последних 5-10 лет проводятся интенсивные исследования, касающиеся совместного использования *озонирования* и *УФ-обработки* в процессах водоподготовки. Показано, что использование в качестве окислителя озона при возбуждении его УФ-светом в максимуме полосы поглощения (фотолитическое озонирование) дает возможность создать установки, с удельным энергопотреблением в **5-7 раз меньшим**, чем при отдельном их использовании. В процессе озон/УФ, одном из усовершенствованных процессов окисления (Advanced Oxidation Processes, АОР), явно увеличиваются преимущества применения озона и ультрафиолетового излучения. При облучении воды, содержащей растворённый озон, происходит эффективное возникновение гидроксильных радикалов, и одновременно проходит полное разложение озона. **ОН-радикалы** – это частицы, отличающиеся экстремально коротким сроком жизни, в порядке микросекунд, но, в то же время, они обладают неимоверной способностью ускорять окислительные процессы. Благодаря их влиянию проходит процесс высокоэффективной дезинфекции и превращения веществ, присутствующих в воде.

Например, известны усовершенствованные окислительные озонные УФ-процессы. В процессе УФ-озона фотоны в УФ-спектре превращают озон в присутствии воды в кислород и пероксид. Затем пероксид реагирует с озоном с образованием гидроксильного радикала. Ниже показана упрощенная последовательность реакций:



Использование озона в качестве отбеливающего реагента соответствует требованиям наилучших доступных технологий:

1. Единственная реалистичная альтернатива реагентам на основе хлора;
2. Повышает производительность за счет снижения производственных и эксплуатационных затрат;
3. Улучшает характеристики процесса производства сточных вод и будущих доказательств для предстоящих изменений в экологическом регулировании.

Экономическая жизнеспособность исходит из того, что озон более экономичен и обеспечивает более высокий результат по сравнению с диоксидом хлора; за счет сокращения потребления воды и химических веществ и снижения химических показателей в сточных водах: АОХ - в 2-3 раза, ХПК - на 20-40%, БПК - на 25-30%, цвет - до 60-70%.

Озонирование увеличивает УФ - пропускание вод и тем самым снижает эксплуатационные и капитальные затраты системы ультрафиолетового излучения. Эффективность дезинфекции УФ - излучения не сильно зависит от температуры и предполагает проведение процесса при более низких температурах воды. Применяли различные концентрации озона (от 3 до 40 мг  $\text{O}_3$  / л) и ультрафиолетовое излучение от 8,5 до 12 мДж /  $\text{см}^2$  при разных значениях рН (от 5 до 9) [1].

УФ - излучение обеспечивало высокую бактериальную инактивацию (более 80%), а самая низкая бактериальная инактивация наблюдалась при рН 4.5 –5.

Уменьшение загрязнений ультрафиолетовым излучением УФ - излучение также используется для окисления воды, то есть для уменьшения содержания в нем нежелательных веществ. Например, излучение длиной волны 185 нм окисляет углеводороды, хлор, N-нитрозодиметиламин и снижает общее содержание органического углерода [2].

Мощное окислительное действие озона обеспечивает основу для разработки новых или

усовершенствованных технологий, которые широко используются в экологии и промышленности.

При этом заслуживает внимания информация по совмещению физического и химического воздействия при очистке сточных вод. В сочетании с другими технологиями, такими как УФ и пероксид, озон эффективен при уничтожении труднодоступных органических соединений (органическое удаление) [3].

**Цель исследования:** рассмотреть теоретические основы физико-химического воздействия на целлюлозу.

**Задачи исследования:** совмещение реагентов, которое, как показывает анализ зарубежных источников заслуживает внимания.

Проведены исследования отбеливания лиственной целлюлозы в три степени: ЕСF- отбелка целлюлозы с участием озона в присутствии кислоты на первой ступени и ЕСF- отбелка с участием пероксида водорода и УФ- излучения на первой ступени.

Объект исследования: лиственная целлюлоза, жесткостью 12 ед Каппа, схемы отбеливания:

Схема 1:  $H_2SO_4/O_3 - H_2O_2 / NaOH - ClO_2$

Схема 2:  $H_2O_2 / \text{УФ} - H_2O_2 / NaOH - ClO_2$

Таблица 1 – Режим отбеливания лиственной целлюлозы с участием суперкатиона и гидроксильного радикала на первой ступени.

№ схемы	1 ступень: T°; τ мин; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /O <sub>3</sub> , %	2 ступень: T°; τ мин; H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /NaOH, %	3 ступень: T°; τ мин; ClO <sub>2</sub> , %
1	90°; 60; 1,2%; O <sub>3</sub> 1 мин	80°; 180; 2% / 1,2%	90°; 120; 1%
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/O<sub>3</sub> → H<sub>3</sub>O<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub>H - Суперкатион</b>			
№ схемы	1 ступень: T°; τ мин; H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /УФ	2 ступень: T°; τ мин; H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /NaOH, %	3 ступень: T°; τ мин; ClO <sub>2</sub> , %
2	90°; 60; 1 мин; 1%	80°; 180; 2% / 1,2%	90°; 120; 1%
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/УФ - •ОН (гидроксильные радикалы наиболее эффективные реакционные частицы)</b>			

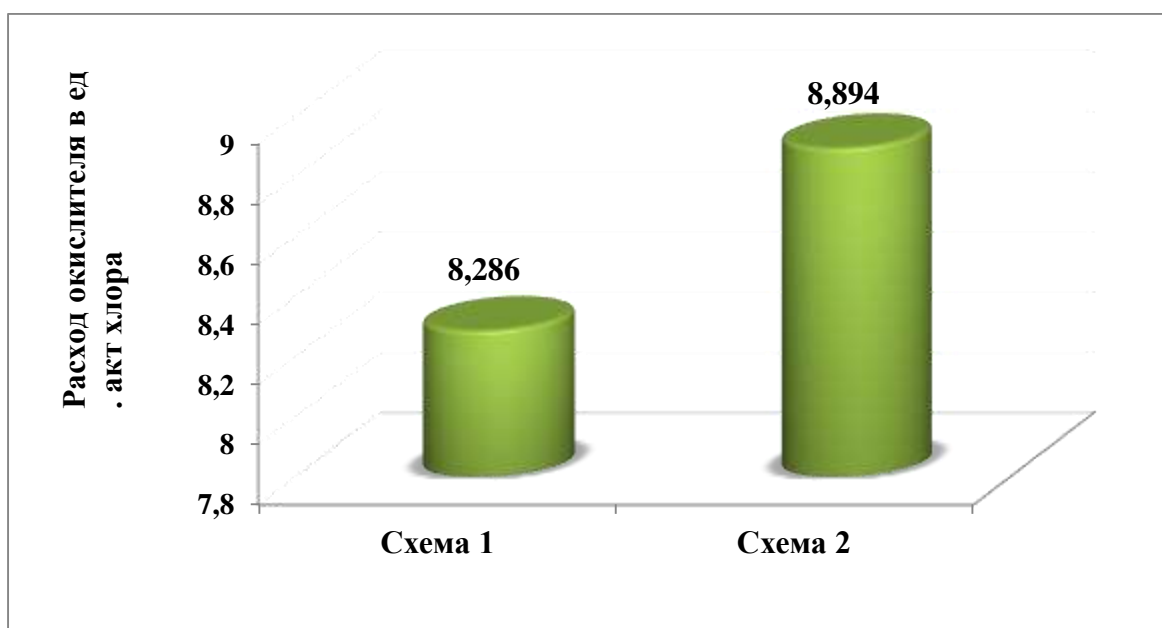


Рисунок 1 – Суммарный расход окислителей в ед. акт. хлора

Расход окислителей по схеме 1 и схеме 2 составляют 8,3 и 8,9 соответственно, а показатели белизны представлены ниже для схемы 1 (с озоном) и схемы 2 (с УФ-излучением), рисунок.

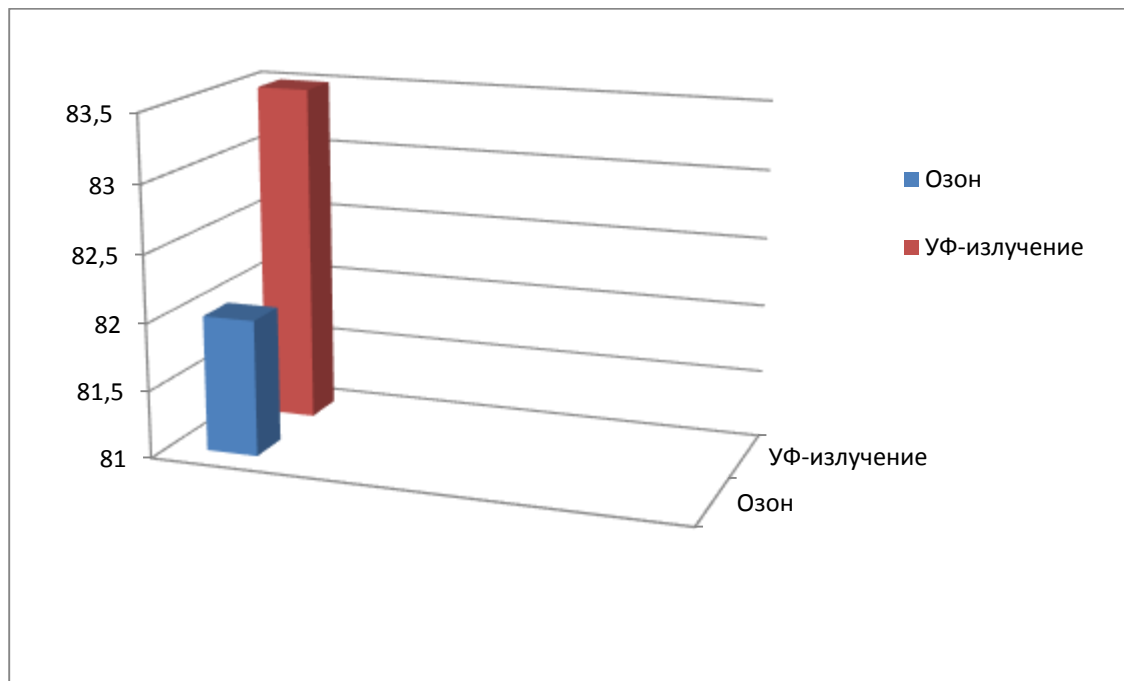


Рисунок 2 – Показатели белизны целлюлозы по схемам 1 – 2

Как показывает рисунок показатель белизны выше при участии озона в процессе отбеливания целлюлозы (несмотря на снижение расхода окислителей на 6,8%).

Таким образом, несмотря на высокий расход окислителей для схемы 2, показатель белизны целлюлозы меньше на 1,5%. Это преимущество схемы 1 можно объяснить образованием суперкатион:  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{O}_3$  ( $\text{H}_3\text{O}_2^+\text{SO}_3\text{H}$  суперкатион).

#### **Библиографический список:**

1. Обеззараживание первичных бытовых сточных вод с помощью непрерывной обработки ультрафиолетом и озоном [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.scirp.org/Journal/PaperInformation.aspx?PaperID=41982> – (Дата обработки: 23.01.2019)
2. Использование УФ для обеззараживания воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intermach.ru/en/produksiya/uf.html> – (Дата обработки: 26.01.2019)
3. Озонирование в очистке промышленных сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.spartanwatertreatment.com/industrial-ozone-water-treatment.html>копия – (Дата обращения : 28.01.2019).

УДК 665.612.2:544.2:504

### **Комплексы и кластеры воды с продуктами сжигания ПНГ и его составными газами в атмосфере. Квантово-химическое исследование**

Яшин Л.В.

Научный руководитель – Засовская М. А.

*Ухтинский государственный технический университет, гУхта*

Сжигание и утечки попутного нефтяного газа (ПНГ) оказывают негативное влияние на окружающую среду. Компонентный состав попутного нефтяного газа обычно выражен алканами ( $\text{C}_1 - \text{C}_4$ ), более тяжёлыми углеводородами  $\text{C}_5^+$  и различными не углеводородными составляющими: гелий, азот, сероводород, углекислый газ и др. В окружающей среде эти компоненты могут взаимодействовать с молекулами воды, поэтому здесь рассматриваются реакции гидролиза, которые чрезвычайно распространены, поскольку в реакции с водой



вступают в той или иной степени почти все химические соединения, а вода на Земле - одно из самых распространенных веществ. Так же здесь рассматривается идея, что в реакции могут вступать не только молекулы воды, но кластеры.

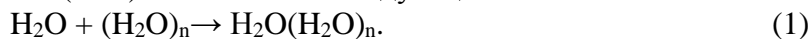
ПНГ отделяется от нефти при подготовке последней к транспорту, так как это неблагоприятно сказывается на нём. Вследствие отсутствия технологий по его переработке, попутный нефтяной газ зачастую сжигается. Его использование может осуществляться лишь после очищения. Чтобы это сделать слои углеводородов, имеющих разную удельную массу на объём, разделяют в сепараторе давления. После этого его можно применять для изготовления пластмассы и резины.

По официальной статистике в России в 2012 году 44% ПНГ перерабатывалось, 32% уходило на собственные нужды и 24% сжигалось. Большая часть сжигается в Восточной Сибири, также существенные объёмы сжигаются на небольшой территории ЯНАО (Ямало – Ненецкий автономный округ) и Поволжья. [1]

Сжигание ПНГ оказывает сильное термическое воздействие на окружающую среду в радиусе в среднем 75 метров от места горения, последствием которого является выгорание питательных веществ, от которых зависят растения, что ведёт к снижению растительности или полному её отсутствию.

В газовой фазе все рассмотренные нами вещества могут вступать в реакцию с парами воды, существующей не только в виде отдельных молекул, но и в виде кластеров: в реакцию вступают не одна, а некоторое количество молекул воды.

Реакция образования кластеров  $H_2O(H_2O)_n$  описывается следующими схемами:

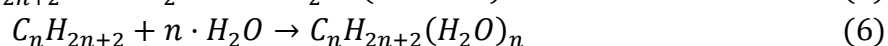
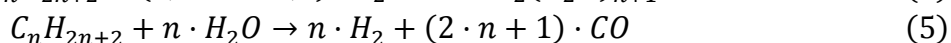
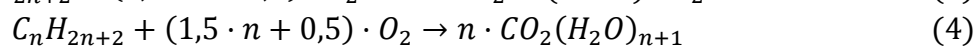


В работе [2] были рассмотрены термодинамические параметры образования кластеров  $H_2O(H_2O)_n$ , рассчитанные с помощью методов B3LYP/6-311++G(2d,2p), MP2/aug-cc-pVTZ и G4. Все эти процессы образования этих кластеров характеризуются положительной свободной энергией Гиббса и отрицательными энергиями образования из мономеров.

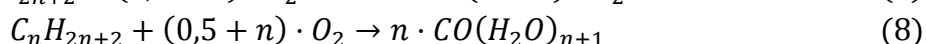
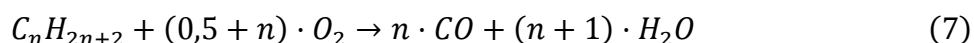
Одной из важнейших термодинамических характеристик реакции является энергия Гиббса, так как именно с помощью неё можно определить возможность протекания реакции в нормальных условиях, потому что он является основным критерием самопроизвольного протекания реакции.

Выяснилось, что реакция под формулой 1 характеризуется меньшими значениями  $\Delta_r G$ , чем реакция под номером 2, где кластеры образуются из изолированных молекул, что говорит о том, что вероятность образования кластеров по схеме 2 больше.

При стандартных условиях в процессе сжигания ПНГ образуется углекислый газ и вода, а при его утечки продуктами реакции является угарный газ и водород. Но в данной работе, как уже говорилось, рассматриваются реакции с образование комплексов и кластеров. В классическом варианте обобщённые формулы этих реакций представлены далее:



Но также бывают случаи, когда реакции горения идут с недостаточным количеством кислорода, их формулы показаны ниже:



Далее будут представлены результаты термодинамических параметров реакций с образованием различных компонентов. И первыми мы рассмотрим реакции с получением углекислого газа, термодинамические параметры которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рассчитанные термодинамические характеристики (кДж·моль<sup>-1</sup>) для реакций с образованием CO<sub>2</sub>

Реакция	B3LYP/6-311++G(2d,2p)			
	Δ <sub>r</sub> E	Δ <sub>r</sub> H	Δ <sub>r</sub> G	Δ <sub>r</sub> S
$\text{CH}_4 + 2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	-1080,8	-1072,8	-1076,7	0,135
$\text{C}_2\text{H}_6 + 3,5 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \cdot \text{CO}_2$	-1917,4	-1910,9	-1934,7	0,285
$\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 4 \cdot \text{H}_2\text{O} + 3 \cdot \text{CO}_2$	-2748,9	-2741,9	-2785,8	0,435
$\text{CH}_4 + 2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1088,78	-1076,74	-1064,02	-0,0349
$\text{C}_2\text{H}_6 + 3,5 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{CO}_2(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1933,30	-1918,85	-1909,41	-0,0195
$\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 3 \cdot \text{CO}_2(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-2772,72	-2753,83	-2747,90	-0,0033

Из таблицы видно, что энергия Гиббса для всех реакций отрицательна и имеет достаточно малые значения. Также стоит отметить, что для “классических”, что для реакций с образованием комплексов, значения термодинамических параметров практически одинаковые. Значения потенциалов Гиббса для различных температур представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Значения энергий Гиббса для реакций с образованием CO<sub>2</sub>

Реакция	-40	0	40
$\text{CH}_4 + 2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	-1075,87	-1076,40	-1076,93
$\text{C}_2\text{H}_6 + 3,5 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \cdot \text{CO}_2$	-1930,07	-1933,15	-1936,23
$\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 4 \cdot \text{H}_2\text{O} + 3 \cdot \text{CO}_2$	-2777,34	-2782,99	-2788,65
$\text{CH}_4 + 2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1066,12	-1064,72	-1063,68
$\text{C}_2\text{H}_6 + 3,5 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{CO}_2(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1910,58	-1909,80	-1909,02
$\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 3 \cdot \text{CO}_2(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-2748,10	-2747,97	-2747,84

По предыдущей таблице можно сделать выводы о том, что термодинамический потенциал малозависим от температуры.

Следующие рассмотрим реакции с образованием угарного газа. В таблице 3 показаны значения термодинамических характеристик.

Таблица 3 – Рассчитанные термодинамические характеристики (кДж·моль<sup>-1</sup>) для реакций с образованием CO

Реакция	B3LYP/6-311++G(2d,2p)			
	Δ <sub>r</sub> E	Δ <sub>r</sub> H	Δ <sub>r</sub> G	Δ <sub>r</sub> S
$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \cdot \text{H}_2 + \text{CO}$	280,1	214,0	169,4	0,013
$\text{C}_2\text{H}_6 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow 5 \cdot \text{H}_2 + 2 \cdot \text{CO}$	475,1	355,0	261,6	0,077
$\text{C}_3\text{H}_8 + 3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow 7 \cdot \text{H}_2 + 3 \cdot \text{CO}$	675,2	503,2	360,7	0,141
$\text{CH}_4 + 3/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-707,91	-708,70	-717,90	0,0272
$\text{C}_2\text{H}_6 + 5/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{CO} + 3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1171,57	-1182,78	-1217,17	0,1047
$\text{C}_3\text{H}_8 + 7/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 3 \cdot \text{CO} + 4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1630,13	-1649,72	-1709,54	0,1830
$\text{CH}_4 + 3/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-751,62	-770,23	-758,06	-0,0373
$\text{C}_2\text{H}_6 + 5/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{CO}(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1258,99	-1305,83	-1297,49	-0,0243
$\text{C}_3\text{H}_8 + 7/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 3 \cdot \text{CO}(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1761,25	-1834,31	-1830,02	-0,0104
$\text{CH}_4 + 3/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}(\text{H}_2\text{O})_2$	2338,45	2293,62	2333,37	-0,1230
$\text{C}_2\text{H}_6 + 5/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}(\text{H}_2\text{O})_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	1874,79	1819,55	1834,10	-0,0455
$\text{C}_3\text{H}_8 + 7/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}(\text{H}_2\text{O})_2 + 2 \cdot \text{CO} + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1416,24	1352,60	1341,73	-0,0329

Как мы видим, для парового риформинга с образованием отдельных компонентов значения энергий Гиббса положительны, что говорит о невозможности протекания реакций. Процессы

горения с образованием комплекса с одной молекулой воды, как и в реакциях, представленных в таблице 1, имеют отрицательные значения термодинамических потенциалов, что говорит о протекании реакции в данном направлении. Но в тоже время, процессы с образованием комплекса с димером воды имеют уже достаточно большие положительные значения, что говорит об обратном – о невозможности протекания реакций. Далее представлены значения энергий Гиббса для различных температур.

Таблица 4 – Значения энергий Гиббса для реакций с образованием CO

Реакция	-40	0	40
$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \cdot \text{H}_2 + \text{CO}$	177,5	172,1	166,7
$\text{C}_2\text{H}_6 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow 5 \cdot \text{H}_2 + 2 \cdot \text{CO}$	278,7	267,3	255,9
$\text{C}_3\text{H}_8 + 3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow 7 \cdot \text{H}_2 + 3 \cdot \text{CO}$	386,9	369,4	352,0
$\text{CH}_4 + 3/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-716,27	-717,36	-718,45
$\text{C}_2\text{H}_6 + 5/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{CO} + 3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1210,89	-1215,07	-1219,26
$\text{C}_3\text{H}_8 + 7/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 3 \cdot \text{CO} + 4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1698,56	-1705,88	-1713,20
$\text{CH}_4 + 3/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-760,30	-758,81	-757,32
$\text{C}_2\text{H}_6 + 5/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{CO}(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1298,94	-1297,97	-1297,00
$\text{C}_3\text{H}_8 + 7/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 3 \cdot \text{CO}(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1830,64	-1830,22	-1829,81
$\text{CH}_4 + 3/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}(\text{H}_2\text{O})_2$	2325,99	2330,91	2335,83
$\text{C}_2\text{H}_6 + 5/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}(\text{H}_2\text{O})_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	1832,38	1833,19	1835,01
$\text{C}_3\text{H}_8 + 7/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}(\text{H}_2\text{O})_2 + 2 \cdot \text{CO} + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1343,7	1342,39	1341,08

Из значений, показанных в таблице выше, видно, что энергия Гиббса реакций также мало зависит от температуры.

В таблице 5 также показаны термодинамические характеристики, но уже с образованием комплексов и кластеров воды с углеводородами.

Таблица 5 – Рассчитанные термодинамические характеристики (кДж·моль<sup>-1</sup>) для реакций с образованием комплексов и кластеров

Реакция	B3LYP/6-311++G(2d,2p)			
	$\Delta_r E$	$\Delta_r H$	$\Delta_r G$	$\Delta_r S$
$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})$	-1,47	3,63	9,00	-0,00989
$\text{C}_2\text{H}_6 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	-1,11	3,99	7,72	-0,00428
$\text{C}_3\text{H}_8 + 3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O}) + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1,43	3,73	14,72	-0,02904
$\text{CH}_4 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})_2$	-21,70	-9,69	21,36	-0,0891
$\text{C}_2\text{H}_6 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{H}_2\text{O})_2$	-24,21	-11,92	38,52	-0,1552
$\text{C}_3\text{H}_8 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})_2$	-24,21	-11,93	38,51	-0,1552
$\text{CH}_4 + (\text{H}_2\text{O})_2 \rightarrow \text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})_2$	-0,90	4,12	9,33	-0,0093
$\text{C}_2\text{H}_6 + (\text{H}_2\text{O})_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{H}_2\text{O})_2$	-3,43	1,89	26,48	-0,0755
$\text{C}_3\text{H}_8 + (\text{H}_2\text{O})_2 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})_2$	-3,43	1,88	26,47	-0,0755

Энергии Гиббса для всех реакций носят положительное значения, но также находятся в пределах от -40 до 40 кДж·моль<sup>-1</sup>, что говорит нам о том, что эти реакции обратимые, то есть идут и с образованием компонентов справа реакций, но их количество не столь велико. В таблице 6 продемонстрированы значения потенциалов Гиббса для различных температур.

Таблица 6 – Значения энергий Гиббса для реакций с образованием CO

Реакция	-40	0	40
$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})$	8,41	8,80	9,20
$\text{C}_2\text{H}_6 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O}$	7,46	7,63	7,81
$\text{C}_3\text{H}_8 + 3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O}) + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	12,98	14,14	15,30
$\text{CH}_4 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})_2$	16,02	19,58	23,14
$\text{C}_2\text{H}_6 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{H}_2\text{O})_2$	29,21	35,42	41,63
$\text{C}_3\text{H}_8 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})_2$	29,19	35,40	41,61
$\text{CH}_4 + (\text{H}_2\text{O})_2 \rightarrow \text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})_2$	8,77	9,14	9,51
$\text{C}_2\text{H}_6 + (\text{H}_2\text{O})_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{H}_2\text{O})_2$	21,96	24,98	27,99
$\text{C}_3\text{H}_8 + (\text{H}_2\text{O})_2 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})_2$	21,94	24,96	27,98

Для реакций с образованием комплексов углеводородов с димером воды значения потенциалов Гиббса имеют относительно большие различия, что вызвано относительно большой по модулю энтропией.

Как уже было сказано, в данной работе также были оптимизированы геометрии различных молекул. На рисунке 1 показаны структуры комплексов  $\text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6(\text{H}_2\text{O})$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})$ .

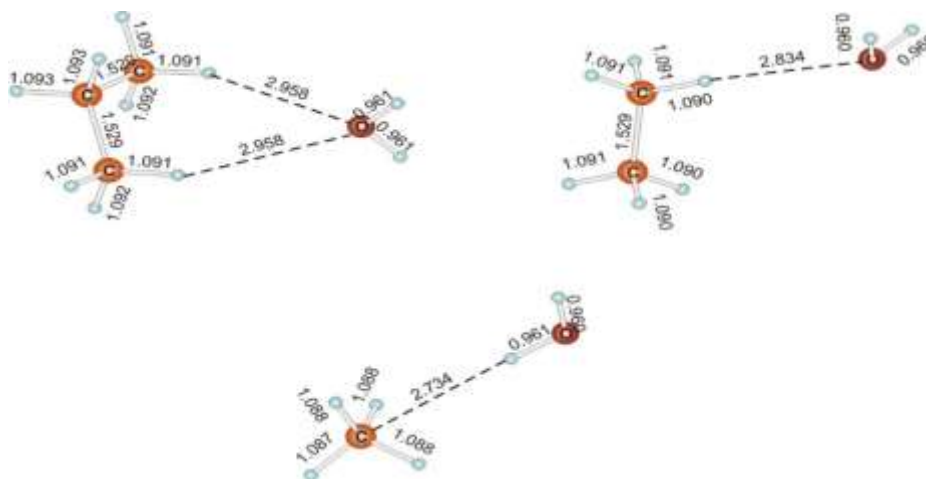


Рисунок 1 – Структуры комплексов  $\text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6(\text{H}_2\text{O})$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})$ , оптимизированных на уровне V3LYP/6-311++G(2d,2p)

Исходя из длин связей, можно сделать вывод о том, что с увеличением количества углерода в молекуле, также увеличивается и длина связей между водой и углеводородом.

На рисунке 2 показаны структуры  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})$  и  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})_2$  для демонстрации того, как меняется структуры молекул с увеличением количества воды в комплексе.

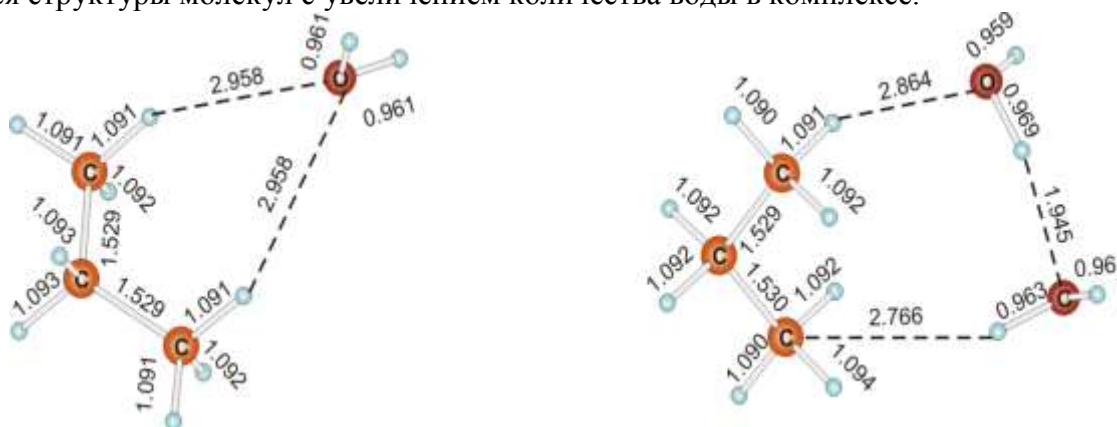


Рисунок 1 – Структуры комплексов  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})$  и  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{H}_2\text{O})_2$ , оптимизированных на уровне V3LYP/6-311++G(2d,2p)

Как видно, с увеличением количества воды, длина связей между  $H_2O$  и углеводородами уменьшается.

Итак, резюмируя всё вышесказанное, были сделаны следующие выводы:

1. Реакции, проходящие с образованием комплексов  $CO_2(H_2O)$  и  $CO(H_2O)$  при горении алканов с  $C_1$  по  $C_3$  термодинамически выгодны процессы и с очень большой вероятностью механизмы реакций горения будут протекать через образование этих веществ. Однако образование  $CO(H_2O)_2$  термодинамически невыгодно во всех рассматриваемых схемах;
2. Термодинамическая вероятность образования комплексов и кластеров не зависит от рассматриваемых температур;
3. Реакции с образованием комплексов и кластеров воды являются обратимыми.

**Библиографический список:**

1. Кирюшин П.А., Книжников А.Ю., Кочи К.В., Пузанова Т.А., Уваров С.А. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013.— 88 с.;
2. Засовская М.А., Игнатов С.К. Комплексы и кластеры воды, тионилхлорида и продуктов его гидролиза в газовой фазе. Термодинамические характеристики. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 1 (20). С. 39-48;
3. L. A. Curtiss, P.C. Redfern, K. Raghavachari, Gaussian-4 theory.// J. Chem. Phys., 2007. 126: p. 84 – 108;
4. M.J. Frisch, H.B. Schlegel, G.E. Scuseria, M.A. Robb, Gaussian 09, G. Inc., Editor 2010, Wallingford CT.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

СЕКЦИЯ 6. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	3
Галиахметова А. В. (УГТУ, Ухта, рук. Дейнега С. А.). Построение теней в ортогональных проекциях при помощи трехмерного моделирования.....	3
Казарин И. О., Поляков А. Д. (УГТУ, Ухта, рук. Серкова В. И.). Технология виртуальной реальности в промышленности..	8
Лаврентьева А. В. (УГТУ, Ухта, рук. Смирнов Ю. Г.). Применение нечеткой логики для оценки риска нефтедобывающих предприятий.....	11
Льюров В. В. (УГТУ, Ухта, рук. Дейнега С. А.). Параметрическое моделирование в среде AutoCAD.....	16
Мухаметов О. М. (УГТУ, Ухта, рук. Дейнега С. А.). Решение прикладных графических задач с помощью LISP-приложений..	20
Панюков В. М. (УГТУ, Ухта, рук. Серкова В. И.). Проектирование и разработка автоматизированной информационной системы учета клиентов организации..	25
Полянский С. Д. (СПГУ, Санкт-Петербург, рук. Быкова О. Г.). Оценка точности численного решения обыкновенного дифференциального уравнения.....	28
Потапова Е. А. (УГТУ, Ухта, рук. Дейнега С. А.). Основные принципы фотореалистичной визуализации в AutoCAD.....	32
Сураков И. И. (СПГУ, Санкт-Петербург, рук. Быкова О. Г.). Макросы табличного процессора MS Excel в нефтегазовой отрасли.....	37
Чуяшков И. Д. (УГТУ, Ухта, рук. Габова М. Н.). Создание веб-квеста по высшей математике на платформе Wik .....	40
Щигарева Е. В. (УГТУ, Ухта, рук. Смирнов Ю. Г.). Искусственный интеллект. Этапы становления.....	43
СЕКЦИЯ 7. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	48
Агеев А. Э., Потапова Е. А. (УГТУ, Ухта, рук. Терентьева Е. А.). Некоторые приложения комбинаторики.....	48
Алиев Р. Н. (УГТУ, Ухта, рук. Чупров И. Ф.). Математические модели притока в горизонтальные скважины.....	51
Берг А. П. (УГТУ, Ухта, рук. Хозяинова М. С.). Основы теории размерностей.....	55
Болотов И. Г. (УГТУ, Ухта, рук. Рябева А. Н.). Вероятность утечки и перехвата информации.....	60
Григорьев А. Ю. (УГТУ, Ухта, рук. Лютоев А. А.). Применение производной при решении задач на оптимизацию.....	63
Евстатиева А. К. (УГТУ, Ухта, рук. Габова М. Н.). Дифференциальные уравнения процессов воздухообмена помещений.....	66
Климанов В. М. (УГТУ, Ухта, рук. Хозяинова М. С.). Линейный закон фильтрации.....	70
Комиссарова И. В., Суханова В. А. (КРАГСиУ, Сыктывкар, рук. Масляев Д. А.). Критерии качества учебного расписания.....	74
Компанец А. Ю. (УГТУ, Ухта, рук. Мужикова А. В.). Приближенные вычисления.....	77
Красниенко Д. Е. (ВФ УГТУ, Воркута, рук. Даль Н. Н.). Методы математического моделирования массивов горных пород.....	82
Кривонос И. В., Винге Э. С. (УГТУ, Ухта, рук. Терентьева Е. А.). Гиперкомплексные числа.....	86
Минаев А. В., Надуткин Д. Н. (УГТУ, Ухта, рук. Габова М. Н.). Применение систем координат и их преобразований в технических задачах.....	89
Мотрюк И. Н.1 (1 – БГТУ «Военмех», Санкт-Петербург; 2 – УГТУ, Ухта, рук. Мотрюк Е. Н. 2). Методы приближенного решения задачи о минимуме функционала и их реализация в Mathcad.....	94

Науменко М. Д. (УГТУ, Ухта, рук. Хабаева Е. В.). Приложение векторов к решению некоторых задач алгебры.....	100
Овчинников А. В. (УГТУ, Ухта, рук. Волкова И. И.). Статистический анализ зимних температур воздуха в г. Ухта и г. Сыктывкар.....	104
Пабузин Е. В. (УГТУ, Ухта, рук. Мужикова А. В.). Построение оптимальной транспортной сети.....	107
Павленко Т. В. (УГТУ, Ухта, рук. Мужикова А. В.). Математический язык и его особенности.....	112
Политов Н. М. (УГТУ, Ухта, рук. Габова М. Н.). Число $e$ как показатель роста.....	117
Поломкин В. А. (УГТУ, Ухта, рук. Волкова И. И.). Статистический анализ летних температур воздуха в г. Ухта и г. Сыктывкар.....	121
Разуваев И. И. (УГТУ, Ухта, рук. Мильков С. Н.). Оценка влияния новой технологии на качество однотипной продукции.....	124
Ракетская И. Ю., Смирнова Я. А. (УГТУ, Ухта, рук. Прудникова О. М.). Соотношение между суммарными, средними и предельными величинами в экономике.....	128
Рябева А. Н. (УГТУ, Ухта, рук. Мотрюк Е. Н.). Энтропия и информация в теории вероятности.....	133
Рябева А. Н. (УГТУ, Ухта). Использование метода малых групп на занятиях по высшей математике.....	135
Савельев Д. Ю. (УГТУ, Ухта, рук. Чупров И. Ф.). Моделирование динамики температуры в скважинах.....	139
Савич Д. Е. (ДВГУПС, Хабаровск, рук. Криштоп В. В.). Математический аппарат для расчёта характеристик полностью поляризованного света.....	144
Сазанова Н. В. (УГТУ, Ухта, рук. Хабаева Е. В.). Решение геометрических задач в комплексных числах.....	148
Суркова К. С. (УГТУ, Ухта, рук. Мотрюк Е. Н.). Методы решения систем линейных уравнений.....	151
Терентьева Е. А. (УГТУ, Ухта). Возможность применения программного комплекса Statistica в преподавании математики.....	155
Тетерина К. С., Михайлова Ю. Е. (УГТУ, Ухта, рук. Хозяинова М. С.). Определение и особенности фильтрации.....	158
Шатохина М. Ю. (КРАГСИУ, Сыктывкар, рук. Масляев Д. А.). Финансовые вычисления на примере обучения в ГОУ ВО «КРАГСИУ».....	161
Шиловский И. А. (УГТУ, Ухта, рук. Волкова И. И.). Особенности моделирования надежности магистральных газопроводов в напряженно-деформированных участках.....	165
Шукина А. А.1 (1 – Гимназия иностранных языков, 2 – УГТУ, Ухта, рук. Терентьева Е. А.2). Задачи, сводящиеся к квадратичным.....	170
Яхина Л. И. (УГНТУ, Уфа, рук. Ахметов Р. Ф.). CFD-моделирование газожидкостного распределителя.....	173
 <b>СЕКЦИЯ 8. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....</b>	
<b>177</b>	
Бабаев Э. К. (УГТУ, Ухта, рук. Борейко Д. А.). Опыт применения винтовых насосов на месторождениях РФ и за рубежом.....	177
Бегинин С. В., Бойко А. И., Черничкин И. А. (ООО «Газпром трансгаз Ухта», рук. Ленюский А. И.). Снижение расхода газа на собственные нужды компрессорных станций.....	181
Борисов А. О. (УГНТУ, Уфа, рук. Уразаков К. Р.). Новые направления в разработке конструкций насосных штанг.....	184
Булатов Т. А. (УГНТУ, Уфа, рук. Коннов Ю. Д.). Разработка комплекса для механизации расстановки свечей БУ 4000/250 ЭК-БМ с системой верхнего привода.....	187

Гуков А. В. (УГНТУ, Уфа, рук. Шайдаков В. В.). Анализ патентной и научнотехнической информации в области газовых сепараторов.....	190
Камалов Д. Р. (УГАТУ, Уфа, рук. Шайдаков В. В.). Перспективы развития конструкций плунжеров штанговых насосов по результатам патентных исследований.....	194
Кирдяйкин И. Д. (УГТУ, Ухта, рук. Быков И. Ю., Бобылева Т. В.). Водородное изнашивание поршневых колец двигателя внутреннего сгорания бурового двухпоршневого насоса УНБ-600.....	197
Коновалов В. И. (УГТУ, Ухта, рук. Борейко Д. А.). Исследование НДС ферромагнитных конструкционных материалов на примере стали 09Г2С.....	200
Королева Д. А. (УГАТУ, Уфа, рук. Шайдаков В. В.). Солнечная энергетика на объектах нефти и газодобычи.....	203
Кулагина Е. Е., Костиловский В. В., Пензин А. В. (УГНТУ, Уфа, рук. Шайдаков В. В.). О надежности скважинных электроцентробежных насосных установок в условиях Западной Сибири.....	206
Медведев П. П. (УГТУ, Ухта, рук. Быков И. Ю.). Динамика изменения геометрии резьб насосно-компрессорных труб в зависимости от марки стали при свинчивании и развинчивании.....	210
Минилбаев А. А. (УГНТУ, Уфа, рук. Коннов Ю. Д.). Модернизация комплекса механизации спуско-подъемных операций при подземном ремонте скважин.....	213
Миргадиев Д. И., Гумеров А. И. (УГНТУ, Уфа, рук. Ризванов Р. Г.). Методы разметки и контроля геометрических параметров при сборке корпусов цилиндрических сосудов и аппаратов.....	215
Набиуллин Д. У., Копейкин И. С. (УГНТУ, Уфа). Технология проведения вертикального селективного гидравлического разрыва пласта с использованием шарового клапанаотсекателя.....	218
Насоновский А. С. (УГТУ, Ухта, рук. Борейко Д. А.). Использование метода магнитной томографии для выявления дефектов в труднодоступном трубном технологическом оборудовании.....	222
Оленченко Е. Е. (УГТУ, Ухта, рук. Быков И. Ю.). Оценка влияния ультрадисперсной технической сажи на триботехнические свойства жидких смазочных материалов применяющихся в радиальных подшипниках скольжения.....	227
Сабанов С. Л. (АГНИ, Альметьевск, рук. Галеев А. С.). Анализ отказов штанговой скважинной насосной установки.....	231
Садыков И. Р., Пензин А. В. (УГНТУ, Уфа, рук. Шайдаков В. В.). Комплексный подход борьбы с осложненными условиями эксплуатации штанговой скважинной насосной установки с помощью применения магнитных клапанных пар и системы точечной подачи химического реагента.....	236
Топоров П. А. (УГТУ, Ухта, рук. Быков И. Ю.). Устройство, типы и ремонт торцевых уплотнений, применяемых на ППНН ООО «ЛУКОЙЛ-УНП».....	242
Шарипов Т. И. (УГНТУ, Уфа, рук. Ризванов Р. Г., Шарафиев Р. Г.). Анализ видов и статистики повреждений скребковых кристаллизаторов установок депарафинизации масел.....	244
Шестакова Е. В., Михайлов П. Г. (УГНТУ, Уфа, рук. Шайдаков В. В., Ямалиев В. У.). Анализ патентной и научно-технической информации по превенторам.....	247
Шичёв П. С. (УГТУ, Ухта, рук. Быков И. Ю.). Диагностические параметры оценки расцентровки валов и дефектов подшипников в центробежных насосных агрегатах.....	251
Шматин Е. К., Сиразетдинова А. М. (УФ УГТУ, Усинск). Анализ существующих конструкций и выбор оптимальной схемы гидроприводного скважинного винтового насоса.....	254
Юнусов И. И. (УГНТУ, Уфа, рук. Молчанова В. А.). Линейный привод штангового насоса с уравнивающим устройством.....	258
Юшин Е. С. (УГТУ, Ухта). Анализ систем гидроприводов штанговых глубинных насосов для добычи нефти.....	260



СЕКЦИЯ 21. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВА .....	268
Бабикова М. О. (УГТУ, Ухта, рук. Ивенина И. В.). Перспективные направления инженерной энзимологии.....	268
Блок В. Е. (УГТУ, Ухта, рук. Власов А. С.). Химические методы анализа нефти в процессе нефтедобычи.....	271
Гарш Д. И. (УГТУ, Ухта, рук. Ивенина И. В., Смирнов Ю. Г.). Оптимизация методики получения ферромагнитных наночастиц.....	274
Еремеева А. М. (СПГУ, Санкт-Петербург, рук. Кондрашева Н. К., Коршунов Г. И.). Разработка соединений, улучшающих качество дизельного топлива.....	277
Иркабаев И. Э. (УГНТУ, Уфа, рук. Шайдаков В. В.). Применение маркеров нефти..	280
Капустин Н. В. (СЛИ, Сыктывкар, рук. Федорова Э. И.). Эколого-экономические аспекты отбеливания хвойной целлюлозы в три ступени..	282
Паршуков В. С. (СЛИ, Сыктывкар, рук. Федорова Э. И.). Направление исследования экологически безопасных способов отбеливания целлюлозы при совмещении отбеливающих реагентов.....	286
Черных В. Ю. (СЛИ, Сыктывкар, рук. Федорова Э. И.). Преимущества совмещения УФ-излучения и озона в отбеливании целлюлозы и в очистке сточных вод. ....	289
Яшин Л. В. (УГТУ, Ухта, рук. Засовская М. А.). Комплексы и кластеры воды с продуктами сжигания ПНГ и его составными газами в атмосфере. Квантово-химическое исследование. .	292