

ISSN 2072-0297

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



23  
2022  
ЧАСТЬ II

16+

# Молодой ученый

## Международный научный журнал

### № 23 (418) / 2022

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

*Главный редактор:* Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

*Редакционная коллегия:*

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)  
Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук  
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук  
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)  
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук  
Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук  
Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук  
Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)  
Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук  
Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)  
Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)  
Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук  
Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)  
Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук  
Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук  
Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук  
Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук  
Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук  
Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук  
Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения  
Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)  
Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)  
Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)  
Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук  
Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук  
Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук  
Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук  
Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук  
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)  
Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук  
Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук  
Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук  
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук  
Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук  
Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук  
Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук  
Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)  
Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)  
Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук  
Рахмонов Азиз Боситович, доктор философии (PhD) по педагогическим наукам (Узбекистан)  
Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук  
Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук  
Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук  
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)  
Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук  
Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук  
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры  
Фозилон Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)  
Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук  
Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

*Международный редакционный совет:*

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)  
Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)  
Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)  
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)  
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)  
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)  
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)  
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)  
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)  
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)  
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)  
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)  
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)  
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)  
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)  
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, кандидат педагогических наук, декан (Узбекистан)  
Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)  
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)  
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)  
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)  
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)  
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)  
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)  
Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)  
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)  
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)  
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)  
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)  
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)  
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)  
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)  
Султанова Дилшоода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)  
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)  
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)  
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)  
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)  
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)  
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)



---

---

На обложке изображен *Паулу Фрейре* (1921–1997), бразильский психолог-педагог, теоретик педагогики, совершивший настоящий переворот в образовании не только в родной Бразилии, но и в ряде других стран Латинской Америки.

Паулу Фрейре родился в бразильском городе Ресифи. Когда Паулу было десять, его родители, чтобы хоть как-то свести концы с концами, решили переехать в менее дорогой городок Жабоатан-дус-Гуарарапис. Поэтому Паулу успел закончить всего четыре класса, на новом месте в школу он не ходил, зато почти всё своё свободное время проводил с мальчишками, играя во дворе в футбол. Через три года после переезда умер его отец, и семья оказалась на грани нищеты. Денег почти не было, Паулу с матерью жили впроголодь. Мальчик понял, что единственным выходом и шансом вырваться из бедности является образование. И он начал учиться.

Предметы не давались ему легко, поскольку он много пропустил, но его рвение учителя оценили.

В 1943 году Фрейре поступил на юридический факультет университета. Он много времени уделял изучению философии (в особенности феноменологии) и психологии языка, и после окончания университета стал учителем португальского языка в средней школе. Работал он главным образом с неграмотными бразильцами из самой низшей социальной прослойки. Фрейре сам вышел из бедных людей, поэтому прекрасно понимал, насколько важно для них иметь хотя бы элементарное образование. Кроме того, в то время в Бразилии грамотность была первым условием, которое давало право голоса на выборах.

В 1946 году Паулу Фрейре возглавил отдел образования и культуры социальной службы штата Пернамбуку, а в 1961 году был назначен директором департамента культурного развития Университета Ресифи.

В 1962 году он получил возможность применить свою теорию на практике: за 45 дней ему удалось обучить 300 неграмотных работников сахарных плантаций читать и писать. После такого успеха правительство, в частности президент страны Жуан Гуларт, дал добро, и в Бразилии начали создавать учебные кружки, которые стали работать по методике Паулу Фрейре. Уже в первый год их количество перевалило за тысячу.

Но система Фрейре в Бразилии просуществовала недолго. В 1964 году в стране произошёл военный переворот. Приверженец левых взглядов Гуларт был сброшен, а следом за ним были уничтожены и все его инициативы, в том числе методика Паулу Фрейре.

Паулу и самого на два месяца заключили в тюрьму, подозревая в симпатии коммунистическим партиям, ведь Фрейре никогда не скрывал, что поддерживал кубинскую революцию. После заключения ему намекнули, что в стране он персона нон-грата, и Фрейре вместе с женой и детьми эмигрировал в Боливию, затем в Чили. В этой стране он пять лет сотрудничал с местным правительством, которое придерживалось христианско-социалистических взглядов. Фрейре при поддержке ООН помогал проводить образовательные программы для чилийского аграрного сектора.

В своей философии педагогики он объединил классические подходы Платона, современную марксистскую критику и теорию борьбы с колониализмом. Подходы к педагогике Паулу Фрейре часто сравнивают с методикой Януша Корчака. Его самое известное высказывание: «Дело не в количестве прочитанных страниц, а в количестве вызванных ими мыслей».

В 1967 году Фрейре опубликовал свою первую книгу «Образование как практика освобождения», за которой последовала его самая известная книга «Педагогика угнетённых». После этого им заинтересовались в Гарварде, куда его пригласили преподавать в педагогической школе. Позже он перебрался в Швейцарию, где был специальным советником Всемирного совета церквей в вопросах образования.

В 1980 году Фрейре вернулся на родину. Он стал членом Партии трудящихся, где отвечал за программу по ликвидации неграмотности среди взрослых работников до 1986 года. Когда в 1988 году партия выиграла на выборах, Фрейре стал секретарём по вопросам образования в штате Сан-Паулу.

Паулу Фрейре скончался в 1997 году от сердечной недостаточности.

*Екатерина Осянина, ответственный редактор*

---

---



## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### **Алиев И. И.**

Проблемы спуска обсадных колонн на месторождении Чираг в Азербайджане .....61

#### **Бектилегов А. Ю., Остриков В. В., Корнев А. Ю., Турсбеков С. В., Турсбекова Г. Ж.**

К вопросу влияния многофункциональных присадок на смазывающие свойства дизельных топлив .....63

#### **Брадис М. И., Бутова С. Н.**

Влияние ксантановой камеди и гуаровой камеди на качественные показатели соевой соусной основы .....68

#### **Джаббаров Ш. Б., Абдуллаев Б. А., Мансуров Ю. Н., Абдурахмонов П. К., Балтаев М. Б., Галимова Ф. С., Нигай Р. П., Рахимов Р. В.**

Контроль взаимодействия колеса с рельсом посредством профилирования и подбора материала .....71

#### **Джаббаров Ш. Б., Мансуров Ю. Н., Абдуллаев Б. А., Иноятлов К. Х., Зафаров Д. Ш., Музаффаров Ф. Ф., Рахматов Х. А., Рахимов Р. В.**

Моделирование образования трещин в материалах железнодорожного транспорта...74

#### **Джавадов Э. Р.**

Возникновение удара при спускоподъемных операциях в скважине .....78

#### **Долгов Е. Н.**

Проблемы безопасности расположения базовых станций в жилых районах.....80

#### **Лисовенко Д. В., Козлова А. В.**

Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах.....83

#### **Лисовенко Д. В., Козлова А. В.**

Обоснование обновления парка грузовых локомотивов методами теории тяги поездов ....87

#### **Мансуров Ю. Н., Абдуллаев Б. А., Джаббаров Ш. Б., Отажонов Х. Х., Жумабеков Б. Ш., Абдирахманов Ж. А., Хурматов Я. А., Рахимов Р. В.**

Износ и смазка пары «рельс — колесо» .....89

#### **Мансуров Ю. Н., Джаббаров Ш. Б., Абдуллаев Б. А., Абдуллоев М. К., Абдурахмонов П. К., Зафаров Д. Ш., Йулдошов Р. М., Рахимов Р. В.**

Экспериментальные исследования контактов «рельс — колесо» .....92

#### **Мансуров Ю. Н., Джаббаров Ш. Б., Абдуллаев Б. А., Намозов С. Б., Шокучкаров К. С., Рахматов Х. А., Музаффаров Ф. Ф., Рахимов Р. В.**

Эволюция и разрушение перлитной микроструктуры рельсовой стали .....96

#### **Мирзалиев А. Т.**

Применение цементных пробок в условиях высокого давления и высоких температур ..... 100

#### **Олехнович М. О.**

Проблемы проведения ремонта откосов транспортных сооружений в условиях вечной мерзлоты ..... 102

#### **Пелипенко В. П.**

Предложение конструкции стенда для динамической балансировки вращающихся звеньев..... 104

#### **Полухин А. Н., Яковлев А. А., Сорокин В. С., Царенко А. А.**

Разработка автоматизированного станочного приспособления с использованием управляющих проектных процедур..... 106

#### **Рагимов С. Г.**

Анализ роторных управляемых систем ..... 109

**Саломатов А. С., Тошев Ж. А.**

Использование апельсинового пектина  
в производстве вафельного полуфабриката... 112

**Смирнов М. С.**

Моделирование множественных популяций  
организмов клеточным автоматом  
с визуализацией на Unity .....114

**Уалиханова И. Е.**

Возможность применения накопителей энергии  
в национальной электрической сети Республики  
Казахстан..... 119

**Шишигин Д. С.**

Выбор оптимального маркера для  
3D-сканирования с возможностью захвата  
цветной текстуры ..... 123

**АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН  
И СТРОИТЕЛЬСТВО****Морева А. Е., Микулин В. Н.**

Особенности планирования пространства  
японских ресторанов..... 127

**Проданова А. Д.**

Проблемы доступной среды..... 130

**Терещенко В. П.**

Строительство аэропорта на намывном  
острове..... 132

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## Проблемы спуска обсадных колонн на месторождении Чираг в Азербайджане

Алиев Илькин Ифтихар оглы, студент магистратуры  
Научный руководитель: Сулейманов Эльдар Мамед оглы, профессор  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку)

*Спуск обсадных колонн в скважины с большими отклонениями обычно признаются одними из самых критических из всех операций. Неспособность достижения цели — спуск на проектную глубину оказывает серьезное влияние на производительность скважины и общую ее стоимость.*

*В статье рассмотрен спуск обсадной колонны на месторождении Чираг в скважину с большим отклонением в проблемных горизонтах.*

**Ключевые слова:** скважины с большим отклонением, спуск колонн, коэффициент трения, открытый ствол, закрытый ствол, устойчивость ствола.

## Problems of casing running in the Chirag field in Azerbaijan

Aliyev Ilkin Iftixar, student master's degree  
Scientific adviser: Suleymanov Eldar Mammad ogly, professor  
Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku)

*Running casing strings into highly deviated wells is generally recognized as one of the most critical of all operations. Failure to achieve the target — descent to the design depth has a serious impact on the productivity of the well and its overall cost.*

*The article considers running a casing in the Chirag field into a well with a large deviation in problem horizons.*

**Keywords:** wells with large deviation, casing running, friction factor, open hole, closed hole, wellbore stability.

Как известно, в планировании фаз бурения, а также завершения скважин с увеличенным отходом от вертикали, спуск обсадной колонны часто определяется как сложная операция.

Такие операции, как планирование, анализ крутящего момента и сопротивления признаны неотъемлемой частью процесса управления рисками.

При моделировании внимание должно быть уделено учету факторов трения. Данные по скважине должны быть собранными, проанализированными, а также факторы трения вычислены. Довольно часто это не делается и существует большая степень неопределенности относительно того, какие значения следует использовать. Другое заблуждение состоит в том, что коэффициенты трения, рассчитанные для этапа бурения скважины, могут быть непосредственно применены к последующему спуску обсадной колонны. Практика показывает, что это не так.

Недавние достижения в технологии имеют важное значение в процесс принятия решения по обсадной колонне. К ним относятся: воздействие роторного управляемого инструмента на ствол скважины; увеличение отхода от вертикали; появление специальных обсадных колонн разных размеров; тип колонны (твердые, расширяемые, трубчатые); технология бурения на об-

садных трубах [1, 3]; плавучесть колонн и эффективные центраторы обсадной колонны.

Сбор и анализ данных имеют основополагающее значение для улучшения понимания того, как бурятся скважины, и какое влияние это оказывает на последующую операцию спуска обсадной колонны.

### Факторы трения

Факторы трения могут стать источником путаницы при планировании [1, 2]. Основное внимание должно уделяться операциям по спуску обсадных труб. В таблице 1 сведены результаты от компании ВР из всемирной базы данных коэффициентов трения. Эти цифры основаны на более чем двадцати спусках труб диаметром 13–3/8 дюйма и пятьдесят спусков обсадных труб диаметром 9–5/8 дюйма. Цель этой базы данных состоит в том, чтобы предоставить улучшенное руководство для выбора коэффициента трения СН (в колонне), а также коэффициента трения ОН (открытый ствол) при спуске обсадной колонны. Коэффициенты трения усредняются по общему количеству спусков для каждого диаметра и типа раствора.



Таблица 1. Фактор трения

Колонна	Коэффициент трения	
	СН/ОН Раствор на водной основе	СН/ОН раствор на нефтяной основе
13–3/8"	0,30/0,45	0,25/0,40
9–5/8"	0,25/0,40	0,25/0,35

Как и ожидалось, видно, что раствор на водной основе обычно менее смазывающий, чем раствор на нефтяной основе.

При подготовке к спуску обсадной колонны общепринятой практикой является собирать данные о крутящем моменте и сопротивлении во время бурения и во время последней спуско-подъемной операции. Это обеспечивает качественную проверку состояния ствола скважины и показывает, подходит ли он для спуска обсадной колонны.

Во многих случаях и, конечно же, для скважин с большим отклонением, данные ГИС инженеры будут записывать на поверхности. Обычно такие данные собираются с интервалом в одну минуту. Этот частота обычно достаточна во время бурения, но для спуска обсадной колонны является обычно неадекватной.

Рассмотрим месторождение Чираг в Каспийском море, примерно в 100 км на Востоке Азербайджана от столицы Баку. Пятнадцать скважины были первоначально пробурены с платформы. Некоторые из более поздних скважины в программе были с большими отклонениями до 4 км. Интересным оказался факт, что операции в одной скважине не обязательно будут эффективны в другой. Так в формациях Сабунчи и Балаханы ствол скважины нестабилен и проблемы часто происходят во

время бурения. Песчаная свита Перерыва расположена примерно на глубине 2750 м.

Несмотря на то, что спуск обсадной колонны был определен как специфическая задача, требующая тщательного планирования и выполнения, действительная степень трудности была полностью непредвиденной.

### Месторождение Чираг

Чираг А16 была первой скважиной в программе скважин с большим отклонением. Секция 12¼" была пробурена до глубины 6231 м с помощью РУС. Это, казалось, указывало на то, что ствол находился в хорошем состоянии, и ожидалось, что обсадная колонна достигнет проектной глубины. Во время планирования базовые коэффициенты трения в обсаженном/открытом стволе составляли 0,25/0,40.

График сопротивления обсадной колонны для А16 показан на рисунке 1. Видно, что обсадная колонна 10¼"х9–5/8" была спущена до 4038 м, когда она застряла на высоте 2193 м над забоем. Это было в проблемном пласте верхние Балаханы.

Динамическое трение в обсаженном/открытом стволе было пересчитано и составило 0,30/0,50.

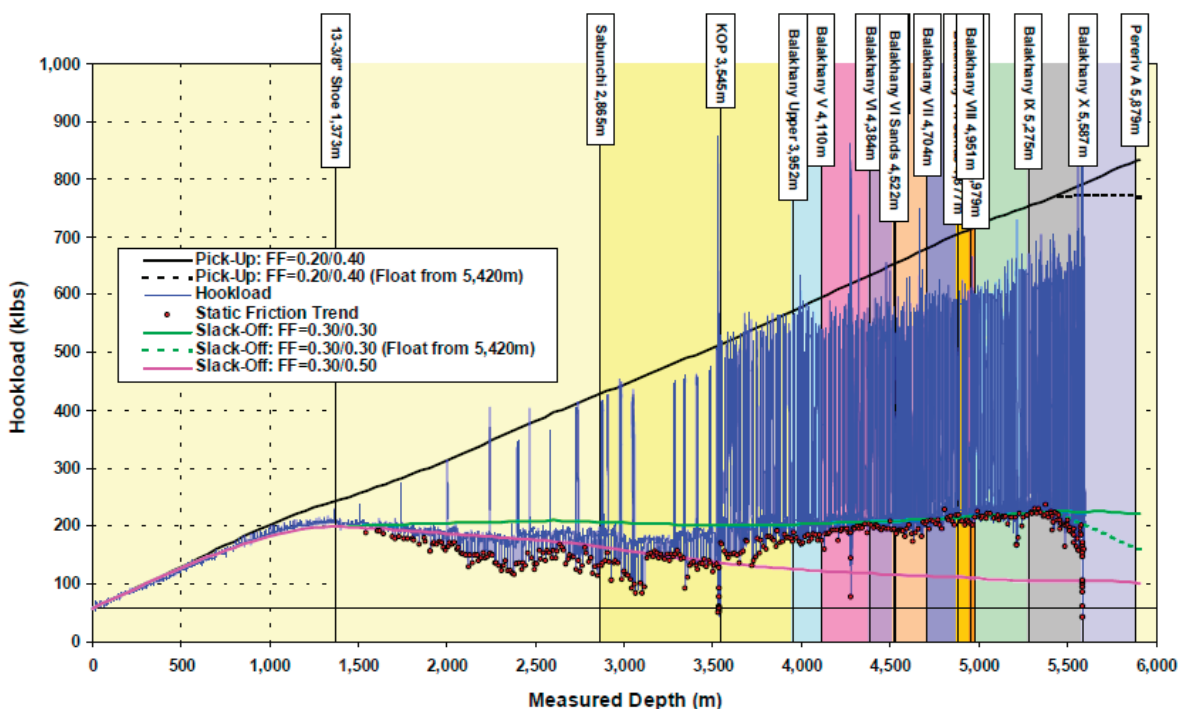


Рис. 1. Скважина А16 (Чираг). Спуск на 5,585 м колонны 9–5/8» (15–18 октября 2001) [1]

## Выводы

Расследование этого инцидента выявило ряд возможных причин. К ним относятся плохая очистка ствола скважины, нестабильность ствола, остатки шлама, проскальзывание центра, а также дифференциальное прилипание.

## Литература:

1. Mason, C. J., Lopez, J., Meling, S., Munger, R., & Fraser, B. (2003). Casing Running Challenges for Extended-Reach Wells. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. doi:10.2118/84447-ms
2. Stuart, D., Hamer, C.D., Henderson, C., Gaynor, T. and Chen, D.C.-K. New Drilling Technology Reduces Torque and Drag by Drilling a Smooth and Straight Wellbore". SPE/IADC79919, 2003 SPE/IADC Drilling Conference. Amsterdam the Netherlands. 19–21 February.
3. Warren, T., Houtchens, B. and Madell, G. Directional Drilling with Casing. SPE/IADC79914, 2003 SPE/IADC Drilling Conference. Amsterdam the Netherlands. 19–21 February.

## К вопросу влияния многофункциональных присадок на смазывающие свойства дизельных топлив

Бектилегов Алдаберген Юсупович, PhD, профессор  
Казахстанский инженерно-технологический университет (г. Алматы)

Остриков Валерий Васильевич, доктор технических наук, зав. лабораторией;  
Корнев Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
Всероссийский НИИ использования техники и нефтепродуктов (г. Тамбов)

Турсбеков Серик Вахитович, кандидат технических наук, профессор;  
Турсбекова Галия Жанмолдаевна, ассистент  
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы)

*В статье представлены результаты исследований влияния многофункциональных присадок к дизельным топливам на их смазывающие свойства.*

**Ключевые слова:** топливо, добавки, смазывающая способность, спектроскопия, размеры частиц.

Различные отрасли производства являются одним из основных потребителей дизельного топлива. На его долю приходится более 50% всех топлив, производимых в стране. От качества используемого дизельного топлива, его эксплуатационных свойств во многом зависит надежность работы тракторов, комбайнов и автомобилей.

По данным ряда ведущих НИИ, контрольных органов инспекции Гостехнадзора, предприятий, приобретаемые и хранящиеся на нефтескладах сельхозпредприятий топлива в 20% случаев не соответствуют требованиям стандартов по фракционному составу и содержанию фактических смол, 30% топлив имеют низкие смазывающие свойства, более 30% топлив имеют неудовлетворительные низкотемпературные свойства, около 20% содержат примеси и загрязнения, 15–20% топлив обводнены.

В процессе хранения топлив из-за низкого технического состояния нефтескладов сельхозпредприятий оно загрязняется механическими примесями и водой, окисляется под действием кислорода воздуха и взаимодействия со стенками емкостей, подвержено отрицательному воздействию перепада температур, что влечет изменение его свойств [1].

Один из вариантов улучшения качества нефтепродуктов в условиях их непосредственного применения может служить использование специальных добавок [2]. В рамках научно-технического сотрудничества ФГБНУ ВНИИТиН были проведены исследования многофункциональных добавок к топливам. В первую очередь интерес вызывал вопрос повышения смазывающей способности современных низкосернистых дизельных топлив.

Для сравнительного анализа были использованы два продукта — Keropur DP 604T (BASF) и MPG-BOOST (FFI), результат применения которых сравнивался с запатентованным ФГБНУ ВНИИТиН способом обработки дизельных топлив [3]. В таблице 1 представлены некоторые свойства добавок.

Для экспериментов были отобраны образцы дизельного топлива различного качества (таблица 2), в которые вносились исследуемые добавки, а результаты сопоставлялись с исходным топливом и топливом, обработанным по разработанной ФГБНУ ВНИИТиН технологии. Фиксировалось изменение физико-химических свойств топлив, и также смазывающей способности по изменению диаметра пятна износа на машине трения при 20°C (таблица 3) и 60°C (таблица 4).

Таблица 1. Некоторые свойства добавок Керорур DP 604Т и MPG-BOOST

Состав	Смесь полимеров в органическом растворителе	
	Прозрачная жидкость янтарного цвета	
Внешний вид	Прозрачная жидкость янтарного цвета	
Растворимость	Растворим в алифатических и ароматических растворителях	Растворим в алифатических и ароматических растворителях
Плотность при 15 °С кг/м <sup>3</sup>	943	798
Вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,4	1,56
Температура вспышки, °С	65	55
Рекомендуемая дозировка, мг/кг.	600	0,295

В результате испытаний при температуре 20 °С установлено, что добавление исследуемых присадок в рекомендуемых производителем количества к образцу № 1, с худшими физико-химическими характеристиками, чем другие, положительно сказывается на его смазывающих свойствах. В то же время, в случае образцов № 2 и № 3 положительный эффект наблюдается лишь при использовании MPG-Boost.

Таблица 2. Свойства исходных дизельных топлив

Показатели	№ 1	№ 2	№ 3	ГОСТ 305–82 летнее/зимнее
Фракционный состав, °С 50% 96%	235	284	242	< 280/280
	378	366	314	< 360/340
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	2,2	4,1	2,9	3,0–6,0/1,8–5,0
Температура, °С застывания помутнения	— 30	— 29	— 35	–10/–35
	— 8	— 10	— 20	–5/–25
Температура вспышки, °С	23	63	58	> 40/35
Кислотность, мг КОН/100см <sup>3</sup>	4,1	3,6	1,2	< 5
Содержание воды, %	следы	отс.	отс.	отс.
Содержание мех. примесей, %	0,03	0,01	отс	отс.
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	800	837	833	< 860/840

Дальнейшее увеличение концентрации Керорур DP 604Т привело к определенному положительному эффекту. Как видно из приведенных данных, в случае образцов № 1 и № 3 — при двойной рекомендованной концентрации, а в случае образца № 2 — при тройной.

Испытания при температуре 60 °С показали, что в случае образцов № 1 и № 3 обе присадки дали положительный эффект увеличения смазывающей способности, в то время как в случае образца № 2 улучшений при рекомендованных концентрациях практически не наблюдалось.

Заметных изменений основных физико-химических показателей дизельного топлива после добавления исследуемых добавок не обнаружено.

С помощью метода фотонной корреляционной спектроскопии были исследованы образцы дизельного топлива до и после добавления присадок. Например, на рисунках 12–14 представлены данные для образца № 1.

Таблица 3. Изменение смазывающей способности дизельных топлив в зависимости от количества вносимой присадки при 20 °С

Название и количество присадки	Ø, мм Образец № 1	Эффект, %	Ø, мм Образец № 2	Эффект, %	Ø, мм Образец № 3	Эффект, %
Без присадки	0,42	–	0,37	–	0,49	–
Керорур DP 604Т 600 мг/кг	0,39	4	0,43	— 16	0,49	–
Керорур DP 604Т 1200 мг/кг	0,35	16	0,36	3	0,46	6
Керорур DP 604Т 1800 мг/кг	–	–	0,35	5	–	–
MPG-Boost 0,295 мл/л	0,37	11	0,34	8	0,46	6
Обработка по технологии ГНУ ВНИИТиН	0,36	14	0,35	5	0,43	12

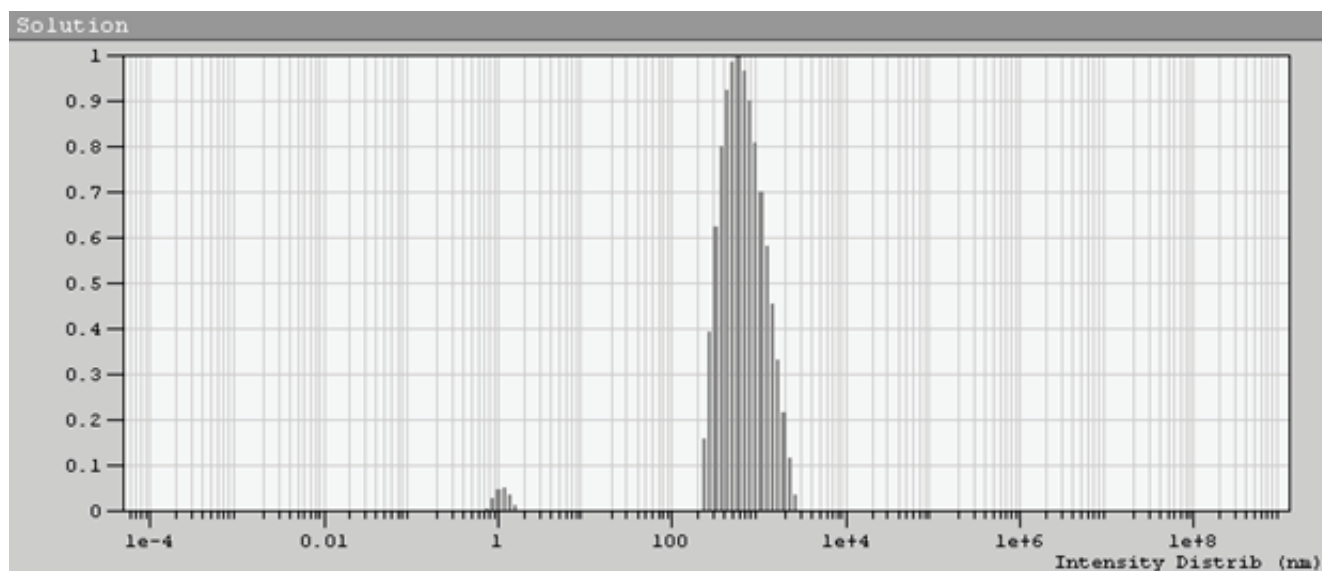


Таблица 4. Изменение смазывающей способности дизельных топлив в зависимости от количества вносимой присадки при 60 °С

Название и количество присадки	Ø, мм Образец № 1	Эффект, %	Ø, мм Образец № 2	Эффект, %	Ø, мм Образец № 3	Эффект, %
Без присадки	0,43	–	0,40	–	0,49	–
Keropur DP 604T 600 мг/кг	0,39	9	0,39	2	0,47	4
MPG-Boost 0,295 мл/л	0,41	4	0,40	–	0,45	8
Обработка по технологии ГНУ ВНИИТиН	0,35	19	0,36	10	0,41	16

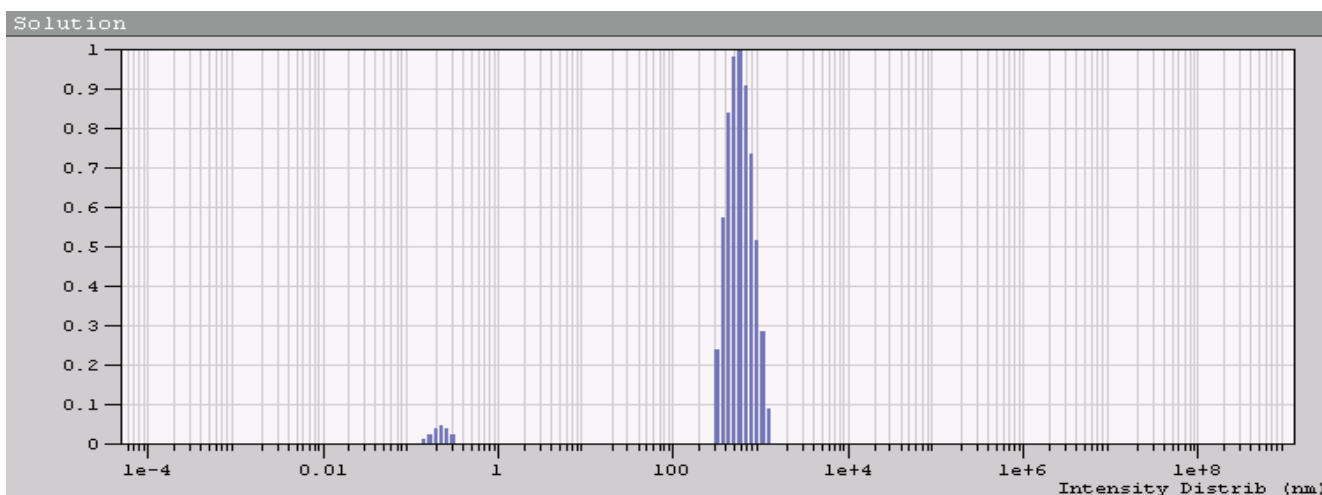
Исходный образец в начале и конце эксперимента имеет практически неизменный состав частиц. Имеется слабый пик в районе 0,1–1 нм, основная же часть частиц имеют размеры от 100 до 10<sup>4</sup> нм. Максимум наблюдается на значении 574 нм (рисунок 1).

Добавление универсальной присадки Keropur DP 604T смещает пики в область более мелких частиц, максимум приходится на 105,3 нм (рисунок 2). Вероятно, в смеси происходят процессы диспергации.



(1)

Peak Num	Area	Mean	Position	STD
1	0.015	1.109	1.163	0.178
2	0.985	755.5	574.1	441.4



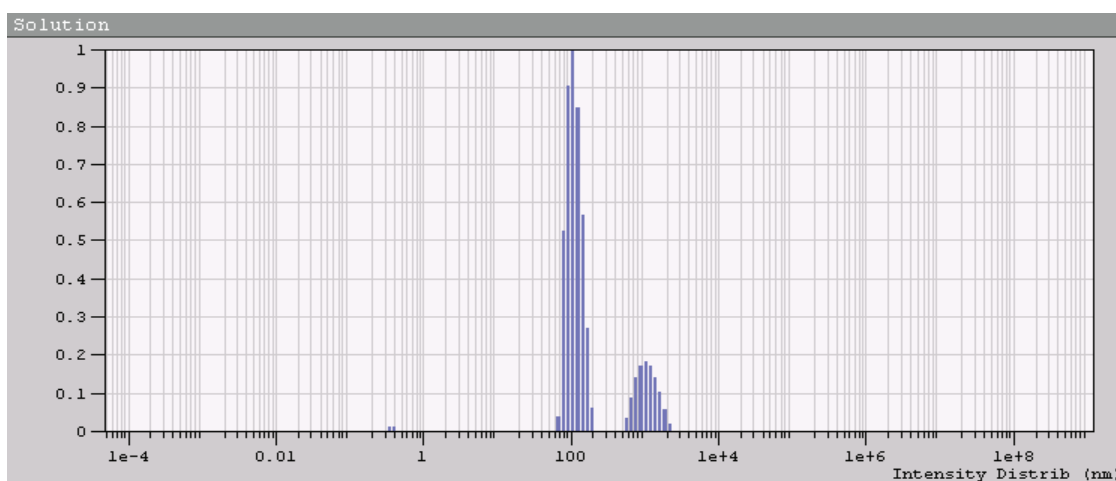
(2)

Peak Num	Area	Mean	Position	STD
1	0.025	0.225	0.220	0.044
2	0.975	607.4	574.1	206.4

Рис. 1. Образец дизельного топлива № 1 в начале (1) и после 4 часов (2) эксперимента

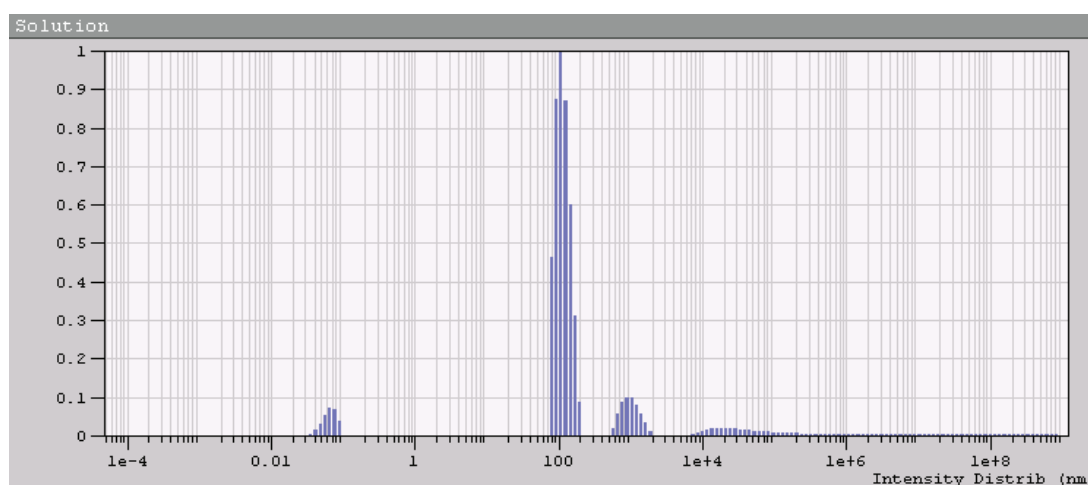
(1)

Peak Num	Area	Mean	Position	STD
1	0.051	0.064	0.064	0.016
2	0.810	112.0	105.3	31.77
3	0.102	985.7	875.4	330.7
4	0.037	2.6e+4	1.8e+4	1.5e+4



(2)

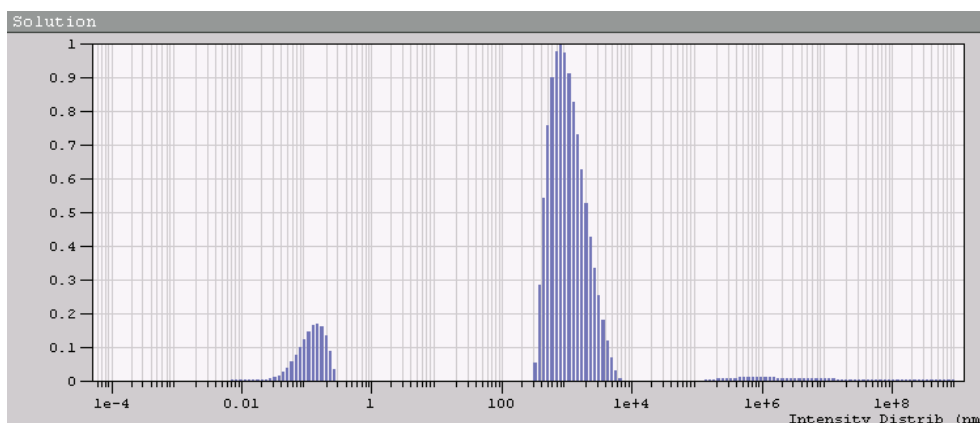
Peak Num	Area	Mean	Position	STD
1	0.002	0.335	0.336	0.020



2	0.793	111.7	105.3	27.22
3	0.205	1103.	1018.	365.8

Рис. 2. Образец дизельного топлива № 1 с добавкой Керогур DP 604Т 600 мг/кг в начале (1) и после 4 часов (2)

Добавление же присадки MPG-BOOST приводит к укрупнению частиц в интервале 100 до  $10^4$  нм. В тоже время появляется небольшое количество (17%) наноразмерных объектов в интервале от 0,01 до 1 нм (рисунок 3).



(1)

Peak Num	Area	Mean	Position	STD
1	0.111	0.127	0.143	0.057
2	0.889	1220.	795.2	886.0

(2)

Peak Num	Area	Mean	Position	STD
1	0.171	0.141	0.143	0.070
2	0.829	1554.	587.7	2181.

Рис. 3. Образец дизельного топлива № 1 с добавкой MPG-BOOST 0.295 мл/л в начале (1) и после 4 часов (2)

Однако по большому счету состав частиц после введения добавок не сильно изменяется по сравнению с исходным топливом.

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования показали, что добавление в дизельное топливо присадок не всегда приводит к положительному эффекту, так как результат, вероятно, зависит не только от концентрации присадок, но и исходного состава топлива. Этот факт требует дополнительных исследований.

В тоже время, обработка дизельного топлива по способу ФГБНУ ВНИИТиН в большинстве случаев позволяет получить устойчивый положительный эффект, проявляющийся не только в улучшении физико-химических свойств топлива, но и увеличении его смазывающей способности в среднем на 12%, что особенно актуально для современных малосернистых сортов топлив, применяемых в современной зарубежной и отечественной сельскохозяйственной технике.

Литература:

1. Бектилеов А. Ю. Повышение квалификационных свойств дизельных топлив условиях АПК. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук — Тамбов — 2015.— 216 с.
2. Остриков В.В. Повышение эксплуатационных свойств дизельного топлива / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилеов А.Ю // Техника и оборудование для села № 6. — 2012. — С. 12-13
3. Остриков В.В. Способ очистки дизельного топлива / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Нагорнов С. А., Бектилеов А.Ю., Павлов С.С. // Патент РФ № 2477303. — 2013.
4. Остриков В.В. Очистка загрязненного дизельного топлива и повышение его смазывающих свойств в условиях предприятий АПК / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилеов А.Ю., Павлов С.С. // Тезисы докладов XII Международной научно-технической конференции «Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем». — Углич. — 10-12 сентября 2012. — С. 188-194.
5. Остриков В.В. Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки и совершенствования методов, технологий и технических средств / Остриков В.В. // дисс.д.т.н. Тамбов.— ГНУ ВНИИТиН.— 2000.— С. 650
6. Бурумкулов Ф.Х. Повышение межремонтного ресурса агрегатов с использованием нанoeлектротехнологий / Бурумкулов Ф.Х., Лялякин В.П. и др. // Техника в сельском хозяйстве № 3.— 2007.— С. 8-13.



## Влияние ксантановой камеди и гуаровой камеди на качественные показатели соевой соусной основы

Брадис Мария Игоревна, студент;  
Бутова Светлана Николаевна, доктор биологических наук, профессор  
Московский государственный университет пищевых производств

В последнее время все больше возрастает спрос на азиатские соусы, а именно на соусы на основе соевого соуса. Для усовершенствования производства данного типа соусов возможно создание соусной основы, в процессе приготовления которой, могут использоваться разные виды загустителей. В данной работе исследовалось влияние таких загустителей, как ксантановая камедь и гуаровая камедь на качественные показатели соевой соусной основы. В результате определения органолептических показателей и измерения вязкости соусных основ была показана целесообразность применения гуаровой камеди.

**Ключевые слова:** соусы на соевой основе, ксантановая камедь, гуаровая камедь, азиатские соусы, соусная основа

### Введение

Пищевая промышленность — часть агропромышленного комплекса Российской Федерации. Доля пищевой индустрии составляет 11–12% от всех промышленных производств в стране [1, 2].

Производство соусов, которое в течении последних нескольких лет имеет положительную динамику, относится к пищекоцентрационной отрасли. Согласно анализу рынка, проведенному BUSINESSSTAT, с 2016 года замечен рост спроса соусы, в особенности, рост спроса на соевый соус (Рис. 1) [3, 4]. В связи с активным развитием спроса на соевый соус, возрастает потребность в разработке новых видов соусов на основе соевого соуса. Производство данной продукции практически отсутствует в России, хотя в странах Азии это крайне развитый сегмент (Рис. 2) [5].

Соусы на основе соевого соуса — это продукты, состоящие, главным образом, из соевого соуса, сахара или его аналогов, воды, загустителей и стабилизаторов, и различных добавок, таких как грибы, овощи и фрукты, уксус, специи и так далее.

Усовершенствовать производство данного типа соусов можно путем создания соусной основы на соевом соусе. В качестве основных загустителей для соусов применяются ксантановая и гуаровая камеди [6, 7]. Ксантановая камедь — линейный полисахарид, полученный путем ферментации, в которой участвовали бактерии *Xanthomonas campestris* [8].

Гуаровая камедь представляет собой измельченный эндосперм семян дерева гуара *Cyamopsis tetragonoloba* L. Гуар — однолетнее растение семейства бобовых, произрастающих в засушливых регионах [8].

Исходя из информации, представленной выше, очевидно, что тема создания соусной основы и применения в ней таких загустителей, как гуаровая и ксантановая камедь, является достаточно актуальной.

### Цель исследования

Целью данной работы является изучение влияния добавок полисахаридной природы, таких как ксантановая и гуаровая

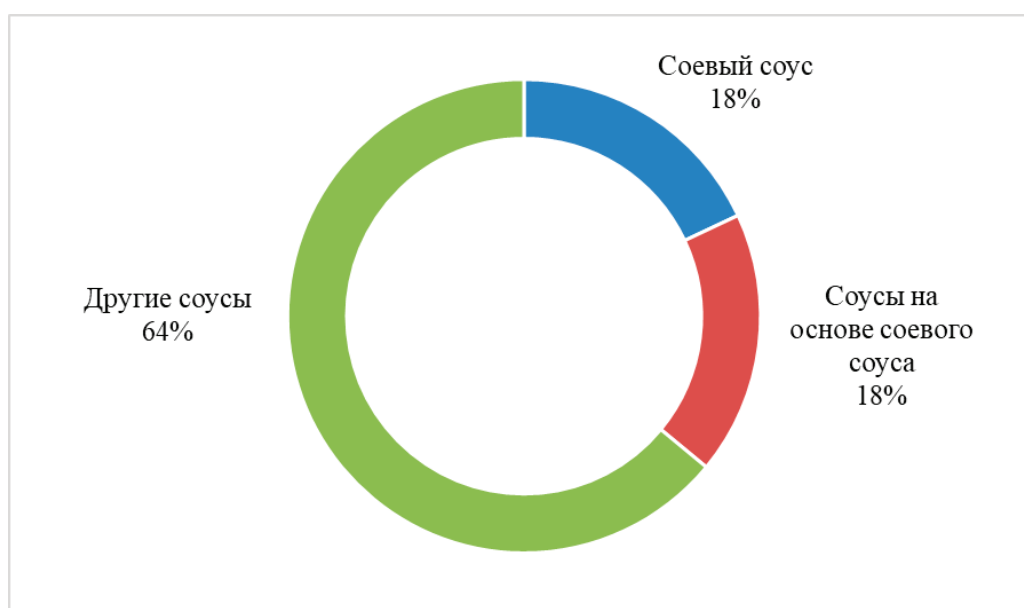


Рис. 1. Рынок азиатских соусов в России

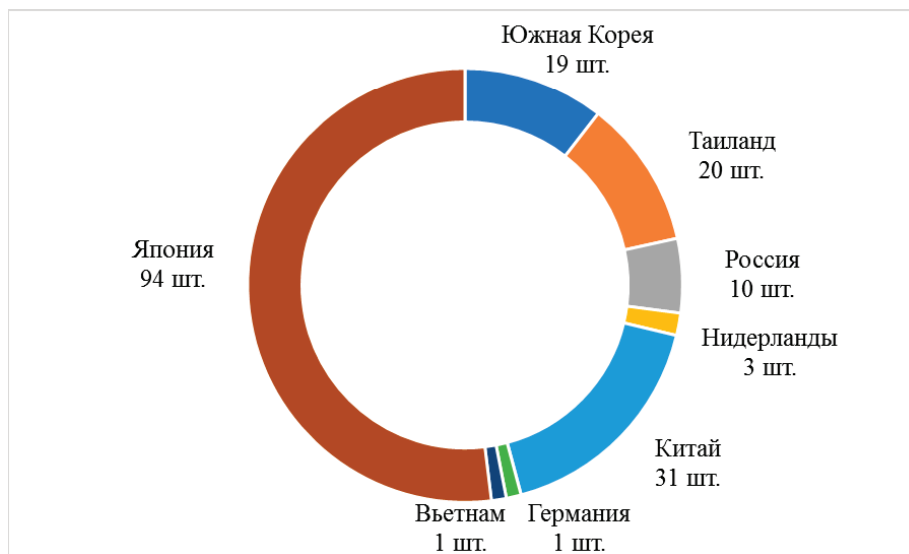


Рис. 2. Страны-производители соусов на основе соевого соуса и количество производимых ими наименований (шт.)

камеди, на качественные показатели соевой соусной основы, чтобы подобрать оптимальную дозировку загустителей в соусной основе для последующего производства соусов на основе соевого соуса.

**Материалы и методы исследования**

Объектами исследования в данной работе являлись полисахариды, такие каксантановая камедь и гуаровая камедь, в соевой соусной основе, в которая также состоит из соевого соуса, эритритрола, воды и инулина.

В исследовании применялись дегустационный метод определения органолептических показателей, вискозиметрический метод определения вязкости с помощью вискозиметра VISCO BASIC Plus (Fungilab, Италия), шпиндель R3.

**Результаты**

- В органолептические показатели оценки соусной основы входят:
- 1) внешний вид и консистенция (однородный продукт без видимых вкраплений или комочков);
  - 2) вкус и запах (характерный вкус и аромат вводимых ингредиентов, без сильного привкуса брожения);
  - 3) цвет (от светло-коричневого до темно-коричневого).

При проведение органолептического анализа, была использована бальная шкала от 1 до 5, где: 5 — отлично, 4 — хорошо, 3 — нормально, 2 — удовлетворительно, 1 — ужасно.

В результате проведения дегустации были получены следующие данные, показанные на рисунках 3 и 4.

В результате проведенной органолептической оценки, было выявлено, что образец соевой соусной основы с гуаровой ка-

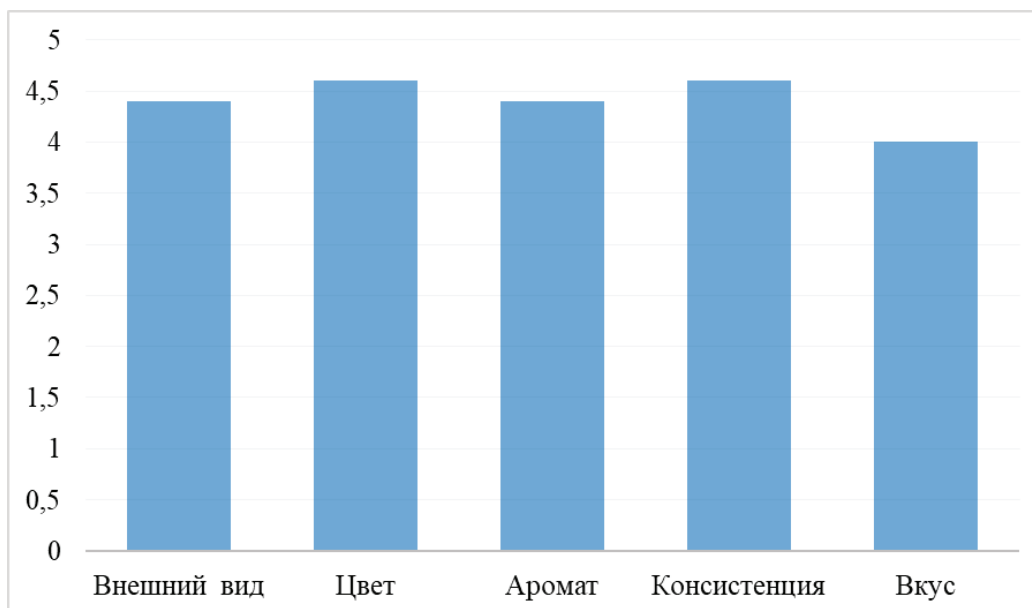


Рис. 3. Потребительская оценка соевой соусной основы с применением гуаровой камеди. Общий балл: 4,4

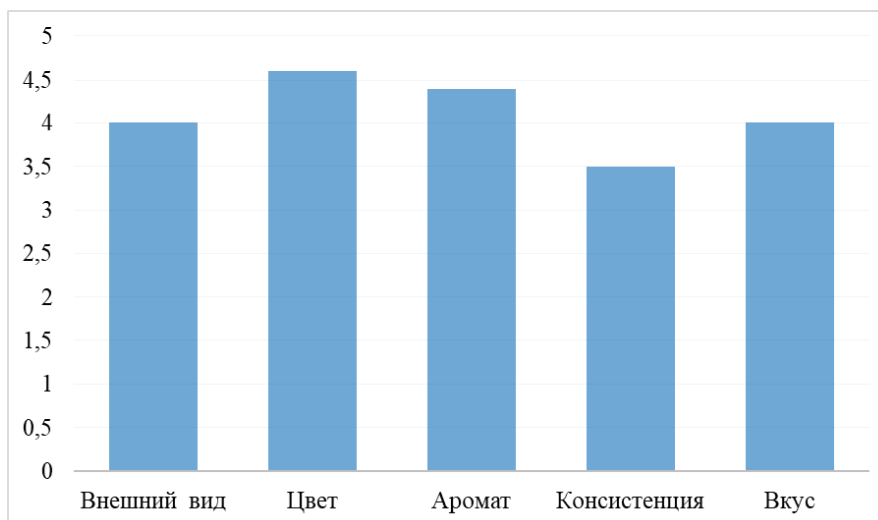


Рис. 4. Потребительская оценка соевой соусной основы с применением ксантановой камеди. Общий балл: 4,1

медью, которая в отличие от ксантановой камеди не дает сгустков, обладает лучшими показателями, а именно, консистенцией и внешним видом.

Данные, полученные в результате измерения вязкости соусных основ с гуаровой и ксантановой камедью показаны на рисунках 5 и 6.

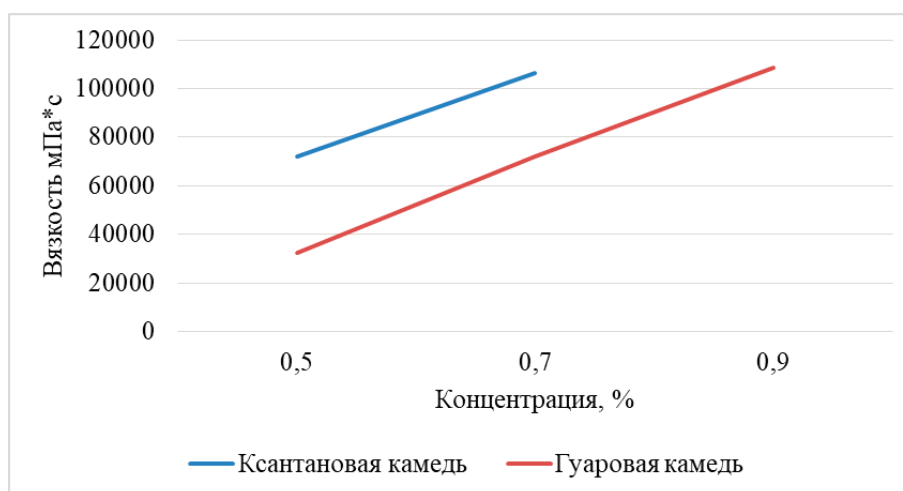


Рис. 5. Влияние концентрации ксантановой и гуаровой камедей на вязкость соусной основы

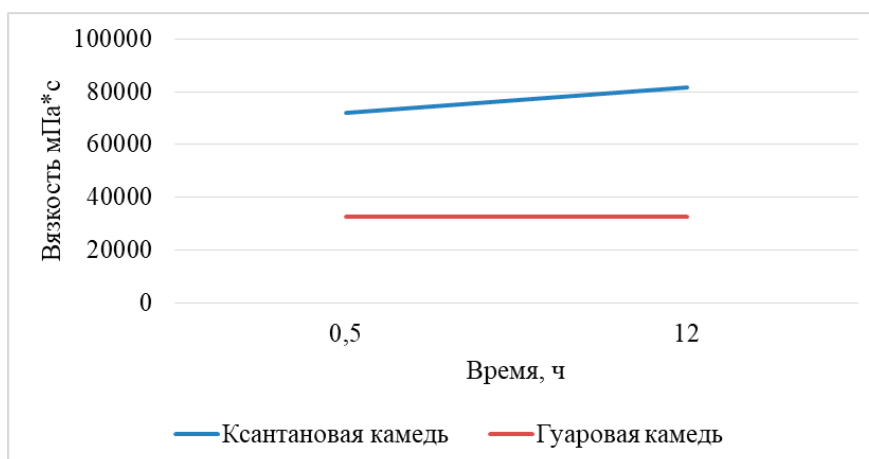


Рис. 6. Влияние времени (ч) на вязкость соевой соусной основы

На основании полученных данных, можно судить о том, что при одинаковых концентрациях, замеренных на одном и том же аппарате, с одинаковыми настройками, вязкость продукта с ксантановой камедью больше, чем у соусной основы с гуа-

ровой камедью, при одинаковых концентрациях загустителя. Однако, ксантановая камедь, обладает способностью образовывать сгустки, поэтому предпочтение отдается соусной основе на гуаровой камеди.

### Заключение

В результате данного исследования была показана целесообразность применения гуаровой камеди, как загустителя в соевой соусной основе. Это обусловлено лучшими органолептическими показателями, по сравнению с ксантановой камедью, так как соусная основа не имеет сгустков, обладает приятным

внешним видом, и лучшей консистенцией. Рекомендуемой дозировкой гуаровой камеди является 0,7%, что соответствует дозировке ксантановой камеди в 0,5%. При хранении вязкость соусной основы с гуаровой камедью не изменяется, что так же является преимуществом.

### Литература:

1. Развитие инженерии техники пищевых технологий / С. Т. Антипов, А. В. Журавлев, В. А. Панфилов, С. В. Шахов.— Санкт-Петербург: Лань, 2019.— 448 с.— Текст: непосредственный.
2. Сычева, О. В. Продовольственная безопасность РФ. Теория и практика питания / О. В. Сычева.— Санкт-Петербург: Лань, 2022.— 64 с.— Текст: непосредственный.
3. Анализ рынка соевого соуса в РФ в 2012–2016 гг, прогноз на 2017–2021 гг.— Текст: электронный // BUSINESSSTAT: [сайт].— URL: [https://businessstat.ru/images/demo/soy\\_sauce\\_russia\\_2017.pdf](https://businessstat.ru/images/demo/soy_sauce_russia_2017.pdf). (дата обращения: 17.10.2021).
4. Анализ рынка соусов в России в 2016–2020 гг, прогноз на 2021–2025 гг.— Текст: электронный // BUSINESSSTAT: [сайт].— URL: [https://businessstat.ru/images/demo/sauces\\_russia\\_demo\\_businessstat.pdf](https://businessstat.ru/images/demo/sauces_russia_demo_businessstat.pdf). (дата обращения: 13.01.2022).
5. Physicochemical, microbiological, and sensory characteristics of soy sauce fermented in different regional ceramics / S. Park, H. S. Kwak, M. Oh [и др.].— Текст: непосредственный // Applied Biological Chemistry.— 2016.— № 59.— С. 33–41.
6. Rheological, Textural and Flavour Properties of Yellow Mustard Sauce as Affected by Modified Starch, Xanthan and Guar Gum / T. Wang, M. Zhang, Z. Fang [и др.].— Текст: непосредственный // Food and Bioprocess Technology.— 2016.— № 9.— С. 849–858.
7. Марусина, Д. Р. Использование натуральных сахарозаменителей при производстве томатного кетчупа / Д. Р. Марусина, В. А. Гусева, Г. А. Гасимова.— Текст: непосредственный // Сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых.— 2019: Юго-Западный государственный университет, 2019.— С. 295–297.
8. Донченко, Л. В. Пищевая химия. Гидроколлоиды / Л. В. Донченко, Н. В. Сокол, Е. А. Красноселова.— 2-е изд.— Москва: Юрайт, 2018.— 180 с.— Текст: непосредственный.

## Контроль взаимодействия колеса с рельсом посредством профилирования и подбора материала

Джаббаров Шухрат Батирович, кандидат технических наук, доцент;  
 Абдуллаев Бахром Актамович, кандидат технических наук, доцент;  
 Мансуров Юлбарсхон Набиевич, доктор технических наук, профессор;  
 Абдурахмонов Пахлавон Кахрамон угли, ассистент;  
 Балтаев Мейрхан Батир угли, ассистент;  
 Галимова Фарида Салаватовна, ассистент;  
 Нигай Родион Павлович, кандидат технических наук, доцент;  
 Рахимов Рустам Вячеславович, доктор технических наук, доцент  
 Ташкентский государственный транспортный университет (Узбекистан)

Большинство или все основные системы железнодорожного транспорта, начиная от грузовых с высокой нагрузкой на ось и заканчивая пассажирскими системами с меньшей нагрузкой на ось, в настоящее время признают, что управление интерфейсом колеса и рельса может оказать большое влияние на рентабельность операций, и внедряются специальные профили рельсов и колес с целью улучшения характеристик взаимодействия колеса с рельсами. Однако, существуют и другое решение, связанное с используемыми материалами для подвижного состава. В работе сделан анализ механических свойств и типов материалов для железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** подвижной состав, профилирование, колеса, рельсы, механические свойства, конструкция.

Как известно [1–5] была проведена обширная работа по материалам для колес и рельсов, особенно в следующих областях:

- улучшения механических свойств и типов материалов;
- усовершенствование конструкции, особенно колес.

Все исследования были направлены на:

- снижение нагрузки, прикладываемые к рельсам колесами, которые напрямую влияют на скорость износа, а также на уровень шума;
- уменьшение контактных напряжений пары колесо-рельс, оказывающие непосредственное влияние на развитие гофров и дефектов;
- уменьшение напряжения в рельсах и, следовательно, ограничение допустимых пределов износа головки рельса;
- поворот колесной пары на поворотах и, следовательно, износ поверхности колеи и гребня колеса.

Железнодорожные профили обычно проектируются вокруг их естественно изношенной формы, так что профили остаются стабильными с течением времени, и, следовательно, будущее техническое обслуживание, необходимое для восстановления профилей, сводится к минимуму.

Цель работы на основе фактического материала определить направления перспективного профилирования железнодорожных рельсов и материалов для эксплуатации подвижного состава. Для достижения цели в работе систематизированы варианты профилирования и подбора материалов и технологий их обработки.

**Материалы и методы исследования.** В работе использованы методы анализа химического состава материалов, используемых в железнодорожном транспорте. Строение материалов изучали с помощью известных методов структурного анализа. Свойства материалов определяли по соответствующим ГОСТ.

**Результаты и их обсуждение.** При проектировании профилей рельсов и колес также необходимо учитывать сочетание трафика, конфигурации путей, геометрии путей и географических различий. Управление взаимодействием колеса и рельса с помощью рельсов и профилей колес было признано мощным инструментом для управления поведением рельсов и колес и, следовательно, оптимизации производительности системы за счет обеспечения необходимого количества контакта колеса с рельсами, балансировки напряжений и управления на криволинейном пути. Соответствующее управление рельсами и колесами также сделало возможным введение более высоких осевых нагрузок, чем это было бы возможно.

Профили рельсов и колес должны быть специфичными для системы, в зависимости от основных режимов износа рельсов, которые необходимо улучшить или, по крайней мере, контролировать.

Низкие и касательные профили рельсов также обеспечивают комфортный контакт по направлению к центру поверхности качения, чтобы уменьшить контактные напряжения и, следовательно, возможность образования гофр и напряжения изгиба рельсов, тем самым увеличивая допустимые пределы износа рельсов.

Совсем недавно в некоторых системах были разработаны и внедрены специальные профили рельсов с целью принятия стратегии переходного обслуживания (шлифовки) рельсов и, следовательно, снижения циклических затрат на техническое обслуживание.

Другим существенным улучшением стало изменение конструкции контактной зоны в некоторых новых рельсах, так что при их установке требуется минимальное техническое обслуживание. Считается, что в будущем проектирование профилей рельсов (и колес) станет еще *более продуманным*, чтобы обеспечить требуемый баланс между износом, усталостью и деформацией. Основная задача будет заключаться также в подборе материалов для подвижного состава и рельсов.

Со времени создания подвижного состава были внесены значительные усовершенствования в химию и процедуры термообработки, связанные с полностью перлитными рельсовыми сталями, что привело к значительному увеличению прочности, твердости и усталостных характеристик материалов. Таким образом, прочность и твердость простых углеродистых сталей, которые составляют около 900–1020 МПа и 260–290 НВ, соответственно, были увеличены до 1100–1300 МПа и 350–400 НВ сначала за счет добавления подходящих легирующих элементов, а затем за счет добавления соответствующих легирующих элементов и разработки специальных процедур ускоренного охлаждения и производство термообработанных, полностью перлитных высокоуглеродистых сталей. Эти улучшения произошли главным образом за счет уточнения микроструктуры, достигнутой с помощью процессов, как показано на рис. 1.

Термообработанные рельсы стали почти стандартным продуктом, особенно при работе с высокой нагрузкой на ось или в системах с большой долей очень крутых поворотов. Тем не менее, следует отметить, что вероятно, более 80% используемых рельсов по-прежнему относятся к простому углеродному типу.

Популярность термообработанных рельсовых сталей по сравнению с легированными рельсовыми сталями обусловлена различными причинами, в том числе:

- простота изготовления;

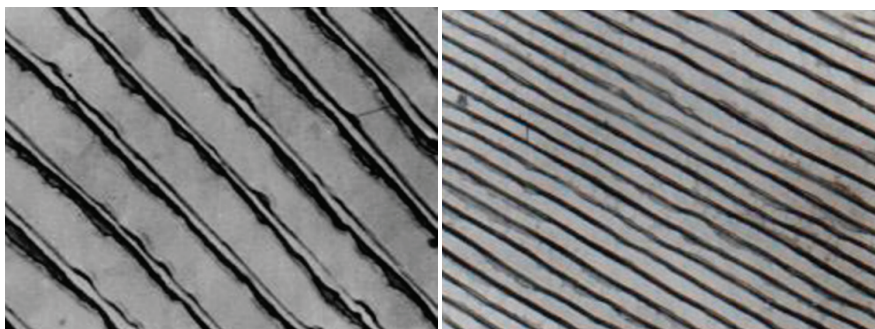


Рис. 1. Перлитная микроструктура в литом (а) и термообработанном (б) состояниях рельсов (увеличение 25 000)



- снижение затрат, даже с учетом необходимости специальной термической обработки;
- улучшенные общие механические свойства и, в частности, пластичность и сопротивление разрушению;
- улучшенные характеристики сварки, хотя рельсам по-прежнему требуется закалка после сварки для повышения твердости в зоне сплавления.

Было доказано, что внедрение термообработанных рельсов привело к заметному снижению износа рельсов. Термическая обработка всего сечения приводит к более сбалансированному распределению напряжений.

Дальнейшее улучшение производительности было достигнуто с помощью разработки микролегированных термически

обработанных рельсов, в первую очередь за счет улучшения их упрочняющих свойств при воздействии сжимающих нагрузок и улучшенных характеристик сварного шва. Однако эти материалы не получили дальнейшего развития, в основном из-за некоторых производственных трудностей.

В настоящее время стали использовать два совершенно разных типа рельсовой стали. Это заэвтектидные стали, в которых содержание углерода было увеличено примерно до 0,9% с целью увеличения толщины пластинок цементита внутри перлитной микроструктуры и, следовательно, повышения уровня твердости (до 400 НВ). Вторая группа — это низкоуглеродистые, бейнитные (и мартенситные) стали, которые полностью отличаются типом микроструктуры (рис. 2).

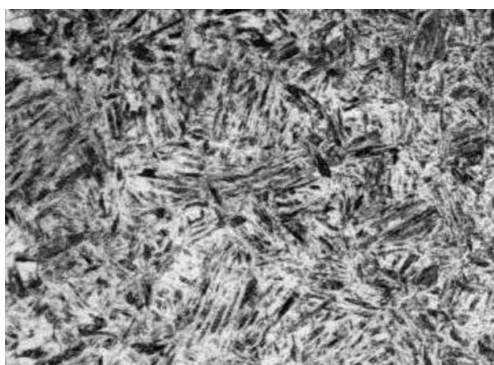


Рис. 2. Микроструктура бейнитной/мартенситной рельсовой стали с низким содержанием углерода (увеличение 500)

Оба типа стали обладают значительно более высокой прочностью, твердостью и пластичностью (в случае бейнитных/мартенситных сталей), чем даже термообработанные рельсы, в то время как низкоуглеродистые бейнитные/мартенситные стали также обладают лучшими ударными и деформационными характеристиками. Их характеристики сварки также очень приемлемы, особенно в случае бейнитных/мартенситных материалов с низким содержанием углерода.

Однако пока ни один из новых материалов не был реализован в больших количествах. Основные причины могут включать очень консервативный характер железнодорожной отрасли и приемлемые характеристики стандартных термообработанных перлитных сталей.

Аналогичные разработки произошли с материалами для колес, так что в настоящее время доступен широкий диапазон классов материалов для колес, которые были приняты в промышленности, а именно:

- с твердостью в диапазоне 255–321 НВ;
- с твердостью в диапазоне 277–341 НВ;

#### Литература:

1. Bolton P J and Clayton P (1984), Rolling-sliding wear damage in rail and tyre steels, *Wear*, 93, 145–65.
2. Clayton P (1996), Tribological aspects of wheel–rail contact: a review of recent experimental research, *Wear*, 191, 170–83.
3. Grassie S L and Kalousek J (1993), Rail corrugation: characteristics, causes and treatment, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 287, 57–68.
4. Grassie S L (2005), Rail corrugation: advances in measurement, understanding and treatment, *Wear*, 258, 1224–34.

- с твердостью в диапазоне 321–363.

Выбор наиболее подходящего материала колеса зависит от баланса между износостойкостью, развитием дефектов и остаточной деформацией из-за термической усталости.

**Выводы.** Некоторые из достижений, но в особенности их комбинации, уже привели к значительному увеличению срока службы как рельсов, так и колес, даже при очень высоких осевых нагрузках, применяемых в настоящее время в некоторых системах. Действительно, в наши дни срок службы рельсов, превышающий одну гигатонну, и срок службы колес, превышающий два миллиона километров, становится все более распространенным явлением. Риск выхода из строя рельсов и колес также значительно сократились не только из-за достижений в технологии «колесо-рельс», но и из-за усовершенствований, внесенных в процедуры неразрушающего (в основном ультразвукового) контроля. Однако считается, что следующие 5–10 лет должны быть временем для пересмотра, консолидации и реализации идей с целью избежать или, по крайней мере, свести к минимуму дублирование исследовательской деятельности.

5. Grassie S L and Kalousek J (1997), Rolling contact fatigue of rails: characteristics, causes and treatments, Proceedings 6th International Heavy Haul Conference, Cape Town, South Africa, 7–11 April, 38–404.
6. Cannon D F, Edel K-O, Grassie S L and Sawley K (2003), Rail defects: an overview, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 26(10), 865–86.
7. Gullers P, Andersson L and Lundén R (2008), High-frequency vertical wheel–rail contact forces — field measurements and influence of track irregularities, *Wear*, 265(9–10), 1472–78.
8. Nielsen J C O, Ekberg A and Lundén R (2005), Influence of short-pitch wheel/rail corrugation on rolling contact fatigue, *IMEchE, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 219(3), 177–87.
9. Ekberg A and Kabo E (2005), Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading — an overview, *Wear*, 258(7–8), 1288–300.
10. Nielsen J C O, Lundén R, Johansson A and Vernersson T (2003), Train–track interaction and mechanisms of irregular wear on wheel and rail surfaces, *Vehicle System Dynamics*, 40(1–3), 3–54.
11. Esslinger V, Kieselbach R, Koller R and Weisse B (2004), The railway accident of Eschede — technical background, *Engineering Failure Analysis*, 11(4), 515–35.

## Моделирование образования трещин в материалах железнодорожного транспорта

Джаббаров Шухрат Батирович, кандидат технических наук, доцент;  
Мансуров Юлбарсхон Набиевич, доктор технических наук, профессор;  
Абдуллаев Бахром Актамович, кандидат технических наук, доцент;  
Иноятов Камолиддин Хусниддинович, старший преподаватель;  
Зафаров Диёр Шухратжон угли, ассистент;  
Музаффаров Фаррух Файзитдинович, ассистент;  
Рахматов Хамза Абдулхакимович, ассистент;  
Рахимов Рустам Вячеславович, доктор технических наук, доцент  
Ташкентский государственный транспортный университет (Узбекистан)

*Работа посвящена распространению длинных трещин (т.е. 2–3 мм и более) в рельсах. Здесь обсуждаются самые ранние стадии деформации материала и образования трещин. Термин «зарождение трещины» неоднозначен, но инспекторы рельсов могут не принимать во внимание трещину с длиной поверхности менее 2 мм; это соответствует глубине трещины около 0,5 мм. Чтобы модель предсказывала срок службы рельса, необходимо понять, как накапливаются пластические деформации и повреждения, и как микроструктура влияет на образование и распространение трещин в этой области вблизи поверхности.*

**Ключевые слова:** рельс, колесо, трещина, модель, исследование, цифровизация, рентген, изучение.

**В**ведение. Реакция материала на циклическую нагрузку. В общем, материал, подвергающийся многократному нагружению, может реагировать четырьмя способами (рис. 1). Если циклическое напряжение меньше предела упругости материала, то реакция будет чисто упругой, а разрушение, если таковое имеется, произойдет из-за многоциклового усталости. Если циклическое напряжение выше предела упругости, то будет иметь место некоторое пластическое течение, что приведет к образованию защитных остаточных напряжений, а также может вызвать деформационное упрочнение материала; если циклическое напряжение ниже «предела упругой приспособляемости», система будет приспособляться до состояния, в котором после нескольких циклов нагрузки реакция снова будет чисто упругой [1–10].

Если циклическое напряжение выше предела упругой приспособляемости, то система не будет приспособляться до чисто упругого состояния, и в каждом цикле будет происходить пластическая деформация. Для определенных циклов напряжения результирующая пластическая деформация может полностью

измениться, и в конечном итоге вероятен отказ из-за малоциклового усталости; такие замкнутые циклы пластической деформации возможны только ниже «предела пластической приспособляемости». Если цикл пластической деформации открыт, то после каждого цикла происходит чистое изменение пластической деформации. Направленное накопление пластической деформации называется «пластическим храповым механизмом», поэтому предел пластической приспособляемости также называют «порогом храпового механизма». В идеале система поезд–рельс и, в частности, материалы колеса и рельса должны быть спроектированы или выбраны таким образом, чтобы контакт колеса с рельсом проходил под напряжением ниже пределов упругой приспособляемости колеса и рельса.

**Моделирование эволюции микроструктуры. Результаты.** Направленное накопление пластической деформации изменяет микроструктуру материала рельса и колеса. Как правило, материал сильно деформируется в направлении напряжения сдвига в области контакта. очень близко к поверхности, нередки локальные деформации порядка 1000%.

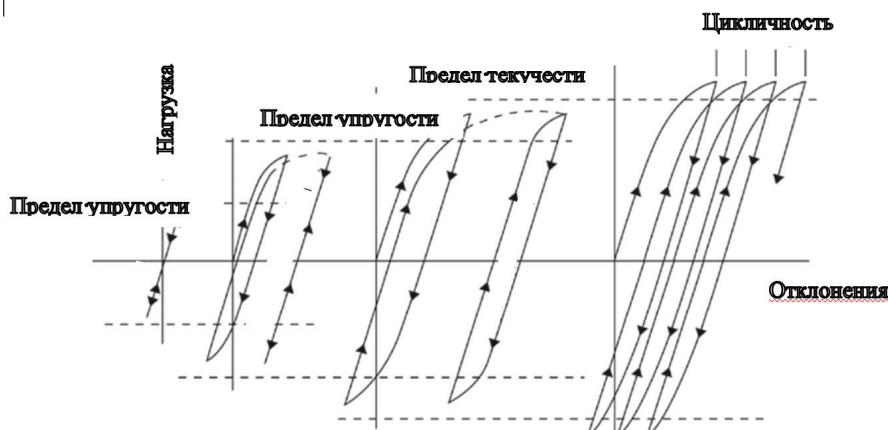


Рис. 1. Реакция материала на циклическую нагрузку

Результаты исследования с помощью рентгеновской аппаратуры (рентгенологическое исследование), компьютерной томографии большой (визуальной) трещины на изношенном рельсе, аналогичной показанной на рис. 2а, представлены на рис. 2 б.

Куб материала был извлечен вокруг трещины, а затем вращается перед сканированием, сфокусированным рентгеновским снимком. Трехмерное изображение было построено в цифровом виде (левое изображение на рис. 1б), которое затем можно «разрезать» в любой плоскости, чтобы исследовать особенности трещины.

Пластическая деформация упрочняет материал. Материал разрушается после накопления критической энергии деформации. Моделирование зарождения трещин и износа требует

реалистичного представления микроструктуры материала рельса, подвергая его действию переходных контактных напряжений колесо-рельс, определяя пластическую деформацию и возможное деформационное упрочнение, модификацию микроструктуры при каждом проходе нагрузки. Этот процесс необходимо повторять в течение миллионов проходов колеса. По мере того, как материал деформируется, он портится и выходит из строя, образуя частицы износа и вызывая трещины.

Популярным методом создания реалистичных случайных микроструктур (поликристаллов) в 2D или 3D заключается в использовании метода [11–16]. Периодический «единичный куб» микроструктуры показан на рис. 3.

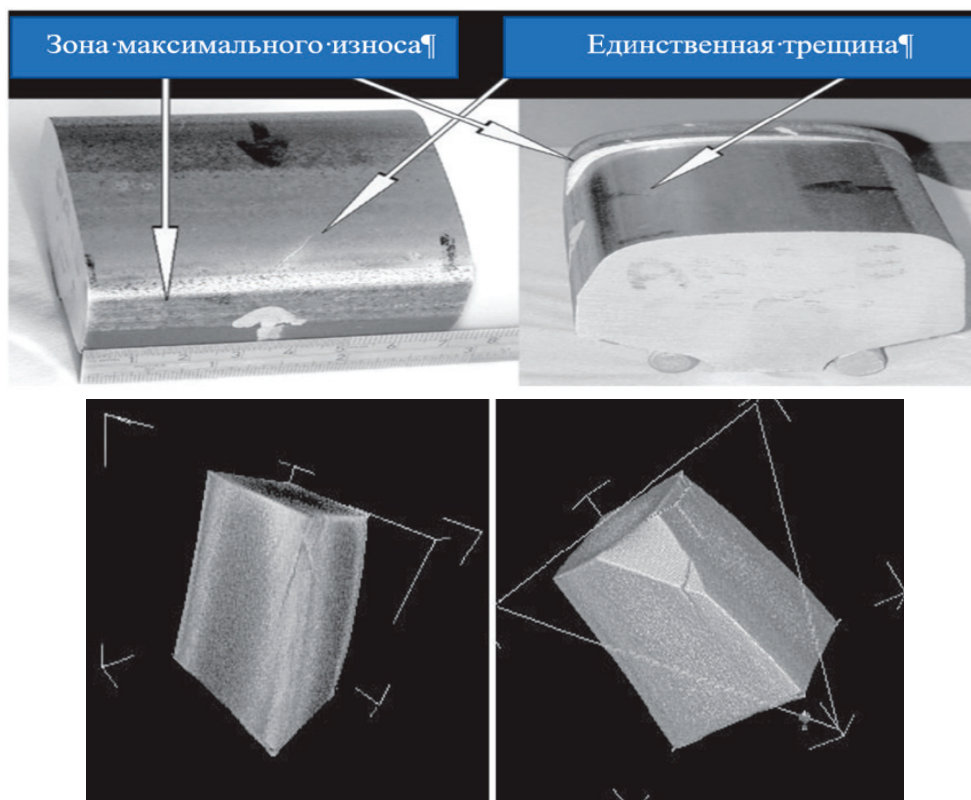


Рис. 2. Рентгенологическое исследование, компьютерная томография (б) трещины (а) на изношенном рельсе

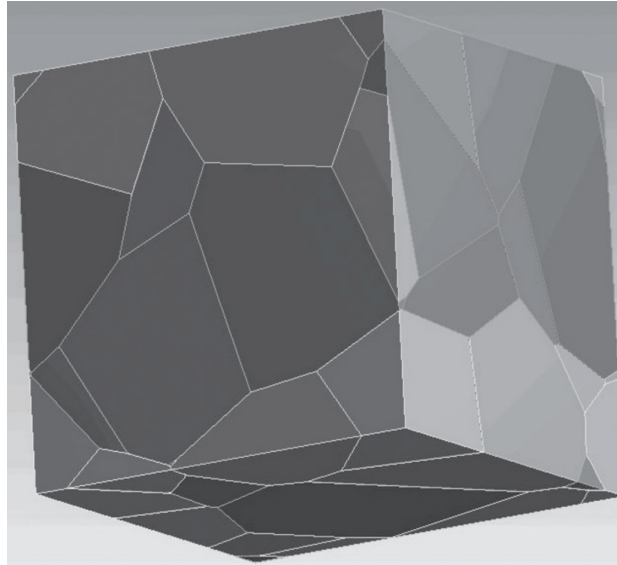


Рис. 3. Сгенерированный периодический «единичный куб» поликристаллической микроструктуры [11–14]

Изучали перлитную сталь с использованием этой методики. Контактные напряжения, определенные с использованием предположения об изотропности, не являются точными при моделировании мезоскопического напряжения внутри зерна. Важным соображением является влияние анизотропии зерен и различной ориентации перлита между и даже внутри зерен.

Поперечное сечение деформируемого материала, параллельное направлению тяги и, следовательно, направлению максимальной деформации, моделируется в виде сетки прямоугольных элементов; свойства материала присваиваются индивидуально элементам шаблона, представляющего микроструктуру стали. Свойства феррита и перлита в рельсовой стали были определены с помощью измерений нанотвердости, а шестиугольная структура перлитных «зерен» на границах зерен легко создается и конфигурируется (рис. 4).

Затем может быть применен ряд ортогональных распределений напряжения сдвига (либо 2D, как контакт двух дисков, либо 3D, как контакт колеса с рельсом), и смоделированная ми-

кроструктура накапливает пластическую деформацию сдвига до тех пор, пока элементы не достигнут предела своей пластичности и не начнут деформироваться до разрушения. Неисправные элементы на поверхности могут быть удалены как продукты износа; подповерхностные, они рассматриваются как места зарождения трещин или как материал, через который трещины будут распространяться быстро.

**Вместо выводов.** Направленное накопление пластической деформации сдвига проявляется в двух формах. В одном из краев контактной зоны выдавливаются тонкие полоски материала, что может привести, например, к «замятию» рельсов. Технически это износ, так как материал был удален из области контакта. При контакте колеса с рельсом номинальное контактное давление само по себе может быть достаточно большим, чтобы привести к храповику и вызвать рывки.

В другом варианте — пластическая деформация сдвига накапливается под поверхность. На рис. 5 показаны трещины в поперечном сечении рельса, соответствующие деформации

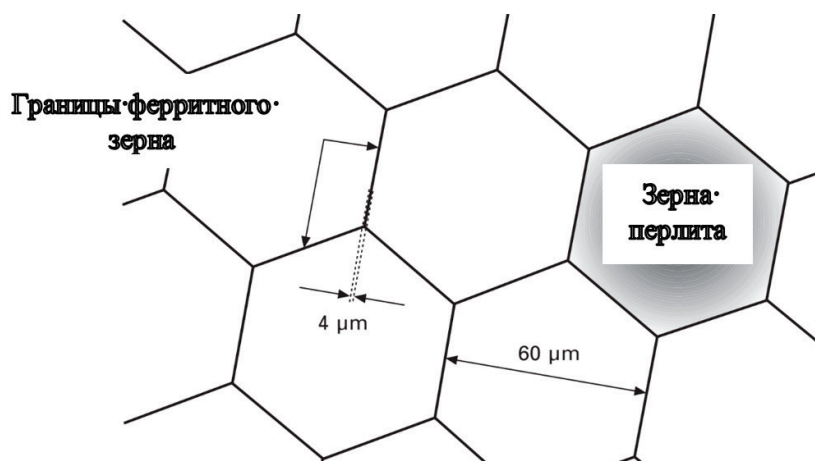


Рис. 4. Представление перлитной микроструктуры в виде гексагональных перлитных зерен, окруженных ферритом по границам зерен



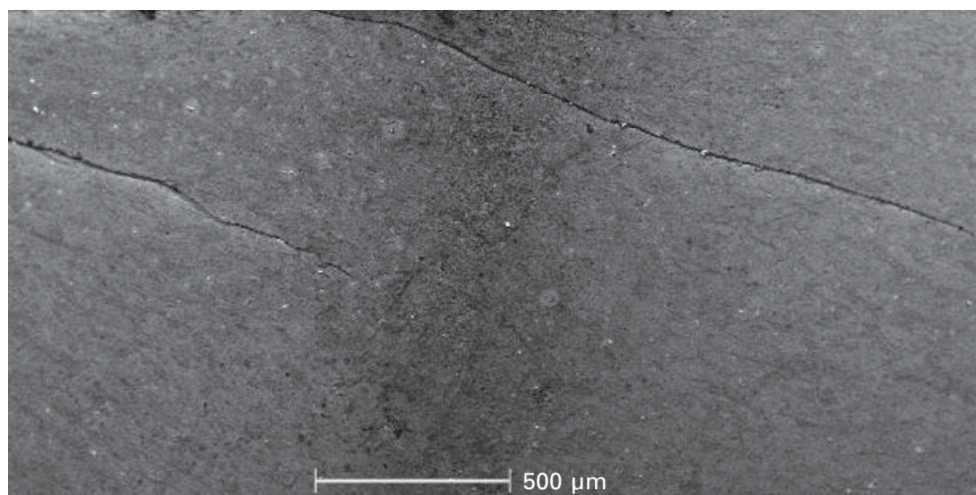


Рис. 5. СЭМ-изображение поперечного сечения рельса с двумя трещинами, способствующими пластическому срезу

пластического сдвига. Накопление деформации пластического сдвига приводит к износу и возникновению трещин, приводящих к разрушению.

Исследования изношенных рельсов и испытательных дисков (симуляция контакта рельсов) показали, что на возникновение и раннее распространение трещин сильно влияет микрострук-

тура материала. В результате моделирования установлено, что распространение трещины зависит от поля напряжений. Необходимо отметить, что процессы раннего зарождения и распространения трещин не могут быть полностью смоделированы в двух измерениях, учитывая зернистый характер формирующейся и конечной микроструктуры.

#### Литература:

1. Alwahdi, F., Franklin, F. J. and Kapoor, A. (2005), The effect of partial slip on the wear rate of rails, *Wear*, 258(7–8), 1031–37.
2. Barber, C. B., Dobkin, D. P. and Huhdanpaa, H. T. (1996), The Quickhull algorithm for convex hulls, *ACM Transactions on Mathematical Software*, 22(4), 469–83, [http:// www.qhull.org](http://www.qhull.org).
3. Baumann, G., Fecht, H. J. and Liebelt, S. (1996), Formation of white-etching layers on rail treads, *Wear*, 191, 133–40.
4. Beretta, S., Braghin, F., Bucca, G. and Desimone, H. (2005), Structural integrity analysis of a tram-way: load spectra and material damage, *Wear*, 258, 1255–64.
5. Bower, A. F. and Johnson, K. L. (1991), Plastic flow and shakedown of the rail surface in repeated wheel–rail contact, *Wear*, 144, 1–18.
6. Carroll R. I. and Beynon J. H. (2007a), Rolling contact fatigue of white etching layer: Part 1: Crack morphology, *Wear*, 262(9–10), 1253–66.
7. Carroll R. I. and Beynon J. H. (2007b), Rolling contact fatigue of white etching layer: Part 2. Numerical results, *Wear*, 262(9–10), 1267–73.
8. Clayton, P. and Su, X. (1996), Surface initiated fatigue of pearlitic and bainitic steels under water lubricated rolling/sliding contact, *Wear*, 200, 63–73.
9. Desimone, H., Beretta, S. and Kapoor, A. (2005), Rail life prediction for tramcars under full slip regime, *Proceedings 11th International Conference on Fracture*, Turin, Italy, 20–25 March, available at: [www.icf11.com/proceeding/EXTENDED/5422.pdf](http://www.icf11.com/proceeding/EXTENDED/5422.pdf), accessed March 2009.
10. Dyson, I. N., Williams, J. A. and Kapoor, A. (1999), The effect of surface hardening on the elastic shakedown of elliptical contacts, *Proceedings of the IMechE: Part J, Journal of Engineering Tribology*, 213, 287–98.
11. Eden, H. C., Garnham, J. E. and Davis, C. L. (2005), Influential microstructural changes on rolling contact fatigue crack initiation in pearlitic rail steels, *Materials Science and Technology*, 21(6), 623–9.
12. Ekberg, A. and Sotkovszki, P. (2001), Anisotropy and rolling contact fatigue of railway wheels, *International Journal of Fatigue*, 23, 29–43.
13. Ertz, M. and Knothe, K. (2002), A comparison of analytical and numerical methods for the calculation of temperatures in wheel/rail contact, *Wear*, 253, 498–508.
14. Fischer, F. D., Werner, E. and Yan, W.-Y. (1997), Thermal stresses for frictional contact in wheel-rail systems, *Wear*, 211, 156–63.
15. Fleck, N. A., Kang, K. J. and Ashby M. F. (1994), The cyclic properties of engineering materials, *Acta Metallurgy and Materials*, 42, 365–81.
16. Fletcher, D. I. and Beynon, J. H. (1998), The influence of lubricant type on rolling contact fatigue of pearlitic rail steel, in Dowson, D., Priest M., Taylor, A., Ehret, P.



## Возникновение удара при спускоподъемных операциях в скважине

Джавадов Эшгин Рафик оглы, студент магистратуры  
Научный руководитель: Сулейманов Эльдар Мамед оглы, профессор  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку)

*В статье рассмотрен механизм возникновения газового удара при спускоподъемных работах. Проведено исследование причин и условий возникновения такой ситуации. Исследованы работы ряда ученых и инженеров. Показаны возможности использования системы управляемого давления.*

**Ключевые слова:** скважины с большим отклонением, спуск колонн, коэффициент трения, открытый ствол, закрытый ствол, устойчивость ствола.

## Occurrence of kick while tripping operation in the well

Javadov Eshgin Rafiq ogly, student master's degree  
Scientific adviser: Suleymanov Eldar Mammad ogly, professor  
Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku)

*The article considers the mechanism of occurrence of gas shock during hoisting operations. A study was made of the causes and conditions for the occurrence of such a situation. The works of a number of scientists and engineers have been studied. The possibilities of using a controlled pressure system are shown.*

**Keywords:** abnormally high pressure, well control, mathematical model, hydrodynamic pressure, managed pressure drilling.

Пласты с аномально высоким давлением представляют значительный эксплуатационный риск для процесса бурения.

При подъеме из скважины бурильная колонна ускоряется вверх до максимальной скорости, а затем ее поднимают с постоянной скоростью. Жидкость в кольцевом пространстве вынуждена вызывать давление колебания. Два механизма доминируют в возникновении удара во время спускоподъемных операций. Во-первых, забойное давление может стать ниже давления точки насыщения, в результате чего растворенный газ вырывается из раствора, вызывая внезапное снижение забойного давления. Вторая причина, что последовал приток жидкости в скважину из пласта.

Несколько факторов от которых будет зависеть возникновение удара: от скорости спуска, типа пластовой жидкости, проницаемости пласта, открытой/закрытой трубы, конфигурации и кольцевой площади поперечного сечения.

Боде и др. (1991) рассматривали методы контроля скважин в практике малого диаметра скважины. Они отметили, что обнаружение удара в стволе малого диаметра легче, чем в скважинах с большим диаметром, из-за меньших пропускных способностей кольцевого пространства. Штейн и др. (1996) выполнили 36 экспериментов по контролю скважины со стволом малого диаметра в наклонной исследовательской скважине для проверки сценариев выброса газа. Они зафиксировали скачкообразное давление с использованием воды и бурового раствора с помощью датчиков внутрискважинного давления. В тонких скважинах остановка вращения трубы также становится критическим параметром, определяющим результирующий размер выброса.

Эрге и др. (2014а, 2014б, 2015) представили математические модели для оценивания влияния эффекта вращения.

Еще одной возможной причиной колебаний давления из-за сваба и пульсации является качка. Это отмечали Чандрасекар и др. (2013). Компенсаторы качки предназначены практически минимизировать этот эффект. Кайе и др. (2010) описывали влияние лебедки и верхнего привода в управлении забойным всплеском давления.

Гидродинамическое давление, создаваемое бурильной колонной, в некоторых случаях вызывает давление, которое превышает градиент давления разрыва, что приводит к серьезным потерям, которые могут вызвать выброс из-за резкого снижения уровня жидкости в скважине. Определение точной глубины зоны потерь обычно трудно оценить, если во время бурения не проводились частые измерения.

Чен и др. (2014а, 2014б, 2014с) представили модели для локализации зоны поглощения в гидравлически сложных пластах. Рудольф и др. (1998) исследовал удар, вызванный при комбинации высокой температуры, а также высокой скорости спуска-подъема.

Налипание на долото является одним из факторов, вызывающих усиление пульсаций и давлений. Несколько авторов обратили внимание на проблему комкования, а также на проблему в сланцевых резервуарах (Уэллс и др., 2008; Рой, С., 1993).

Точная оценка давления играет решающую роль. Большинство инструментов для измерения забойного давления требуют поддержания циркуляции, а давление прогнозируется на основе предварительно проверенных данных и математических моделей.

Несколько авторов опубликовали математические модели и экспериментальные данные для их проверки. Самуэль и др. (2003) представили данные, указывающие на давление от 500 кПа до 900 кПа. Вагнер и др. (1993) отмечали измеренное дав-

ление 650кПа к 830 кПа при средней скорости 0,5 м/с. Рэмси и др. (1983) представили данные MWD из скважины глубиной 3644 м с буровым раствором 1132 кг/м<sup>3</sup>. Самуэль и др. (2001) опубликовали данные из скважин Аляски и Северного моря, подтверждая динамичный характер модели удара.

Лал (1983) представил динамическую модель помпажа и сваба для прогнозирования забойного давления. Креспо и др. (2010) представили аналитическую модель для прогнозирования скачков давления в концентрическом кольцевом пространстве для жидкостей со степенным законом текучести. Чин и др. (2011) представили обширные расчетные методы для анализа.

В последние годы внедрение бурения с регулируемым давлением (MPD) сыграло решающую роль в поддержании постоянного давления.

MPD обеспечивает точный поток измерения во время спуско-подъемных работ. Производит расчеты, а также позволяет

рано обнаружить удар путем непрерывного мониторинга обратного потока с помощью расходомера Кориолиса через замкнутую систему циркуляции.

Киник и др. (2014b) представили тематическое исследование, в котором автоматизированная MPD система обнаружила газовый приток во время бурения. Карими Ваджаргах и другие (2014) обсудили принятие решений по управлению скважиной во время операций MPD. Мэнцзяо и др. (2013) динамичный контроль во время бурения с MPD.

Кроме того, во время аварийно-спасательных операций гидравлические дроссели с программируемым логическим управлением, подключенные к расходомерам, позволяют поддерживать поверхностное противодавление (SBP) для компенсации давления, создаваемого при поднятии буровой колонны. Система позволяет немедленно реагировать на выброс, сводит к минимуму размер выброса и обеспечивает циркуляцию выброса без необходимости закрытия скважины.

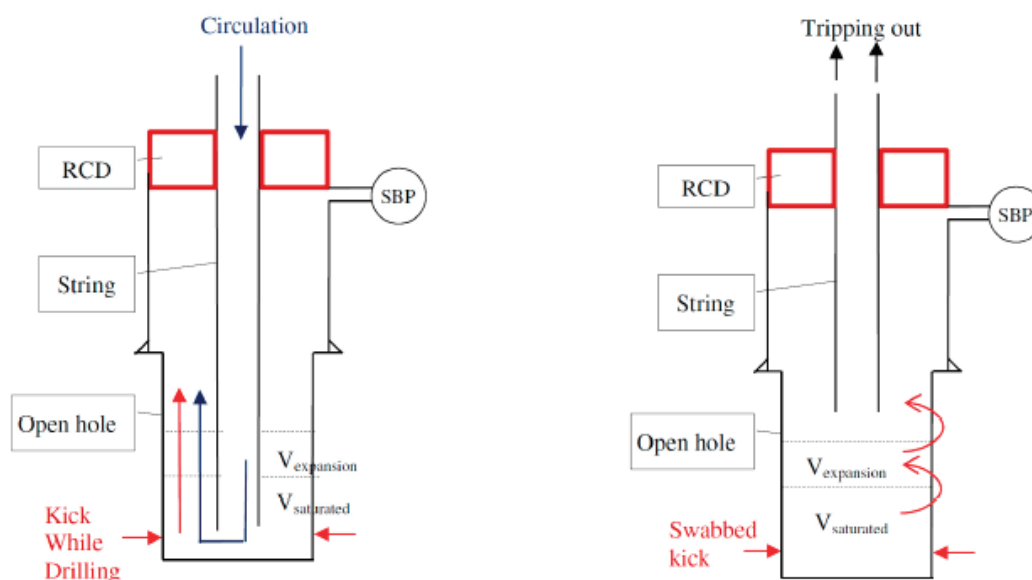


Рис. 1. Поведение газового удара в буровом растворе при бурении и спускоподъемных работах (Маммадов и др.)

На рис. 1 показано поведение газового выброса, полученного во время бурения, и при свабировании.

Механизм удара при свабировании имеет несколько характерных отличий по сравнению с ударом во время бурения. В первом гидростатическое давление столба бурового раствора больше, чем поровое давление. Во втором газ смешивается с буровым раствором ниже буровой колонны.

### Выводы

Исследование публикаций продемонстрировало необходимость тщательного рассмотрения и предварительного планирования буровых работ там, где вариации порового давления и давления гидроразрыва находятся в состоянии неопределенности. Обычных методов бурения и оборудования будет недостаточным при работе со сложными параметрами неопреде-

ленности в давление в переходных зонах, высокая плотность раствора, а также высокая вязкость, факторы трения и т.п.

Можно утверждать, что более активный подход к развертыванию MPD предотвратит многие проблемы, возникающие при бурении и спускоподъемных работах. Система MPD обеспечивает выполнение динамического исследования и предоставляет необходимые данные для быстрой корректировки параметров циркулирующей жидкости. Этот данные также полезны при расчете требуемой скорости движения и управляющего давления для облегчения отрицательного последствия удара. Для этих целей доступно соответствующее программное обеспечение.

Что касается параметров, связанных с растворимостью газа, тепловым влиянием на плотность и прорыв газа, их можно более тщательно отслеживать и контролировать с помощью системы с замкнутым контуром и программного обеспечения, а также мониторинга.

## Литература:

1. Bode, D.J., Noffke, R.B., et al. «Well-Control Methods and Practices in Small Diameter Wellbores», SPE-19526-PA, Journal of Petroleum Technology, 1991.
2. Cayeux, E., Daireaux, B., et al. «Automation of Drawworks and Topdrive Management to Minimize Swab/Surge and Poor Downhole Condition Effects», 2010 IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition held in New Orleans, Louisiana, USA 2–4 Feb 2010.
3. Chen, Y., Yu, M., Miska, S., Ozbayoglu, M., Kang, Y., Zhou, S., & Al-khanferi Nasser, M. 2014 «Modeling Transient Circulating Mud Temperature in the Event of Lost Circulation and its Application in Locating Loss Zones». 33th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, San Francisco, California, USA, 8–11 Jun. OMAE2014–23590
4. Chin, W., Zhuang, X. «Gas volumes will generally be greater in sand than in clay because of the generally greater permeability». OTC21115, Houston, TX 2011
5. Crespo, F., Ahmed, R., «Surge and Swab Pressure Predictions for Yield Power Law Drilling Fluids», SPE Latin American & Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Lima, Peru, 1–3 Dec 2010.
6. Erge, O., Ozbayoglu, E.M., Miska, S.Z., Yu, M., Takach, N., Saasen, A., May, R., «Effect of Drillstring Deflection and Rotary Speed on Annular Frictional Pressure Losses», Journal of Energy Resources Technology, 136, 042909, (2014); doi:10.1115/1.402756
7. Kinik, K., Wojtanowicz, A.K., «Identifying Environmental Risk of Sustained Casing Pressure» SPE Americas E&P Health, Safety, Security, and Environmental Conference, 21–23 March, 2011, Houston, Texas, USA (SPE-143713-MS)
8. Mammadov, E., Kinik, K., Ameen Rostami, S., & Sephton, S. (2015). Case Study of Managed Pressure Tripping Operation through Abnormal Formations in West Canadian Sedimentary Basin. SPE Western Regional Meeting. doi:10.2118/174073-ms
9. Mengjiao, Y., Vajargah Karimi, A. et al. «Taking the Proper Action to Gas Influx during Constant Bottom-Hole Pressure Technique of Managed Pressure Drilling», 24189-MS OTC Conference Paper-2013
10. Ramsey, M.S. et al.: «Bit Hydraulics: Net Pressure Drops Are Lower Than You Think», World Oil (Oct. 1983) 65–67.
11. Roy, S., Cooper, G.A., «Prevention of Bit Balling in Sahels: Some Preliminary Results», SPE23870 PA, SPE Drilling and Completion, Volume 8, Issue 03, September 1993.
12. Rudolf, R.L., Suryanarayana, P. R. V., «Field Validation of Swab Effects While Tripping-in the Hole on Deep, High Temperature Wells», IADC/SPE Drilling Conference held in Dallas, Texas 3–6 March 1998.
13. Samuel, G.R., Sunthankar, A., McColpin, G., Bern, P. and Flynn, T. (2003), «Field validation of transient swab-surge response with real time downhole pressure data», 85109-PA SPE Journal Paper
14. Steine, O.G., Rommetveit, R. et al. «Well Control Experiments related to Slim Hole Drilling». IADC/SPE35121, IADC/SPE Drilling Conference held in New Orleans, Louisiana, 12–15 March 1996.
15. Vajargah Karimi, A., Buranaj Hoxha, B. et al. «Automated Well Control Decision-Making during Managed Pressure Drilling Operations» SPE Deepwater Drilling and Completions Conference, 10–11 September, Galveston, Texas, USA, 2014
16. Wagner, R.R., Halal, A.S. and Goodman, M.A. (1993), «Surge field tests highlight dynamic fluid response», SPE/IADC25771, pp. 883–892.
17. Wells, M., Marvel, T. et al. «Bit Balling Mitigation in PDC Bit Design», SPE114673 MS, IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, 25–27 November, Jakarta, Indonesia, 2008

## Проблемы безопасности расположения базовых станций в жилых районах

Долгов Егор Николаевич, студент

Научный руководитель: Коваленко Роман Андреевич, старший преподаватель

Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения

*В статье рассматривается электромагнитное излучение со стороны антенн базовых станций, технологические решения антенн, влияющие на излучение и регулирование его предельных уровней воздействия в РФ.*

**Ключевые слова:** базовые станции, электромагнитное излучение.

С развитием техники растёт потребность в ней и соответственно в связи. Каждый оператор хочет покрывать станциями максимальную территорию, в домах появляются умные устройства, требующие объединения в единую сеть или постоянного подключения к интернету. В труднодоступных местах появляются различные усилители сигналов и репитеры. Всё это одновременно создает большое количество различных полей, что создает вопросы о влиянии на здоровье у людей. В итоге мы имеем проблему безопасного и эффективного расположения базовых станций, роутеров и т.д. в районах застройки.

Особенностью размещения базовых станций в жилых районах в нашей стране являются крайне строгие ограничения по излучаемой энергии, а именно СанПиН 2.1.8/2.2.4.

В диапазоне частот 30 кГц — 300 МГц — по значениям напряженности электрического поля (E) в В/м; а в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц — по средним значениям плотности потока энергии (ППЭ), в мкВт/см<sup>2</sup>.

Воздействие на людей оценивается по энергетической экспозиции электрического поля (ЭЭ<sub>E</sub>), напряженности магнитного поля (ЭЭ<sub>H</sub>) для низких частот и плотности потока энергии (ЭЭ<sub>ППЭ</sub>) для мобильных базовых станций. Все они не должны превышать установленных предельно допустимых уровней (ПДУ) с учетом переотражения.

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 30 кГц — 300 МГц рассчитывается по формуле:

$$\text{ЭЭ}_E = E^2 * t_{\text{часов}} \left[ \left( \frac{B}{M} \right)^2 * \mu \right], \text{ЭЭ}_H = H^2 * t_{\text{часов}} \left[ \left( \frac{A}{M} \right)^2 * \mu \right],$$

в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц для не круговых:

$$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ} * t_{\text{часов}} \left[ \frac{Вт}{\text{см}^2} * \mu \right],$$

где E — напряженность электрического поля, а H — напряженность магнитного поля.

Первый диапазон распределен за различными службами и международным вещанием, на базовых станциях (мобильные операторы, радио, TV, Wi-Fi) используется второй диапазон поэтому дальше речь будет преимущественно о нем. Станции работают круглосуточно поэтому энергию считают просто в Вт.

Если источников, покрывающих на зону несколько, например, вышки разных операторов, то общие E и ППЭ должны удовлетворять соотношениям,

С одинаковыми ПДУ:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2} \leq E_{\text{ПДУ}},$$

$$\sum_{i=1}^n \text{ППЭ}_i \leq \text{ППЭ}_{\text{ПДУ}}.$$

Для n количества диапазонов с разными ПДУ:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{E_{\text{сумм}}}{E_{\text{ПДУ}}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{ППЭ}_{\text{сумм}}}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}}} \right) \leq 1.$$

Когда известна излучаемая энергия для всех источников это значение можно сопоставить с значениями из СанПиН 2.1.8/2.2.4 (таблица 1).

Таблица 1. Предельно допустимые уровни ЭМП диапазона частот 30 кГц — 300 ГГц для населения

Диапазон	30 кГц — 300 кГц	300 кГц — 3 МГц	3 МГц — 30 МГц	30 МГц — 300 МГц	300 МГц — 300 ГГц
ПДУ	25	15	10	3	10 25(круговые)

Свой вклад в изменение излучаемой энергии вносят применяемые технологические решения. Во-первых, на излучаемую энергию влияет диаграмма направленности антенны, которая зависит от её типа: турникетная, антенна Вивальди, штыревые, фазированные решетки, патч-антенны, рефлекторные решетки, антенна-пушка, параболические. Они различаются по форме диаграммам направленности и характеристикам и применяются каждая в своей области.

Разработка антенн сводится к созданию диаграммы направленности в зависимости, от которых они делятся на узконаправленные и широконаправленные.

Узконаправленные антенны применяют для увеличения дальности и имеют один выраженный основной лепесток, и побочные лепестки, имеющие отрицательное влияние. Широконаправленные антенны имеют хотя бы в одной плоскости диаграмму направленности, приближенную к круговой. Они находят применение, например, в телерадиовещании.

В базовых станциях для общения между станциями применяются параболические антенны, они используются операторами для управления станцией. Для передачи данных между абонентами применяются системы из нескольких секторных ММО антенн.

В микрорайонах могут применяться патч-антенны, очевидное преимущество которых — это размер и энергопотребление поэтому именно они применяются в районах плотной жилой застройки, где не разрешены мощные антенны.

Секторная антенна — это фазированная антенная решетка, её элементы часто дополнительно усиливают директорными системами (рисунок 3), самый простой пример — патч-антенна элементы которой это разновидность щелевой антенны.

Примером использования слабонаправленных излучателей можно назвать антенны базовых станций GSM-стандарта, где в качестве излучателей используются патч-антенны. В качестве излучателей антенн LTE-стандарта используются диполи и монополи.

Особенность ФАР возможность поворачивать главный лепесток излучения или менять форму диаграммы направленности, из-за того, что лепестки активных ФАР формируются посредством интерференции волн от всех элементов. Общая тенденция в их производстве — это миниатюризация элементов и рост их количества это ведет к уменьшению боковых лепестков, потребляемой и излучаемой энергии, что благоприятно сказывается на их безопасности.

Во-вторых, немаловажным моментом, влияющим на излучаемую энергию, являются материал и качество изготовления антенны. Оба эти параметра влияют на коэффициент стоячей волны антенны (КСВ), это важно так как антенна с слишком высоким КСВ не только не обеспечивает хорошей связи, но и может нести повышенный вред. Так как при плохом уровне сигнала антенна начинает увеличивать свою мощность, например, при использовании GSM 900 максимум до 2 Вт (средняя при разговоре 0.25–0.5 Вт).

На качество связи в труднодоступных местах могут влиять репитеры, а именно улучшать. Но если они не сертифицированы, то сильно забивают эфир, из-за этого падает уровень сигнала вокруг, а излучаемая энергия антенн телефонов сильно возрастает.

Идеальным считается КСВ равный 1.1, но он не должен превышать 3 когда идет потеря 25% полезной нагрузки, свыше 5 антенна считается неисправной. Зависимость КПД антенны от КСВ представлена в таблице 2.

Таблица 2. Таблица зависимости КПД антенны от её КСВ

КСВ антенны	Потери мощности (%)	КПД (%)
1.1	0.23	99.77
1.5	4	96
2	11.1	88.9
2.5	19.8	80.2
3	25	75
3.5	30.9	69.1
4	36	64
5	44.4	55.6
7	56.3	43.7
10	67	33

Именно поэтому при производстве элементов применяется медь с местным серебрением или золочением, омедненный алюминий. В дешевых антеннах применяется оцинкованная сталь. На КСВ также сильно влияет согласованность элементов, а именно на диаграмму направленности и т.д. Так как диапазоны операторов расположены очень близко, то антенны имеют инструменты тонкой настройки и сами хорошо защищены от внешних воздействий.

В-третьих, на излучаемую энергию влияет стандарт работы. Например, максимальная мощность излучения: 0.2Вт для LTE (4G), 0.25Вт для UMTS (3G), 1Вт для GSM 1800 (3G) и 2Вт для GSM 900 (3G) (средняя при разговоре 0.25Вт).

В-четвертых, на излучаемую энергию влияет расстояние до базовой станции (рис. 1).

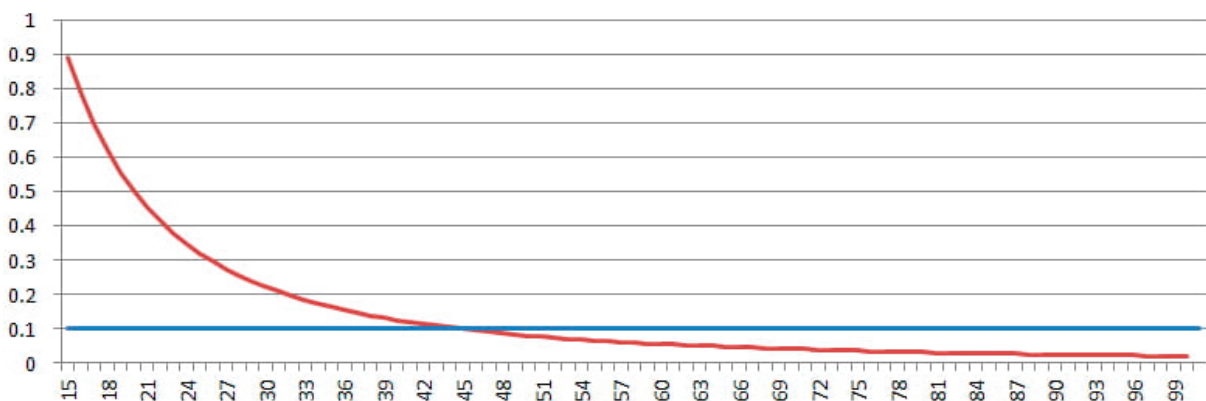


Рис. 1. График зависимости ППЭ от расстояния до типовой базовой станции



Как известно напряженность поля снижается пропорционально квадрату расстояния. Следовательно, как можно видеть из графика безопасное расстояние до базовой станции около 45 метров. Антенны обычно устанавливаются на вышках высотой 29–50 м. Радиус действия базовой станции регулируется ГКРЧ от 8.09.2011 г. № 11–12–03–2. Так радиус действия равен 0.5 км в городах с населением 1 млн человек, 3–5 км в городах с населением свыше 250 тыс. человек (GSM 1800), 10 км меньше 250 тыс. человек, до 20–30 км (GSM 900) на территориях с низкой плотностью.

При установке на крыше в жилых районах антенны ставятся на высоту более 3 метров, доступ на крышу блокируется. Выделения технической территории вокруг здания не требуется. При этом они должны располагаться на расстоянии не менее 7 метров до ближайшего строения и 2 метров от края стен при соблюдении одного из следующих условий:

- наличие железобетонного перекрытия верхнего этажа;
- наличие металлической кровли или покрытия технической территории ПРТО экранирующим металлическим листом;
- наличие технического этажа.

Судьба 5G в России неопределённая так как до конца не определен их частотный диапазон, но они пилотно внедряются оператором МТС в крупных городах на 4 ГГц.

В заключении можно подытожить, что антенны базовых станций достаточно безопасны при условии, что они высокого качества, правильно установлены и используют современные стандарты.

#### Литература:

1. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383–03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов (с изменениями от 19.12.2007 г.)
2. Пудовкин, А. П. Основы теории антенн: учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков; А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Тамбовский гос. технический ун-т». — Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. — 92 с. — ISBN978–5–8265–0981–4. — EDN QMVYOR.
3. Воскресенский, Д. И. Антенны и устройства СВЧ: учебник. — 2-е изд. / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарёв // Москва: Радиотехника, 2006. — 376 с. — ISBN5–88070–086–0.
4. Hamdy, M. N. An introduction to LTE Smart base station antennas. Mobility Network Engineering. — 2018.
5. Нечаев, Ю. Б. Алгоритмы диаграммообразования адаптивных антенных решеток в условиях многолучевого распространения радиоволн / Ю. Б. Нечаев, Д. Н. Борисов, И. В. Пешков // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. — 2012. — № 1(120). — С. 194–202. — EDN QZKLGБ

## Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах

Лисовенко Дмитрий Васильевич, аспирант  
Ростовский государственный университет путей сообщения

Козлова Анна Владимировна, студент

Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического института (НПИ) имени М. И. Платова (Ростовская обл.)

*В статье представлены результаты анализа грузопотоков и вагонопотоков в производственных транспортных системах металлургических предприятий. Предложены система и методы управления вагонопотоками в промышленных транспортных системах, основанные на использовании принципов логистики.*

**Ключевые слова:** промышленная транспортная система, вагонопотоки, логистика, методы, информационные технологий.

## Management of car flow in industrial transport systems

Lisovenko Dmitry Vasilyevich, graduate student  
Rostov State Transport University (Rostov-on-don)

Kozlova Anna Vladimirovna, student

Shakhty Road Institute (branch) of the Platov South-Russian State Polytechnic Institute (NPI) (Mine)

*The article discusses aspects of the application of methods of mathematical modeling of the process of train movement using traction calculations.*

**Keywords:** traction calculations of train traffic, mathematical modeling, sea trials, cost reduction.

Наиболее продуктивный метод оказания транспортных услуг базируется на осуществлении основ логистики, таким образом дает возможность установить оптимальные параметры всех логистических принципов, так как позволяет определить оптимальные параметры всех логистических потоков между всеми участниками логистической цепи во взаимосвязи и обеспечить соблюдение этих параметров в процессе осуществления перевозок грузов внутри системы. Необходимо также брать во внимание отношения в цепочке поставок, а также предоставление соблюдения установленных показателей при перевозке грузов. Но осуществление этого подхода замедляется неимением результативных координационных моделей взаимодействия соучастников современного логистического процесса.

В трудах [1, 2] установлено, что все без исключения разновидности общего, а также необщего транспорта не в полной мере составляют организованное единство. Территориальное координирование транспорта, включая координирование транспортного обслуживания, а также применяемый предприятиями метод транспортного сервиса начали несоответ-

ственно сопоставляться вместе с современной организацией процесса производства, что приводит к повышению цен на транспортные услуги в себестоимости продукта. Итоговый ежегодный убыток при современной концепции организации работы индустриального транспорта, содержащей десятки промышленных станций, обрабатывающих 2–3 тыс. вагонов в день, составляют 70–80 миллионов руб. в год, либо более 20% совокупных расходов, связанных вместе с оборотом вагонов [2, 3].

Увеличение времени оборачиваемости вагонов считается итогом не столько повышения задержки при обработке вагонов на сортировочных станциях из-за высокой загруженности компонентов путевого развития, а также недостаточном обеспечении локомотивами. В большей степени это происходит по причине низкого контроля, а также неразумного управления перемещением потоков вагонов, в частности, неудовлетворительной согласованности решений по формированию поездов и передач их на станции. Данные аспекты маневровой работы приводят к повышению доли времени, затрачиваемого на перемещение вагонов в составах поездов, в отсутствие учета загруженности сортировочных станций.

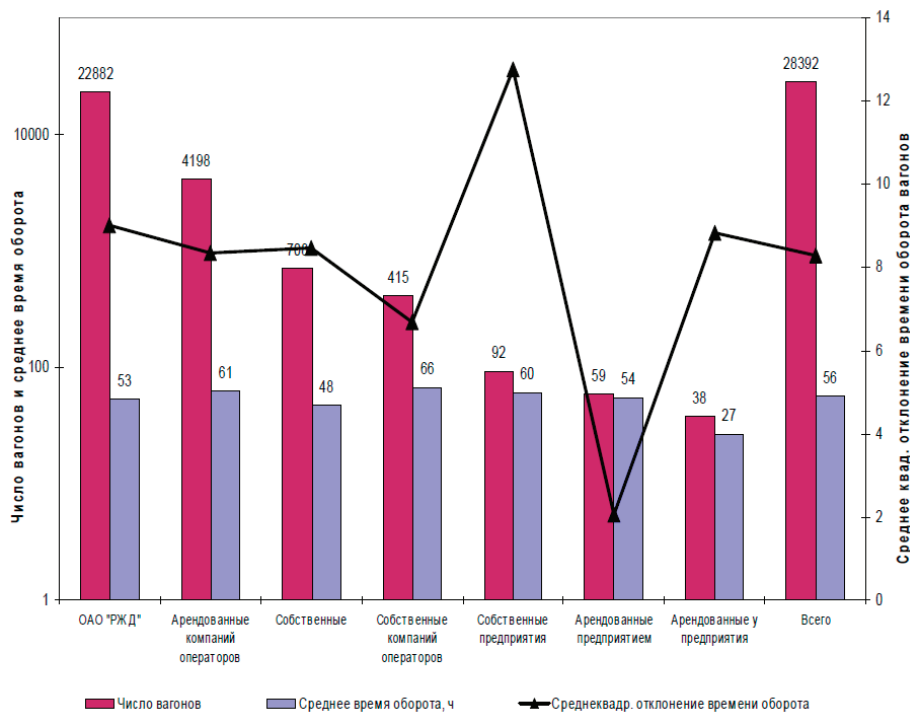


Рис. 1. Результаты анализа статистических характеристик времени оборота вагонов по форме собственности подвижного состава

Детализация причин и технологических последствий задержек обработки вагонопотоков в ПТС ряда крупных металлургических предприятий позволила выделить следующие критические с точки зрения снижения эффективности объекты управления:

1. Продвижение вагонов по маршрутам, в том числе по сортировочным железнодорожным станциям с низким запасом

пропускной и перерабатывающей способности, увеличивает время оборота вагонов.

2. Потоки порожних вагонов, которые не проходили грузовые процедуры на станции. Присутствие существенных размеров грузоперевозок, а также недостаточный контроль порожних вагонов, прибывающих на сети, которые отбывают порожними в составе поездов, т.е. появление вторых порожних рейсов.

3. Вагонопотоки характеризуются существенной неравномерностью как по мощности, так и по периоду полного оборота на сети. Руководство подобными нестандартными вагонопотоками потребует использования нестандартных управленческих решений, которые вносят исправления в стандартные технологические процессы, которые при нехватке информативного предоставления а также согласованности в труде диспетчеров приводят к еще наибольшему повышению отклонений характеристик подобных потоков от оптимальных эксплуатационных показателей, и как следствие, к колебаниям значений пропускной возможности, а также запасов перерабатывающих мощностей.

4. Организация движения вагонопотоков в месте присоединения станции к главному железнодорожному ходу. Расхождение между подачей вагонов, товаров на производственные объекты, а также оперативной необходимостью в них приводит к приостановкам единичных струй вагонопотоков на транзитных станциях.

В целях увеличения производительности управления грузо- а также вагонопотоками предполагается пакет управляющих воздействий, нацеленных на предотвращение факторов перерасходов, а также заминок при обработке грузо- а также вагонопотоков на станциях. (табл. 1).

Таблица 1. Система мероприятий по повышению эффективности управления грузо- и вагонопотоками в промышленных транспортных системах

Группа мероприятий	Мероприятие	Устраняемое ограничение	Основная причина возникновения ограничения	Ориентировочные потери в результате действия ограничения, тыс. руб./мес	Логистические методы управления вагонопотоками в ПТС
Полностью устраняемые ограничения	Согласованный подвод вагонов в адрес предприятия	Простои вагонов на полигоне примыкания ПТС к магистральному железнодорожному транспорту	Недостаточное взаимодействие между железнодорожным транспортом предприятия и ОАО «РЖД» по управлению вагонопотоками на полигоне примыкания	1500-2500	Реализация метода контроля вагонопотоков на полигоне взаимодействия ПТС с сетью железных дорог общего пользования
	Контроль маршрутов движения порожних вагонов в ПТС	Маршруты движения порожних вагонов без грузовых операций в ПТС	Отсутствие контроля использования порожних вагонов в ПТС	300-700	Реализация метода контроля порожних вагонопотоков в ПТС
Минимизируемые ограничения	Управление маршрутами движения вагонов с учетом оперативного уровня загруженности железнодорожных станций	Движение вагонов по нерациональным маршрутам	Рассогласованность действий маневровых диспетчеров на технологических железнодорожных станциях ПТС	1800-2600	Реализация метода информационного представления системы вагонопотоков как объекта управления, а также метода оценки резервов пропускной и перерабатывающей способности промышленных станций на основе теории нечетких множеств
	Контроль вагонопотоков по отдельным грузам	Неравномерность параметров вагонопотоков и загрузки железнодорожных станций	Недостаточный контроль параметров вагонопотоков, а также высокая неравномерность параметров вагонопотоков	1000-1500	Реализация метода контроля статистических параметров системы вагонопотоков

Продемонстрированная в таблице 1 концепция мероприятий, направленная на устранение ограничений в организации работы транспорта согласно графику эксплуатации пути наиболее эффективна при совместном применении всех перечисленных мероприятий, т.е. проявляется синергический эффект. Концепция управления перемещением вагонов с применением логистических принципов, сформированная в следствии осуществлении данных мероприятий, подразумевает не только лишь замену предмета управления начиная с единичных станций, а также вагонов на вагонопотоки, а также их маршруты, однако также увеличение уровня производительности, степени доскональности в рассмотрении сведений, подобранных информационными системами станций.

Наиболее трудным, а также расходным событием считается введение концепции своевременного расчета оптимальных маршрутов перемещения вагонов на базе оценки нынешнего уровня, а также мониторинга наиболее эффективного использования пропускной и перерабатывающей мощностей железнодорожных станций. Главным оценивающим инструментом для оценки и моделирования считаются моделирующие принципы построения работы железнодорожного транспорта. [4,5].

В качестве инструмента, лежащего в базе осуществления работы, представляет созданная концепция способов управления транспортными струями на станциях, базирующаяся на логистических принципах и применении нынешних достижений информационных технологий. Применение логистических

основ управления вагонопотоками обуславливается тем, что предметами управления считаются никак не единичные промышленные железнодорожные станции, а вещественные струи (вагоно-грузопотоки) а также информативные струи (своевременные сведения о степени загруженности компонентов железнодорожной инфраструктуры, характеристики вагонопотоков и оперативные регулирующие воздействия).

Сокращенное представление логистических способов управления вагонопотоками и итог их применения представлены в табл. 2. Представленную концепцию способов управления предполагается применять в качестве информативной базы при создании концепции управления перемещением ва-

гонов в промышленных предприятиях транспортных цепочек.

Осуществление предлагаемых способов даст возможность уменьшить расходы на станции [3], сопряженные вместе с:

- движением вагонов по нерациональным маршрутам, в среднем, на 35–40%
- наличием маршрутов движения порожних вагонов без грузовых операций на 5–10%;
- начительная скачкообразность характеристик вагонопотока а также степени использования пропускной а также перерабатывающей мощностей промышленных железнодорожных станций на 20%.

Таблица 2. Система логистических методов управления вагонопотоками в ПТС

№	Название метода	Сущность метода	Объект контроля в ПТС	Результат реализации метода
1	Метод информационного представления системы вагонопотоков как объекта управления ПТС	Выборка из базы данных информации о вагонах, находящихся на территории предприятия, с последующей группировкой вагонов, имеющих совпадения маршрутов движения и моментов нахождения на технологических станциях ПТС с целью выявления нерациональных маршрутов движения	Маршруты движения вагонопотоков в ПТС	Сокращение издержек, связанных с движением вагонов по нерациональным маршрутам, в среднем, на 35-40%
2	Метод контроля статистических параметров системы вагонопотоков	Анализ статистических характеристик времени движения вагонов по маршруту следования вагонопотока, сгруппированных по определенным периодам планирования и формирование перечня устойчивых маршрутов для каждого периода планирования с целью выявления мест возникновения задержек в продвижении вагонопотоков и оценки качества управления их продвижением	Параметры вагонопотоков	
3	Метод контроля порожних вагонопотоков в ПТС	Анализ маршрутов движения порожних вагонов в ПТС с целью выявления устойчивых нерациональных порожних вагонопотоков и устранение причин их возникновения	Порожние вагонопотоки	Сокращение издержек, связанных с наличием маршрутов движения порожних вагонов без грузовых операций в ПТС – на 5-10%
4	Метод контроля вагонопотоков на полигоне взаимодействия ПТС с сетью железных дорог общего пользования	Согласованный подвод вагоно- и грузопотоков на пути необщего пользования на основе определения оперативной потребности в грузах (вагонах) и величины оптимального состава поезда, формируемого на полигоне примыкания	Вагонопотоки на полигоне примыкания ПТС	Сокращение издержек, связанных с сверхнормативным простоем вагонов на станции примыкания ОАО «РЖД» в ожидании возникновения потребности в вагонах в основном производстве – до 35%
5	Метод оценки резервов пропускной и перерабатывающей способности технологических станций на основе теории нечетких множеств	Оперативная оценка текущей загруженности технологических железнодорожных станций ПТС с целью выявления резерва пропускной и перерабатывающей способности станций для продвижения вагонопотоков и сокращения затрат вагоночасов движения вагонопотоков	Пропускная и перерабатывающая способность железнодорожных станций	Сокращение издержек, связанных с высокой неравномерностью параметров вагонопотоков и уровнем использования пропускной и перерабатывающей способностей технологических железнодорожных станций – на 20%

#### Литература:

1. Багинова В. В., Рахмангулов А. Н. Адаптивная организация грузопотоков // Мир транспорта. 2011. Т. 36. № 3. С. 132–138.
2. Багинова В. В., Рахмангулов А. Н., Осинцев Н. А. Контроль вагонопотоков на пути необщего пользования // Мир транспорта. 2010. № 3. С. 108–113.
3. Трофимов С. В., Рахмангулов А. Н. Выбор оптимальных методов оперативного управления работой промышленных транспортных систем: Монография. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 145 с.
4. Осинцев Н. А., Рахмангулов А. Н. Оценка резервов пропускной и перерабатывающей способности технологических железнодорожных станций с использованием теории нечетких множеств // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 1 (25). С. 45–49.
5. Багинова В. В., Рахмангулов А. Н., Мишкурин П. Н. Методика оценки организационной структуры оперативного управления вагонопотоками на путях необщего пользования // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 2. С. 19–22.



## Обоснование обновления парка грузовых локомотивов методами теории тяги поездов

Лисовенко Дмитрий Васильевич, аспирант  
Ростовский государственный университет путей сообщения

Козлова Анна Владимировна, студент  
Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического института (НПИ) имени М. И. Платова (Ростовская обл.)

*В статье рассматриваются аспекты применения методов математического моделирования процесса движения поездов с применением тяговых расчетов.*

**Ключевые слова:** тяговые расчеты движения поездов, математическое моделирование, ходовые испытания, сокращение издержек.

## Rationale for renewal of cargo locomotive fleet by methods of train driving theory

Lisovenko Dmitry Vasilyevich, graduate student  
Rostov State Transport University (Rostov-on-don)

Kozlova Anna Vladimirovna, student  
Shakhty Road Institute (branch) of the Platov South-Russian State Polytechnic Institute (NPI) (Mine)

*The article discusses aspects of the application of methods of mathematical modeling of the process of train movement using traction calculations.*

**Keywords:** traction calculations of train traffic, mathematical modeling, sea trials, cost reduction.

Динамичное развитие и устойчивое функционирование железнодорожного транспорта — необходимое условие для стабилизации и подъема экономики России. Тенденция непрерывного роста объема перевозок наряду с высокой степенью износа основных фондов, увеличением количества отказов, случаев брака в работе и повышением ремонтоемкости эксплуатируемых локомотивов актуализировала задачу обновления существующего парка тягового подвижного состава (ТПС).

В соответствии со стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации вплоть до 2030 года, утвержденной постановлением Правительства Русской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. первый период модернизации железнодорожного транспорта (2015–2025 года) учитывает предоставление достаточной пропускной возможности в ключевых направлениях транспортировок, капитальную модернизацию имеющихся объектов инфраструктуры, предоставление перевозок подвижным составом, за исключением парков, вместе с вышедшим сроком службы, создание новейших промышленных условий по оснащению а также технологические процессы, основанные на проектно-изыскательских трудах а также постройка новейших железнодорожных линий.

В настоящий период подавляющее число электровозов никак не соответствует нынешним требованиям экономичности, а также надежности, также их состояние никак не гарантирует достойных условий труда локомотивных бригад. Существенная доля узлов, а также агрегатов локомотива изнашивается на физическом уровне, а также морально стремительнее, нежели в техническом состоянии в целом.

Капитальное восстановление и усовершенствование — наилучший метод обновления подвижного состава, который может повысить период работы локомотивов на 15–17 лет.

В настоящее время существенное число магистральных электровозов ВЛ80Т, а также ВЛ80С эксплуатируется или пребы-

вает в запасе на электрифицированных путях переменного тока. Они были произведены на Новочеркасском электровозостроительном заводе в 1970-х а также 1980-х годах и в большинстве своем выработали собственный ресурс. Данные локомотивы оборудованы морально старыми концепциями тягового и дополнительного электропривода, их результативность сильно отстает от электровозов свежего поколения. Помимо этого, для многих из них приблизился период капитальных ремонтных работ КР-2 [2].

В связи с этими фактами по согласованию с Департаментом локомотивного хозяйства МПС Общество «ВелНИИ» создало промышленное поручение, а также промышленные требования на капитальный ремонт (КВР). Цель КВР не только продлить эксплуатационный цикл большому парку морально устаревших электровозов, но и сильно увеличить их эксплуатационные показатели. Подразумевается, что вследствие КВР на заводе НЭВЗ период окупаемости сделанных ремонтных работ составит не более 3 лет, главным образом за счет улучшения показателей энергопотребления [3].

Расходы на модернизацию составят порядка 50–70% от цены нового локомотива с подобными эксплуатационными параметрами. Электровозы серии ВЛ80Т, ВЛ80С приобретут вторую жизнь, а локомотивные дорожные работы — отчетливое сокращение цены грузовых транспортировок, усовершенствование условий работы локомотивных бригад. Небольшой промежуток окупаемости выводит проведение КВР в одно из ключевых направлений деятельности.

Как следует из текста Положения, срок службы локомотива определяют ресурсы его базовых частей: рамы кузова и тележек, несущие элементы кузова. Наличие остаточного ресурса у базовых частей устанавливаются по результатам научно-исследовательских работ.

Приоритетным направлением в решении этой задачи является приобретение ТПС нового поколения, что позволяет по-



высить производительность, снизить затраты на ее эксплуатацию и обеспечить общую эффективность всех составляющих перевозочного процесса.

Основными являются пункты, предъявляемые к автономным и неавтономным локомотивам. В которые в первую входят: модульность, методы повышения энергетической эффективности путем совершенствования конструкции локомотивов.

Исследования целесообразности обновления парка на конкретных железнодорожных участках можно производить двумя способами:

- организацией опытных поездок с составами, перевозимыми локомотивами различных серий
- методами математического моделирования, которые опираются на теорию тяги поездов.

К преимуществам метода натуральных поездок можно отнести большую достоверность проведенного сравнения локомотивов различных моделей. Но, у данного способа есть существенные недостатки, такие как:

- существенная продолжительность проведения ходовых сравнений эксплуатационных показателей локомотивов на определенных железнодорожных участках;
- необходимость прокладывания в графике движения поездов дополнительных ниток для проведения испытаний локомотивов;
- дополнительные финансовые издержки предприятия непосредственно на закупку нового тягового подвижного для последующего проведения его испытаний;
- дополнительное обучение локомотивных бригад работе на новых моделях локомотивов.

На основании вышеперечисленного можно сделать вывод, что в случае итоговых более низких эксплуатационных показа-

телей испытываемых локомотивов и конечного решения не вводить на данном участке новой модели тягового подвижного состава компания понесет существенный перерасход активов компании как финансовом плане, так и в трудозатратах человеко-часов.

В современных условиях более перспективным является метод математического моделирования, с использованием апробированных методик теории тяги поездов. Использование данного метода при выборе оптимальной модели грузового локомотива на заданном участке позволяет снизить капиталовложения [4].

К преимуществам этого метода можно также отнести регулярную актуализацию правил тяговых расчетов, а также методик расчета параметров эксплуатации тягового подвижного состава на конкретных участках, что в свою очередь позволяет получить данные с высокой степенью достоверности.

Использование метода математического моделирования позволит с наименьшими затратами максимально эффективно организовать перевозочный процесс на полигоне Северо-Кавказской железной дороги, учитывая большой грузооборот дороги. Что, в свою очередь улучшит подвод грузов железнодорожным транспортом в порты Азово-Черноморского бассейна, учитывая большую массу маршрутов, с преимущественно нефтеналивными и грузами угольных номенклатур, а также учитывая частичное использование на полигоне СКВ ж.д. автономных локомотивов.

Так, например, в настоящее время, на полигоне Северо-Кавказской железной дороги на смену электровозов серии ВЛ-80 вводятся в эксплуатацию локомотивы серии ЭС5К «Ермак». Целесообразность эксплуатации которых предварительно была доказана теорией тяги поездов с использованием современных программных комплексов компьютерного моделирования [1].

#### Литература:

1. Абрамов, Е. Р. Грузовые электровозы серии 2ЭС4К и 3ЭС4К / Е. Р. Абрамов // Электроподвижной состав отечественных железных дорог. — 2015. — С. 126–130.
2. Шапшал, А. С. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Теория локомотивной тяги» / А. С. Шапшал, А. В. Илларионов. — РГУПС: Ростов-на-Дону, 2012. — 48 с.
3. Евдомах, Г. В. Автоматизация тяговых расчетов, учитывающих динамическую нагруженность поезда: диссертация... кандидата технических наук: 05.22.16. — Днепропетровск, 2017. — 164 с.
4. Математическая теория оптимальных процессов / И. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. — М.: Наука, 1969. — 384 с.
5. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р

## Износ и смазка пары «рельс — колесо»

Мансуров Юлбарсхон Набиевич, доктор технических наук, профессор;  
 Абдуллаев Бахром Актамович, кандидат технических наук, доцент;  
 Джаббаров Шухрат Батирович, кандидат технических наук, доцент;  
 Отажонов Хумоюн Хамро угли, ассистент;  
 Жумабеков Бобур Шералиевич, ассистент;  
 Абдирахманов Жамшид Абдигалбар угли, старший преподаватель;  
 Хурматов Яхъё Алижонович, старший преподаватель;  
 Рахимов Рустам Вячеславович, доктор технических наук, доцент  
 Ташкентский государственный транспортный университет (Узбекистан)

В работе проведены исследования эксплуатационных свойств колесных пар железнодорожного транспорта, а также износ и его снижение для пары колесо-рельс. В качестве материалов использовали стали, из которых традиционно изготавливают рельсы и колесные пары. По результатам исследования определены меры, снижающие износ пары путем применения смазывающих веществ. Даны рекомендации по условиям эксплуатации пары рельс-колесо.

**Ключевые слова:** подвижной состав, колесная пара, рельс, трение и износ, смазка, условия эксплуатации.

Очевидно, что износ рельсов (или колес) является одним из основных видов вывода из эксплуатации подвижного состава. Износ обычно происходит в течение относительно длительного периода времени. Технически это преимущество, поскольку время позволяет внести потенциальные полезные изменения. Однако, к сожалению, та же самая характеристика часто снижает чувство безотлагательности со стороны владельцев и операторов путей, проявляющих заинтересованность во внедрении изменений. С другой стороны, по крайней мере, в неко-

торых системах владельцы и операторы транспортных средств обеспечивают движущую силу из-за неблагоприятных экономических последствий, связанных с износом гребня колеса.

Цель настоящей работы анализ видов износа подвижного состава на примере пары колесо-рельс. Для достижения цели в работе изучены основные виды износа пары, а также снижение их негативного влияния путем использования смазки.

**Материалы и методы исследования.** В работе использовали материалы, состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав рельсовой стали и стали, использованной для изготовления колесной пары.

Сталь	Содержание химических элементов, % по массе													
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	N	O	V	Ti
рельс	0,75	0,5	1,7	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,15	-
колесо	0,7	0,5	1,2	0,02	0,03	<0,25	-	<0,25	<0,25	-	-	-	-	-

Колесные пары так же, как и рельсы, готовили по стандартной технологии.

Структуру изучали визуально, либо с помощью светового металлографического микроскопа ЛОМО-41.

Свойства, в том числе механические определяли по известным методикам

**Результаты и их обсуждение.** Как показано на рис. 1, износ рельсов происходит преимущественно на поверхности колеи высоких рельсов на кривых с более узким радиусом (обычно менее 500–800 м) из-за более высоких боковых нагрузок, прикладываемых колесами. Однако, как следует из рис. 1, износ может также происходить на поверхности катания либо из-за нормального взаимодействия колеса с рельсом, либо из-за действий по обслуживанию рельсов, таких как шлифовка рельсов.

Эквивалентными видами износа колес, конечно же, являются износ фланца и протектора.

Различные режимы износа рельсов (и колес), которые могут возникать при различных уровнях контактного напряжения колесо-рельс и уровнях ползучести/проскальзывания, хорошо

изучены. Так, в [1–5] показано, что при любом режиме износа энергия на границе раздела колесо-рельс и, следовательно, результирующий износ пропорциональны:

- силе, приложенной по нормали к поверхности контакта колесо —рельс;
- уровню текучести или пластичности материала;
- уровню трения.

Следовательно, основная часть исследований, связанной с износом пары колесо-рельс, была сосредоточена на уменьшении влияющих факторов и обеспечении режима равномерного интенсивного износа всей поверхности, который характеризуется очень крупными частицами износа и очень высокой степенью шероховатости контактных поверхностей, как показано на рис. 2, где продукт износа наблюдали возле подошвы рельса. Однако получить положительный результат пока не удалось.

На основе наблюдений установлено, что основными факторами, влияющими на боковые силы, уровни ползучести и трения, являются:



Рис. 1. Износ рельсов — высокий рельс на крутом повороте



Рис. 2. Крупные остатки износа указывают на интенсивный режим износа

– Радиус кривой поворота подвижного состава, который, как правило, является фиксированным параметром.

– Характеристики взаимодействия колеса с рельсом и, в частности, направленные усилия, возникающие при взаимодействии пары колесо-рельс.

– Геометрические характеристики пары колесо-рельс и, в частности, межосевое расстояние, ромбовидность, несоответствие диаметра колеса и жесткость рельса. Все эти аспекты оказывают непосредственное влияние на методы технического обслуживания пары.

– Геометрические характеристики пути и, в частности, ширина колеи и вираж (и соответствующая линейная скорость подвижного состава). Для них очень важный аспект возникает на смешанных пассажирских и грузовых линиях, где конструкция должна сбалансировать часто противоречащие друг другу требования комфорта пассажиров и повреждения пути.

– Смазочные характеристики на стыке колесо-рельс.

Естественно, названные выше факторы не снижают важный фактор, оказывающий непосредственное влияние на износ —

это твердость рельсов и колес в виде показателя механического свойства материала.

Специалисты, обслуживающие железнодорожный транспорт, как правило, основное внимание уделяют обеспечению эффективного смазывания поверхности гребня колеса и колеи рельса, а также смягчению условий трения, особенно на крутых поворотах, чтобы гарантировать условия отсутствия сильного износа пары. Это имеет особое значение при пассажирских перевозках, где обычно используемые материалы для колес относительно мягкие и, следовательно, более подвержены сильному износу.

Эффективная смазка также может иметь заметные преимущества, особенно с точки зрения:

– снижения шума износа отбортовки, связанного с взаимодействием колеса с рельсом, что очень важно в населенных пунктах;

– снижения расхода энергии (топлива) на взаимодействие колеса с рельсом.

Однако следует всегда помнить, что преимущества смазки должны быть уравновешены потенциальными неблагоприят-

ными последствиями, которые может иметь неэффективная смазка, особенно в отношении:

- возможного загрязнения поверхности катания рельсов, что может привести к потере сцепления колес локомотива и, как следствие, к потенциальному развитию пробуксовки (прогара) колес на рельсах и необходимости приложения дополнительных тяговых усилий;
- усиления нарастания контактной усталости от образования трещин (трещин) на колесе и поверхности катания рельсов (и колес);
- неблагоприятного влияния на характеристики управляемости тележки и боковые усилия колесной пары, возникающее, когда трение поверхности катания одного рельса на кривой становится очень отличным от трения другого рельса;
- общего загрязнения рельсового пути, которое обычно происходит вблизи лубрикаторов, установленных на рельсах.

Лучший способ контролировать нанесение смазки на рельсы (и, следовательно, на колеса) — использовать системы, устанавливаемые на транспортных средствах. Однако по разным практическим причинам большинство систем железных дорог по-прежнему полагаются на аппликаторы, установленные на путях, для обеспечения требуемой смазки. В связи с этим полевые исследования ясно показали, что эффективность смазывания можно заметно повысить, уделяя особое внимание:

- типу применяемой смазки;
- установке и обслуживанию лубрикаторов;
- местам, в которых лубрикаторы размещены на пути.

Некоторые из наиболее важных руководящих принципов, которые были установлены и применяются по крайней мере в некоторых системах, включают необходимость [6–10]:

- размещения лубрикаторов на питающих кривых среднего радиуса (400–1000 м) перед более крутыми кривыми, которые являются основной целью, до тех пор, пока есть неко-

торые признаки очень незначительной отбортовки колеса и нет признаков тяжелой отбортовки колеса;

- избегать расположения лубрикаторов там, где не происходит стационарной отбортовки колес, например, на касательной дорожке, нижних рельсах кривых и вблизи точки касания кривых;
- избегать расположения лубрикаторов, обслуживающих верхний и нижний рельсы, слишком близко друг к другу (в пределах 300–500 м).

**Выводы.** Некоторые из важных аспектов смазки колес и рельсов, которые все еще требуют дальнейшего изучения, включают:

- достоверную оценку типов смазочных материалов в лаборатории, что позволяет избежать проведения обширных полевых испытаний. Полевые испытания должны быть сосредоточены только на тех типах смазочных материалов, которые с высокой вероятностью могут обеспечить существенные потенциальные преимущества.
- возможность иметь системы, способные обнаруживать места на пути, где смазка становится менее эффективной, вместо нынешней процедуры, основанной на наблюдениях, сделанных персоналом пути, которые часто происходят слишком поздно. В связи с этим работа по использованию установленной на транспортном средстве системы для оценки режима износа/смазки приобретают актуальность для достижения увеличения срока службы.
- оценку дифференциального стационарного износа рельсов в пределах сложных кривых. Это не только «проблема» смазки, но, вероятно, она связана как с характеристиками изгиба колес и рельсов, так и с характеристиками кривизны тележки. Возможность уменьшить такую изменчивость даже ближе к середине диапазона приведет к значительным экономическим выгодам с точки зрения замены рельсов.

#### Литература:

1. Lundén R, Nordmark T and Paulsson B (2001), Enhancing iron ore transportation in Sweden, Proceedings 7th International Heavy Haul Conference, Brisbane, Australia, Qld, 11–14 June, 99–106.
2. Wise S (1987), Railway wheelsets — a critical review, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 291(D4), 257–71.
3. Koerfer E (1985), 150 Jahre Schienenerzeugung — Überblick über die technische Entwicklung, Stahl und Eisen, 105(17), 907–12.
4. Lundberg G and Palmgren A (1947), Dynamic capacity of rolling bearings, Acta Polytechnica, Mechanical Engineering Series, Royal Swedish Academy of Engineering Sciences 1(3), 50 pp.
5. Knothe K (2008), 'History of wheel/rail contact mechanics: from Redtenbacher to Kalker', Vehicle System Dynamics, 46(1), 9–26.
6. Cannon D F, Edel K-O, Grassie S L and Sawley K (2003), Rail defects: an overview, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 26(10), 865–86.
7. Gullers P, Andersson L and Lundén R (2008), High-frequency vertical wheel–railcontact forces — field measurements and influence of track irregularities, Wear, 265(9–10), 1472–78.
8. Nielsen J C O, Ekberg A and Lundén R (2005), Influence of short-pitch wheel/railcorrugation on rolling contact fatigue, IMechE, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 219(3), 177–87.
9. Ekberg A and Kabo E (2005), Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading — an overview, Wear, 258(7–8), 1288–300.
10. Nielsen J C O, Lundén R, Johansson A and Vernersson T (2003), Train–track interaction and mechanisms of irregular wear on wheel and rail surfaces, Vehicle System Dynamics, 40(1–3), 3–54.
11. Esslinger V, Kieselbach R, Koller R and Weisse B (2004), The railway accident of Eschede — technical background, Engineering Failure Analysis, 11(4), 515–35.



## Экспериментальные исследования контактов «рельс — колесо»

Мансуров Юлбарсхон Набиевич, доктор технических наук, профессор;

Джаббаров Шухрат Батирович, кандидат технических наук, доцент;

Абдуллаев Бахром Актамович, кандидат технических наук, доцент;

Абдуллоев Мирзо Килич угли, ассистент;

Абдурахмонов Пахлавон Кахрамон угли, ассистент;

Зафаров Диёр Шухратжон угли, ассистент;

Йулдошов Рустам Мадамин угли, ассистент;

Рахимов Рустам Вячеславович, доктор технических наук, доцент

Ташкентский государственный транспортный университет (Узбекистан)

*Подробные металлургические исследования изношенных рельсов и испытательных дисков показывают, что микроструктура сильно влияет на возникновение и раннее распространение трещин, вызванных усталостью. Также, как правило, включения вблизи и на поверхности рельса могут ослабить микроструктуру при поперечном деформационном сжатии. Влияние различных марок рельсовой стали было изучено и смоделировано в 2D. Ранний поверхностный износ «отслаивание» и усталость не могут быть полностью смоделированы в 2D, учитывая зернистую природу формирующейся и конечной структуры, поэтому в работе изучены трехмерные аспекты раннего роста трещины и разработаны трехмерные модели исходной и напряженной структуры.*

**Ключевые слова:** износ, усталость, приспособляемость, хруповик, перлит, рельсовая сталь.

Для моделирования и оценки образования трещин в рельсовой стали без необходимости проведения испытаний на путях, которые обязательно являются длительными и дорогостоящими, общепринятым методом является двухдисковое испытание с использованием дисков из рельсовой стали и колесной стали при качении-скольжении. компрессионный контакт. При двухдисковом испытании контакт (максимальное контактное напряжение, распределение напряжения, утечка и окружающая среда. В опубликованной литературе [1–6] представлена история развития рельсовых сталей, особенно с перлитной структурой. Были описаны производственные процессы и металлургические характеристики стандартной перлитной рельсовой стали, а также то, как ее микроструктура изменяется под действием сильно сжимающих нагрузок качения и скольжения, а также тяговых усилий, возникающих в контакте колесо-рельс. Эти изменения делают эту недорогую низколегированную сталь со средним и высоким содержанием углерода удивительно подходящей для рельсов. Однако по мере роста требований к стоимости, безопасности, нагрузке, скорости и трафику на железнодорожных сетях потребуются дальнейшие усовершенствования перлитных микроструктур рельсов вместе с исследованиями рентабельных альтернативных стальных микроструктур [7–10]. В настоящей работе перлитная рельсовая сталь дополнительно изучена в отношении износа и разрушения при циклических нагрузках с наблюдениями на рельсах, снятых с пути и на лабораторных двухдисковых испытательных образцах. Кратко обсуждены преимущества и ограничения метода испытаний, а также разработка методов моделирования на основе этого металлургического анализа для предсказания срока эксплуатации железных дорог.

С помощью комбинированного практического и модельного подхода можно проанализировать поведение микроструктуры рельсовой стали в условиях сжимающего качения-скольжения с точки зрения основных механических свойств, а затем результаты можно использовать в фундаментальных моделях

рельсовой стали и использовать для прогнозирования срока службы рельсов. Цель состоит в том, чтобы предоставить быстрый и экономичный метод оценки новых или альтернативных рельсовых сталей и, таким образом, выбрать наиболее перспективные до проведения путевых испытаний; трассовые испытания дороги, но они всегда будут нужны. Для поддержки моделирования необходимо детальное понимание механизмов эволюции микроструктуры и разрушения.

**Материалы и методы исследований.** В работе использованы известные методы структурного исследования [7–12], включающие методологии и методики макро-, микро-, суб-структурного анализов.

Составы исследованных сплавов представлены в табл. 1.

Механические свойства, в частности твердости образцов измеряли по стандартной методике [7–16]. Для моделирования и оценки образования трещин в рельсовой стали без необходимости проведения испытаний на путях, которые обязательно являются длительными и дорогостоящими, общепринятым методом является двухдисковое испытание с использованием дисков из рельсовой стали и колесной стали при качении-скольжении или в процессе компрессионного контакта. При двухдисковых испытаниях контакт (максимальное контактное напряжение, распределение напряжения, путь и окружающая среда) тщательно контролируется, в то время как на рельсах существует сочетание условий контакта с транспортным средством (вариации профиля колеса, нагрузки и т.д.) и окружающей среды (погодные условия).

Двухдисковые испытания для этой работы проводили на испытательной машине SUROS. Подробности об оборудовании и методе испытаний можно найти в [3–8]. Для имитации влаги использовали чистую дистиллированную воду для смазки контакта, что снижает износ и способствует распространению трещин. Использовали экспериментальные диски с шириной дорожки 10 мм (альтернативные двухдисковые тесты, в которых используются диски с выпуклостью, дающие эллиптические



Таблица 1. Составы исследованных сплавов

Элемент (масс.%)	Рельс «Д»	Ж/д путь 260 класс	Рельс «F»	Ж/д путь 220 класс	верхние диски	моноблок колесо	нижние диски
C	0.456	0.60–0.82	0.814	0.50–0.60	0.55	0.56 max	0.53
Si	0.129	0.13–0.60	0.197	0.20–0.60	0.24	0.40 max	0.29
Mn	1.078	0.65–1.25	0.955	1.00–1.25	1.10	0.80 max	0.72
S	0.027	0.008–0.030	0.029	0.008–0.030	0.020	0.040 max	0.007
P	0.012	0.030 max	0.021	0.030 max	0.022	0.040 max	0.016
Cr	0.013	0.15 max	< 0.60	0.15 max	0.03	0.30 max	0.20
Mo	0.024	0.02 max	< 0.002	0.02 max	0.005	0.08 max	0.005
Ni	0.094	0.10 max	< 0.031	0.10 max	0.02	0.30 max	0.02
Cu	0.405	0.15 max	0.022	0.15 max	0.01	0.30 max	0.09
Al	0.015	0.004 max	< 0.009	0.004 max	0.002	–	0.034
V	–	0.03 max	< 0.017	0.03 max	0.001	0.05 max	0.002
Ti	–	0.025 max	–	0.025 max	0.0002	–	0.0015
N	0.0648	0.0100 max	0.0012	0.0080 max	0.0040	–	0.0045
O	0.0358	0.0020 max	0.0041	0.0020 max	0.0009	0.56 max	0.0006

Примечание: составы сплавов определены по результатам рентгеновского анализа

ские контактные зоны, или верхние и нижние диски с разной шириной дорожки, не приведут к равномерному контакту на протяжении всего теста). Испытательная машина, использованная в работе, была признана многими исследователями с начала 1990-х годов и является очень подходящей для определения поведения материала рельсовой стали в условиях качения-скольжения и высоких контактных напряжений, которые могут быть связаны с соответствующим поведением этих материалов на пути. Чтобы имитировать ведущее колесо, диск из рельсового материала всегда должен быть более-менее нагруженным.

На диске качение и скольжение нагрузки происходят в противоположных направлениях, так что рано образующиеся трещины захлопываются, таким образом задерживая смазку в трещине. Это снижает трение поверхности трещины и гидравлически нагружает вершину трещины, тем самым стимулируя ее распространение. Первое существенное различие между рельсом и двойным диском заключается в том, что, хотя масштаб микроструктурных особенностей одинаков для рельса и испытательных дисков, контактные размеры и, следовательно, размеры поля напряжений намного больше, чем в реальности.

Микрошероховатость поверхности также одинакова для рельсового и двухдискового контакта при близких размерах подповерхностных напряжений; они очень большие и сосредоточены в пределах примерно 50 микрон от поверхности. тщательнее контролируются, тогда как на железной дороге существует сочетание условий контакта с транспортным средством (вариации профилей колес, нагрузки и т.д.) и окружающей среды (погода, загрязнение пути и т.д.).

Двухдисковые испытания для этой работы проводили на испытательной машине SUROS. Подробности об оборудовании и методе испытаний можно найти в [7–12].

Для имитации дождя использовали чистую дистиллированную воду для смазки контакта, что снижает износ и способ-

ствует распространению трещин. Диски использовали с плоской линией контакта с шириной дорожки 10 мм.

Чтобы имитировать ведущее колесо, диск из рельсового материала всегда должен быть более медленным из двух дисков. Во всех смазываемых контактах качения-скольжения из подобных материалов трещины всегда сначала наблюдаются на более медленно движущейся поверхности.

**Результаты и их обсуждение.** Первое существенное различие между рельсом и двухдисковым двигателем заключается в том, что масштаб микроструктурных особенностей является общим как для рельса, так и для тестовых дисков, размеры контакта и, следовательно, размеры поля напряжений намного больше при фактическом контакте колеса с рельсом, чем при контакте двойного диска.

Микрошероховатость поверхности также одинакова для рельсового и двухдискового контакта при близких размерах подповерхностных напряжений; они очень большие и сосредоточены в пределах примерно 50 микрон от поверхности. Диаметр диска обычно составляет 47 мм. Сравнивая графики микротвердости рельса и диска (рис. 1), можно сказать, что упрочнение рельса простирается до ~ 4 мм, тогда как упрочнение диска не выходит за пределы 1 мм.

На графиках твердости дисков, смазанных водой, имеется отчетливая «зона релаксации» деформации между высокой поверхностной деформацией от контакта с неровностями и максимальной деформацией. Это не так заметно для графиков твердости рельсов, потому что рельсы испытывают широкий спектр различных контактов, а также смесь влажных и сухих контактов при воздействии погодных условий, и суммарный эффект заключается в сглаживании.

В этой программе испытаний использовали термообработку для изучения влияния различных микроструктур на результаты испытаний. Все «рельсовые» диски были получены из головки одной длины неиспользованного рельса класса 220, а «колесные» диски из обода колеса класса R8.

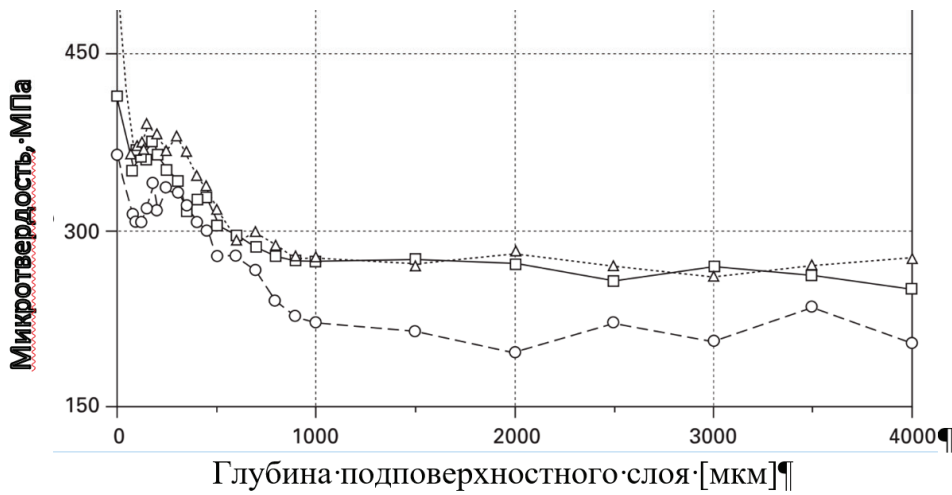


Рис. 1. Результаты поверхностной и подповерхностной микротвердости для рельсового диска

Рельсовые диски были разрезаны поперек головки рельса.

Колесные диски были вырезаны поперек обода колеса.

Были использованы два режима термообработки для максимизации и минимизации содержания феррита, соответственно:

- Чтобы максимизировать содержание феррита на границах зерен, диски нагревали до 840°C за 1,1 часа, аустенизировали в течение 2,5 часов, медленно охлаждали в течение 4 часов до 610°C, выдерживали в течение 0,5 часов, затем быстро охлаждали до комнатной температуры в 0,3 часа. Эти диски были обозначены как «R84».

- Чтобы свести к минимуму содержание феррита, диски нагревали до 1150°C за 1,75 часа, подвергали аустенизации в течение 2,5 часов, а затем быстро охлаждали газом до комнатной температуры за 0,5 часа. Эти диски были обозначены как «R115».

Размер первичных аустенитных зерен, определяемый ферритом, оценивали на микрошлифах, взятых с одного диска каждого набора.

Испытания проводили всухую при первых 500 оборотах, а затем к контакту добавляли воду со скоростью одна капля в секунду. Было обнаружено, что сухой период в 500 циклов снижает усталостную долговечность за счет создания высокого напряжения сдвига на поверхности диска, тем самым увеличивая скорость накопления хрупкой деформации и, следовательно, вероятность образования трещин на поверхности. Все испытания проводили при максимальном контактом напряжении 1500 МПа, типичном для умеренных нагрузок.

Микроструктура диска показана на рис. 1, а свойства (микротвердость, размер зерна, объемная доля% феррита, микротвердость перлита) — в табл. 1.

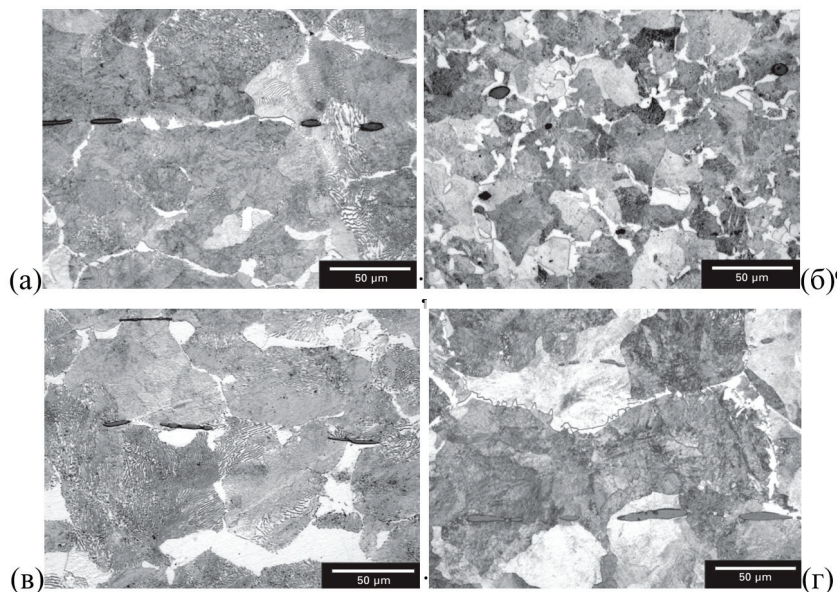


Рис. 1. Микроструктуры диска перед испытанием: (а) — диск из рельса; (б) — диск из колеса; (в) — рельсовый диск, подвергнутый термообработке для максимального увеличения содержания феррита; (г) — рельсовый диск, термообработанный для минимизации феррита

Таблица 2. Структурные параметры материалов рельса и колеса

Параметры материала	рельс	колесо	т/о на максимум	т/о на минимум
Микротвердость, МПа	204±5	239 ±6	250 ±2	239 ±4
Размер зерна, мкм	4–6	3–4	2–4	6–7
Содержание феррита, %	11.0±2,0	5.8±1,2	2.0 ± 1,6	–
Микротвердость перлита, МПа	234±11	264 ±12	283 ± 9	270 ± 8

Для всех микроструктур рельсов феррит на границах зерен не полностью окружал перлитные области, но вдоль границы может быть значительная часть феррита, который можно выровнять и уточнить при деформации, чтобы облегчить рост трещины.

**Выводы.** Установлены структурные изменения стали рельса и колеса, а также параметров структурных составляющих

в процессе эксплуатации подвижного состава. Установлено, что поперечная деформация вблизи и на поверхности рельса также может отрицательно влиять на микроструктуру стали. Этот эффект влияния для различных марок стали рельса и колеса требует дальнейшего изучения.

Литература:

- Alwahdi, F., Franklin, F. J. and Kapoor, A. (2005), The effect of partial slip on the wear rate of rails, *Wear*, 258(7–8), 1031–37.
- Barber, C. B., Dobkin, D. P. and Huhdanpaa, H. T. (1996), The Quickhull algorithm for convex hulls, *ACM Transactions on Mathematical Software*, 22(4), 469–83, [http:// www.qhull.org](http://www.qhull.org).
- Baumann, G., Fecht, H. J. and Liebelt, S. (1996), Formation of white-etching layers on rail treads, *Wear*, 191, 133–40.
- Beretta, S., Braghin, F., Bucca, G. and Desimone, H. (2005), Structural integrity analysis of a tram-way: load spectra and material damage, *Wear*, 258, 1255–64.
- Bower, A. F. and Johnson, K. L. (1991), Plastic flow and shakedown of the rail surface in repeated wheel–rail contact, *Wear*, 144, 1–18.
- Carroll R. I. and Beynon J.H. (2007a), Rolling contact fatigue of white etching layer: Part 1: Crack morphology, *Wear*, 262(9–10), 1253–66.
- Carroll R. I. and Beynon J.H. (2007b), Rolling contact fatigue of white etching layer: Part 2. Numerical results, *Wear*, 262(9–10), 1267–73.
- Clayton, P. and Su, X. (1996), Surface initiated fatigue of pearlitic and bainitic steels under water lubricated rolling/sliding contact, *Wear*, 200, 63–73.
- Desimone, H., Beretta, S. and Kapoor, A. (2005), Rail life prediction for tramcars under full slip regime, Proceedings 11th International Conference on Fracture, Turin, Italy, 20–25 March, available at: [www.icf11.com/proceeding/EXTENDED/5422.pdf](http://www.icf11.com/proceeding/EXTENDED/5422.pdf), accessed March 2009.
- Dyson, I. N., Williams, J. A. and Kapoor, A. (1999), The effect of surface hardening on the elastic shakedown of elliptical contacts, Proceedings of the IMechE: Part J, *Journal of Engineering Tribology*, 213, 287–98.
- Eden, H. C., Garnham, J. E. and Davis, C. L. (2005), Influential microstructural changes on rolling contact fatigue crack initiation in pearlitic rail steels, *Materials Science and Technology*, 21(6), 623–9.
- Ekberg, A. and Sotkovszki, P. (2001), Anisotropy and rolling contact fatigue of railway wheels, *International Journal of Fatigue*, 23, 29–43.
- Ertz, M. and Knothe, K. (2002), A comparison of analytical and numerical methods for the calculation of temperatures in wheel/rail contact, *Wear*, 253, 498–508.
- Fischer, F. D., Werner, E. and Yan, W.-Y. (1997), Thermal stresses for frictional contact in wheel-rail systems, *Wear*, 211, 156–63.
- Fleck, N. A., Kang, K. J. and Ashby M.F. (1994), The cyclic properties of engineering materials, *Acta Metallurgy and Materials*, 42, 365–81.
- Fletcher, D. I. and Beynon, J. H. (1998), The influence of lubricant type on rolling contact fatigue of pearlitic rail steel, in Dowson, D., Priest M., Taylor, A., Ehret, P.

## Эволюция и разрушение перлитной микроструктуры рельсовой стали

Мансуров Юлбарсхон Набиевич, доктор технических наук, профессор;

Джаббаров Шухрат Батирович, кандидат технических наук, доцент;

Абдуллаев Бахром Актамович, кандидат технических наук, доцент;

Намозов Сохиб Баходирович, ассистент;

Шокучкаров Курбонназар Салимович, ассистент;

Рахматов Хамза Абдулхакимович, ассистент;

Музаффаров Фаррух Файзитдинович, ассистент;

Рахимов Рустам Вячеславович, доктор технических наук, доцент

Ташкентский государственный транспортный университет (Узбекистан)

*Подробные металлургические исследования изношенных рельсов и испытательных дисков показывают, что микроструктура сильно влияет на возникновение и раннее распространение трещин, вызванных усталостью. Также, как правило, включения вблизи и на поверхности рельса могут ослабить микроструктуру при поперечном деформационном сжатии. Влияние различных марок рельсовой стали было изучено и смоделировано в 2D. Ранний поверхностный износ «отслаивание» и усталость не могут быть полностью смоделированы в 2D, учитывая зернистую природу формирующейся и конечной структуры, поэтому в работе изучены трехмерные аспекты раннего роста трещины и разработаны трехмерные модели исходной и напряженной структуры.*

**Ключевые слова:** износ, усталость, приспособляемость, храповик, перлит, рельсовая сталь.

В опубликованной литературе [1–6] представлена история развития рельсовых сталей, особенно с перлитной структурой. Были описаны производственные процессы и металлургические характеристики стандартной перлитной рельсовой стали, а также то, как ее микроструктура изменяется под действием сильно сжимающих нагрузок качения и скольжения, а также тяговых усилий, возникающих в контакте колесо-рельс. Эти изменения делают эту недорогую низколегированную сталь со средним и высоким содержанием углерода удивительно подходящей для рельсов. Однако по мере роста требований к стоимости, безопасности, нагрузке, скорости и трафику на железнодорожных сетях потребуются дальнейшие усовершенствования перлитных микроструктур рельсов вместе с исследованиями рентабельных альтернативных стальных микроструктур [7–10]. В настоящей работе перлитная рельсовая сталь дополнительно изучена в отношении износа и разрушения при циклических нагрузках с наблюдениями на рельсах, снятых с пути и на лабораторных двухдисковых испытательных образцах. Кратко обсуждены преимущества и ограничения метода испытаний, а также разработка методов моделирования на основе этого металлургического анализа для предсказания срока эксплуатации железных дорог.

С помощью комбинированного практического и модельного подхода можно проанализировать поведение микроструктуры рельсовой стали в условиях сжимающего качения-скольжения с точки зрения основных механических свойств, а затем результаты можно использовать в фундаментальных моделях рельсовой стали и использовать для прогнозирования срока службы рельсов. **Цель** состоит в том, чтобы предоставить быстрый и экономичный метод оценки новых или альтернативных рельсовых сталей и, таким образом, выбрать наиболее перспективные до проведения путевых испытаний; трассовые испытания дороги, но они всегда будут нужны. Для поддержки моделирования необходимо детальное понимание механизмов эволюции микроструктуры и разрушения.

**Материалы и методы исследований.** В работе использованы известные методы структурного исследования [7–12], включающие методологии и методики макро-, микро-, суб-структурного анализов.

Составы исследованных сплавов представлены в табл. 1.

Механические свойства, в частности твердости образцов измеряли по стандартной методике [7–16].

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1 показан старый низкоуглеродистый рельс с множественными трещинами вместе с более новым рельсом класса 260 с уровнем содержания углерода на верхнем пределе диапазона и имеющим одиночную видимую трещину. На обоих структурах имелись многочисленные поверхностные микротрещины, а также видимые трещины. На таких высоких рельсах из криволинейного пути трещины относительной центробежной силы образуются в месте чуть выше угла колеи и поверхности колеи, где наблюдается максимальный износ, т.е. в месте, где сочетаются высокие контактные напряжения и относительно большая ползучесть (рис. 1б). В угловой зоне датчика и ниже наблюдается высокий износ (потеря профиля), и любые начальные трещины изнашиваются до того, как они могут распространяться.

Эти и другие участки изношенного рельса, в основном из высокоуглеродистого рельса кривой, как с развитыми, так и с только что зародившимися трещинами, были исследованы на поверхности с помощью оптической и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и разделены на несколько срезов, чтобы получить образцы микроструктуры для оптической и СЭМ-микроскопии, а также для определения макро-, микро- и нанотвердости [4–16]. Ориентация сечений была осевой вдоль пути, поперечной и в некоторых случаях под углом  $90^\circ$  к центру трещин, т.е. в направлении максимальной деформации в этом месте профиля пути.

Исследование поверхности сталей (рис. 1) с помощью СЭМ показало поверхностные микрочешуйки, свидетельствующие о храповом характере износа. Высокая деформация ма-



Таблица 1. Составы исследованных сплавов

Элемент (масс.%)	Рельс «Д»	Ж/д путь 260 класс	Рельс «F» (260 класс)	Ж/д путь 220 класс	верхние диски (220 класс)	моноблок рулевое колесо	рулевое колесо нижние диски
C	0.456	0.60–0.82	0.814	0.50–0.60	0.55	0.56 max	0.53
Si	0.129	0.13–0.60	0.197	0.20–0.60	0.24	0.40 max	0.29
Mn	1.078	0.65–1.25	0.955	1.00–1.25	1.10	0.80 max	0.72
S	0.027	0.008–0.030	0.029	0.008–0.030	0.020	0.040 max	0.007
P	0.012	0.030 max	0.021	0.030 max	0.022	0.040 max	0.016
Cr	0.013	0.15 max	< 0.60	0.15 max	0.03	0.30 max	0.20
Mo	0.024	0.02 max	< 0.002	0.02 max	0.005	0.08 max	0.005
Ni	0.094	0.10 max	< 0.031	0.10 max	0.02	0.30 max	0.02
Cu	0.405	0.15 max	0.022	0.15 max	0.01	0.30 max	0.09
Al	0.015	0.004 max	< 0.009	0.004 max	0.002	–	0.034
V	–	0.03 max	< 0.017	0.03 max	0.001	0.05 max	0.002
Ti	–	0.025 max	–	0.025 max	0.0002	–	0.0015
N	0.0648	0.0100 max	0.0012	0.0080 max	0.0040	–	0.0045
O	0.0358	0.0020 max	0.0041	0.0020 max	0.0009	0.56 max	0.0006

Примечание: составы сплавов определены по результатам рентгеновского анализа

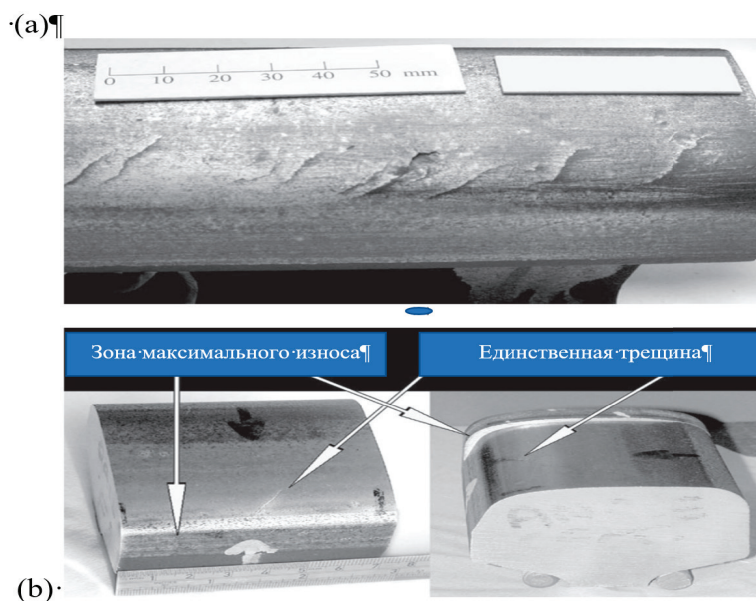


Рис. 1. Трещины контактной усталости качения в изношенных высоких рельсах от кривых: (а) образовавшиеся трещины в рельсе класса BS11 («Рельс D»); (б) два изображения одиночной небольшой трещины на сечении, вырезанной из рельса класса 260 с более высоким содержанием углерода (рельс «F»). Трещина расположена над областью максимального износа, что видно из сравнения профиля сечения с участком неиспользованного рельса, расположенного сзади

трицы в месте трещины для «Рельса D» показана на рис. 2, где ее можно сравнить с недеформированной микроструктурой сердечника. Микроисследование зон разрушения относительной центробежной силы рельсов стандартного класса (теперь 220) и рельсов более высокого качества с более высоким содержанием углерода (260) показало, что трещины относительной центробежной силы в основном возникают вдоль проэвтектоидного феррита со сплюснутым напряжением, расположенного на границах предшествующих аустенитных зерен.

Трещины располагались в основном по краям этих зон, на границе с фланговым перлитом (рис. 2). В сплаве 260 Рельса F, где количество феррита было намного ниже, чем в рельсе Рельса D, некоторые трещины также возникали на границах колоний перлита.

Исследования микротвердости двух рельсов на рис. 1, рельса D (марка 260) и рельса F (марка 260), показали повышенное упрочнение в зонах трещин чуть выше угла колеи по сравнению с вершиной рельса. (рис. 3).



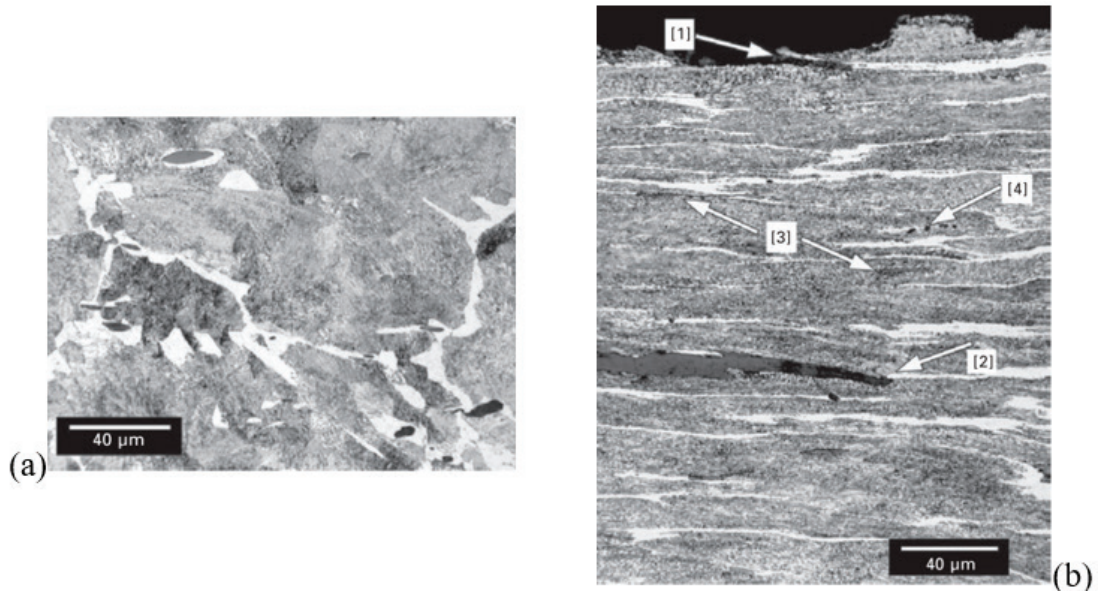


Рис. 2. Микроструктура «Стали D» образца под углом, перпендикулярным максимальному вектору ползучести, трещин, показанных на рис. 1а: (а) недеформированная основная матрица; (б) сильно деформированная матрица с трещиной, зарождающейся вдоль феррита на поверхности [1], трещина, распространяющаяся вдоль феррита под поверхностью [2], сильно сглаженные деформации пластичных включений на основе MnS [3] и неискаженных хрупких включений [4]

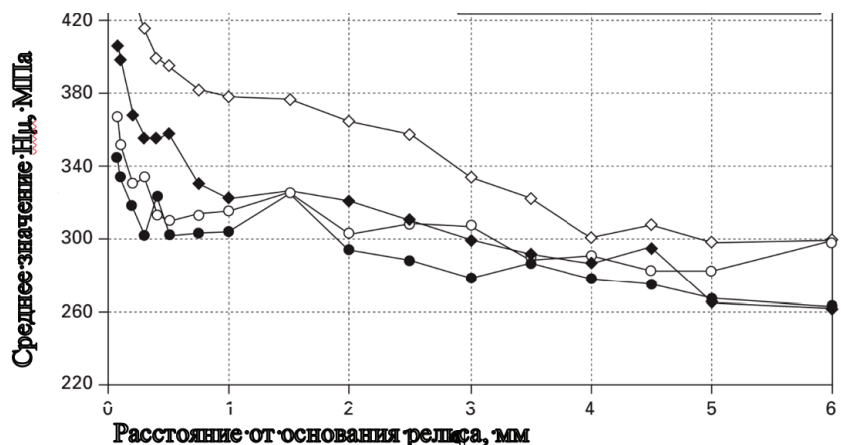


Рис. 3. Зависимость микротвердости (Hv), показывающие упрочнение при приближении к поверхности рельсов D и F со стороны колеи от центра пути и в местах зоны трещины непосредственно над углом колеи

Химический состав этих рельсов показан в таблице 1. Показано, что уровни азота и кислорода в старом рельсе 260 выше, чем у современных. Дополнительные исследования по изношенным рельсам, включая электронно-микроскопические наблюдения и тесты на нано-твердость деформированных фаз, показала, что во время упрочнения происходило разделение деформаций между ферритом и соседними перлитными зонами с более высоким упрочнением феррита.

Для исследования зарождения трещин в феррите была проведена программа двухдисковых испытаний, в которых для данного перлитного материала рельса варьировалось количество феррита.

В исследованных рельсах было отмечено, что некоторые очень близкие к поверхности трещины инициировались несколькими сплюснутыми деформацией пластичными вклю-

чениями, хотя большинство из них не имели связанных трещин.

Еще одно наблюдение на некоторых из нескольких исследованных рельсов заключалось в том, что в структуре наблюдали «белую структурную составляющую», которая периодически образовывалась на поверхности, в областях с низким износом, таких как центр рельса на касательной по поперечному направлению (рис. 4). На СЭМ-микрофотографии (темный феррит, светлый карбид) показаны: прогрессирующая адсорбция перлитного пластинчатого карбида в деформационной зоне; выровненный по деформации феррит, простирающийся в зону деформации; перпендикулярная хрупкая поверхностная трещина, идущая вниз в зону деформации; микротрещина, зарождающаяся на включении на основе MnS, расположенном в основании слоя деформации. Это можно объяснить тем, что

здесь структура была термомеханически преобразована за счет длительных многоциклового контактов неровностей, что приводит к тому, что карбид постепенно возвращается в твердый раствор, а это приводит к образованию мартенсита. Со вре-

менем в такой структуре могут образоваться хрупкие трещины (рис. 4). В областях, подверженных растрескиванию, скорость износа слишком высока, чтобы аналогичное явление можно было бы наблюдать.

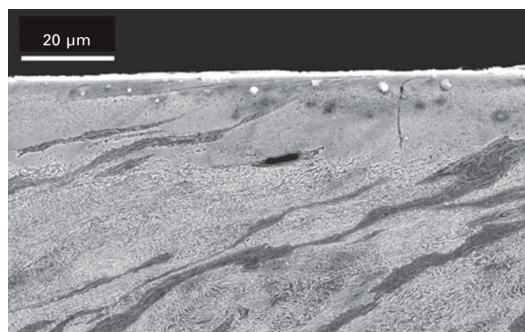


Рис. 4. Осевой разрез через зону деформации, расположенную на вершине профиля ширины колес

**Выводы.** Подробные металлургические исследования изношенных рельсов и испытательных дисков (симуляция контакта рельсов) показали, что на возникновение и раннее распространение трещин сильно влияет микроструктура при заданных условиях контакта. На примере различных марок рельсовой стали было показано, что дальнейшее распростра-

нение трещины становится все более управляемым полем напряжений. Установлено, что раннее поверхностное «отслаивание» и зарождение и распространение трещин не могут быть полностью смоделированы в двух измерениях, учитывая зернистый характер формирующейся и конечной микроструктуры.

#### Литература:

1. Alwahdi, F., Franklin, F. J. and Kapoor, A. (2005), The effect of partial slip on the wear rate of rails, *Wear*, 258(7–8), 1031–37.
2. Barber, C. B., Dobkin, D. P. and Huhdanpaa, H. T. (1996), The Quickhull algorithm for convex hulls, *ACM Transactions on Mathematical Software*, 22(4), 469–83, [http:// www.qhull.org](http://www.qhull.org).
3. Baumann, G., Fecht, H. J. and Liebelt, S. (1996), Formation of white-etching layers on rail treads, *Wear*, 191, 133–40.
4. Beretta, S., Braghin, F., Bucca, G. and Desimone, H. (2005), Structural integrity analysis of a tram-way: load spectra and material damage, *Wear*, 258, 1255–64.
5. Bower, A. F. and Johnson, K. L. (1991), Plastic flow and shakedown of the rail surface in repeated wheel–rail contact, *Wear*, 144, 1–18.
6. Carroll R. I. and Beynon J.H. (2007a), Rolling contact fatigue of white etching layer: Part 1: Crack morphology, *Wear*, 262(9–10), 1253–66.
7. Carroll R. I. and Beynon J.H. (2007b), Rolling contact fatigue of white etching layer: Part 2. Numerical results, *Wear*, 262(9–10), 1267–73.
8. Clayton, P. and Su, X. (1996), Surface initiated fatigue of pearlitic and bainitic steels under water lubricated rolling/sliding contact, *Wear*, 200, 63–73.
9. Desimone, H., Beretta, S. and Kapoor, A. (2005), Rail life prediction for tramcars under full slip regime, *Proceedings 11th International Conference on Fracture*, Turin, Italy, 20–25 March, available at: [www.icf11.com/proceeding/EXTENDED/5422.pdf](http://www.icf11.com/proceeding/EXTENDED/5422.pdf), accessed March 2009.
10. Dyson, I. N., Williams, J. A. and Kapoor, A. (1999), The effect of surface hardening on the elastic shakedown of elliptical contacts, *Proceedings of the IMechE: Part J, Journal of Engineering Tribology*, 213, 287–98.
11. Eden, H. C., Garnham, J. E. and Davis, C. L. (2005), Influential microstructural changes on rolling contact fatigue crack initiation in pearlitic rail steels, *Materials Science and Technology*, 21(6), 623–9.
12. Ekberg, A. and Sotkovszki, P. (2001), Anisotropy and rolling contact fatigue of railway wheels, *International Journal of Fatigue*, 23, 29–43.
13. Ertz, M. and Knothe, K. (2002), A comparison of analytical and numerical methods for the calculation of temperatures in wheel/rail contact, *Wear*, 253, 498–508.
14. Fischer, F. D., Werner, E. and Yan, W.-Y. (1997), Thermal stresses for frictional contact in wheel-rail systems, *Wear*, 211, 156–63.
15. Fleck, N. A., Kang, K. J. and Ashby M. F. (1994), The cyclic properties of engineering materials, *Acta Metallurgy and Materials*, 42, 365–81.
16. Fletcher, D. I. and Beynon, J. H. (1998), The influence of lubricant type on rolling contact fatigue of pearlitic rail steel, in *Dowson, D., Priest M., Taylor, A., Ehret, P.*

## Применение цементных пробок в условиях высокого давления и высоких температур

Мирзалиев Али Тельман оглы, студент магистратуры  
Научный руководитель: Сулейманов Эльдар Мамед оглы, профессор  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку)

*Цементные пробки играют центральную роль в обеспечении гидравлической изоляции нефтяных и газовых скважин. Они обычно требуются для целей ликвидации, бурения боковых стволов и ремонтных работ в стволе скважины. Несмотря на обширный отраслевой опыт, во многих случаях в скважинах с высоким давлением и высокой температурой (ВДВТ) простая операция цементирования приводит к увеличению непроизводительного времени и общих затрат на скважину. Существует ряд проблем, которые увеличивают риски, особенно когда речь идет о размещении цементных растворов высокой плотности в скважинах с высоким давлением.*

**Ключевые слова:** цементная пробка, цементный раствор, интегрированная модель решения, замедлитель схватывания, высокое давление, высокая температура.

## The use of cement plugs in conditions of high pressures and high temperatures

Mirzaliyev Ali Telman ogly, student master's degree  
Scientific adviser: Suleymanov Eldar Mammad ogly, professor  
Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku)

*Cement plugs play a central role in the hydraulic isolation of oil and gas wells. They are typically required for abandonment, sidetracking and wellbore workover purposes. Despite extensive industry experience, in many cases in high pressure, high temperature (HPHT) wells, a simple cementing operation results in increased non-productive time and overall cost per well. There are a number of issues that increase the risks, especially when it comes to placing high density cement slurries in high pressure wells.*

**Keywords:** cement plug, cement slurry, integrated solution model, retarder, high pressure, high temperature.

Как известно существует много месторождений с высоким давлением и высокой температурой (ВДВТ), где каждый год бурится ряд дорогостоящих разведочных и оценочных скважин для раскрытия потенциала нефти или газоконденсата [1]. Существует множество возможных сценариев, которые могут потребовать установки тяжелой цементной пробки. Некоторые из наиболее распространенных причин:

1. необходимость усиления башмака эксплуатационной колонны, чтобы обеспечить более высокую прочность для испытания на утечку,
2. потеря циркуляции из-за очень узкого диапазона между поровым давлением и давлением гидроразрыва,
3. незапланированная ликвидация ствола скважины и зарезка боковых стволов из-за проблем с нестабильностью ствола, прихвата или потери компоновки низа буровой колонны и т.д.
4. неожиданная ситуация с управлением скважиной (выброс или приток).

Буровой раствор, буферный и цементный растворы подвергаются воздействию высоких температур и давлений по мере увеличения времени транспортировки жидкости. Важно прогнозировать температуру в скважине как можно точнее и при необходимости проверять все жидкости, чтобы характеристики цементного раствора были удовлетворительными и предсказуемыми в скважинных условиях [2–4].

Во многих случаях моделирование температуры должно выполняться с учетом следующих значений:

- Количества времени, в течение которого скважина находилась в статике с момента последней известной циркуляции.
- Плановых расходов предварительной циркуляции с учетом пределов ЭЦП.
- Отношения диаметра трубы к ширине кольцевого пространства.
- Свойств бурового раствора (реологических показателей).
- Температуры поверхности выкидной линии.
- Планируемого времени обращения.

Моделирование также должно учитывать влияние охладителей бурового раствора, механических источников тепла, разнообразной литологии и т.д. Высокая загрузка бурового раствора твердыми частицами будет влиять на параметры теплообмена в кольцевом пространстве. Хорошая температурная модель должна позволять пользователю вводить такие переменные, как теплопроводность и теплоемкость всех материалов, находящихся в контакте с буровым раствором.

Выбор добавок имеет первостепенное значение, особенно из-за риска, связанного с чувствительностью к температуре, изменением состава активных ингредиентов и т.д. Время загустевания обычно становится очень чувствительными к концентрации замедлителя, или эффективность многих замедлителей становится чрезвычайно чувствительной к небольшим изменениям температуры. Помимо замедлителя схватывания, все остальные добавки в рецептуре должны быть тщательно отобраны и проверены на эффективность. Поскольку твердые вещества с высокой плотно-

стью имеют тенденцию оседать, когда суспензии разжижаются при более высокой температуре, стабильность суспензии является главным приоритетом. Многие противоосаждающие агенты на полимерной основе могут разрушаться и становиться нестабильными при температуре выше 150°C.

Кроме того, загрязнение жидкостью может оказывать существенное влияние на время загустевания цемента, его реологию и прочность на сжатие. Таким образом, требуется комплексная программа лабораторных испытаний, чтобы подтвердить, что растворы соответствуют желаемым критериям [5].



Рис. 1. Интегрированная модель решения [6]

Отправной точкой для типичного базового раствора является цемент класса G, смешанный с 35% по массе цемента кварцевой муки, что требуется для применения при температурах выше 110°C. Однако в связи с ожидаемыми изменениями внутрискважинных напряжений во время гидродинамических испытаний ВДВТ или операций по ликвидации скважины следует уделять больше внимания обеспечению более надежного уплотнения для долгосрочной изоляции. Поэтому использование специализированных цементных смесей с более прочными свойствами следует рассматривать как альтернативу базовой конструкции в каждом конкретном случае. Например, для скважин ВДВТ, пробуренных в газоконденсатных объектах, целесообразно оптимизировать конструкцию для контроля миграции газа, включив добавку для миграции газа из высокотемпературного латекса.

Поскольку большинство лигносульфонатных замедлителей обычно плохо работают при температурах выше 120°C, при проектировании следует сосредоточить внимание на использовании высокотемпературных замедлителей схватывания нового поколения на синтетической основе, которые обеспечивают более линейную и предсказуемую работу при повышении температуры. Эти замедлители рассчитаны на температуру более 200°C и не замедляют скорость гидратации цемента после того, как раствор начал схватываться.

Высокотемпературный замедлитель схватывания содержит молекулы органического полимера разного размера, которые адсорбируются на ядрах продуктов гидратации цемента. Присутствие этих адсорбированных материалов отравляет зародыши,

поэтому они не могут расти, что снижает скорость гидратации цемента.

Интегрированная модель решения (рис. 1) включает улучшения, внесенные в рабочие процессы проектирования и выполнения, и состоит из:

- 1) применения инженерного программного обеспечения для установки пробок;
- 2) полного проектирования и тестирования жидкостей;
- 3) управление рисками;
- 4) использование инструментов размещения для минимизации загрязнения в соответствии с рекомендациями программного обеспечения.

дыши, поэтому они не могут расти, что снижает скорость гидратации цемента.

В то же время адсорбция органических молекул на поверхности частично гидратированных зерен цемента изменяет электростатический заряд частиц цемента, делая их отрицательно заряженными. Возникающие отталкивающие электростатические взаимодействия между частицами цемента приводят к дальнейшему диспергированию цементного раствора.

В системах класса G на основе диоксида кремния в качестве утяжелителей используются тетраоксид марганца или гематит. Все растворы должны пройти испытание на оседание, чтобы обеспечить стабильность выбранной системы раствора в скважинных условиях. Благодаря коллоидной природе частиц (средний размер 0,4 мкм) и относительно большой площади поверхности (2–4 м<sup>2</sup>/г) тетраоксид марганца предпочтителен для сведения к минимуму сегрегации частиц. Его использование также повышает эксплуатационную гибкость, поскольку отпадает необходимость в сухом смешивании утяжелителя.

При использовании специальных цементных систем, основанных на оптимизированном гранулометрическом составе твердых частиц, в сухой смеси используется крупнозернистый утяжелитель.

Для дальнейшего повышения стабильности полимерный стабилизирующий агент, обычно добавляемый в жидкую смесь, должен быть протестирован.

Как только будут получены удовлетворительные свойства суспензии, необходимо дополнительно проверить рецепт на надежность при наихудших возможных условиях в скважине



путем проведения испытаний на чувствительность. Как правило, смесь выдерживается в течение некоторого времени, обычно около 30–60 минут, перед лабораторными испытаниями, чтобы имитировать эффект старения, который может иметь место при использовании некоторых замедлителей схватывания. Старение — это термин, используемый для опи-

сания сокращения времени загустевания суспензии в результате раннего замедления перемешивания жидкости. Таким образом, рекомендуется добавлять замедлитель схватывания непосредственно перед добавлением цемента в смесь-жидкость, чтобы предотвратить адсорбцию на поверхности утяжелителя.

#### Литература:

1. Lenin Omar Diaz, SPE, Juan Carlos Flores, SPE, Frederico Justus, Mathieu Pasteris, SPE, Nicolas Flamant, SPE, and Art Milne, SPE, Schlumberger SPE119415 «Innovative Computer Model Increases Success Rate When Placing Deep Kickoff Plugs in Southern Mexico»
2. Haidher Syed, SPE116698 «Best Practices in Designing HP/HT Cement-Plug Systems»
3. Guzman Araiza, Petroleos Mexicanos, and Hank Rogers, Lauro P, and Salvador Montoya, Halliburton SPE109649 «Successful Placement Technique of Openhole Plugs In Adverse Conditions»
4. Oil and Gas UK Publication Guidance on Suspension and Abandonment of Wells / North Sea Well Abandonment Study.
5. Eric Nelson, Dominique Guillot Well Cementing.
6. Olutimehin, A. A., & Odunuga, M. (2012). A Model to Minimize Risk of Cement Plug failure in HPHT Conditions. North Africa Technical Conference and Exhibition. doi:10.2118/149562-ms

## Проблемы проведения ремонта откосов транспортных сооружений в условиях вечной мерзлоты

Олехнович Максим Олегович, студент магистратуры

Научный руководитель: Крафт Светлана Леопольдовна, кандидат геолого-минералогических наук  
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

При строительстве и эксплуатации автомобильной дороги в суровых зимних климатических условиях могут возникать различные деформации земляного полотна. Особенно могут пострадать откосы транспортного сооружения, что в дальнейшем может привести к ещё более опасным последствиям. Имеется большое количество способов проведения ремонта откосов автомобильной дороги, но суровые зимние природные условия позволяют использовать только некоторые из них [1, 2].

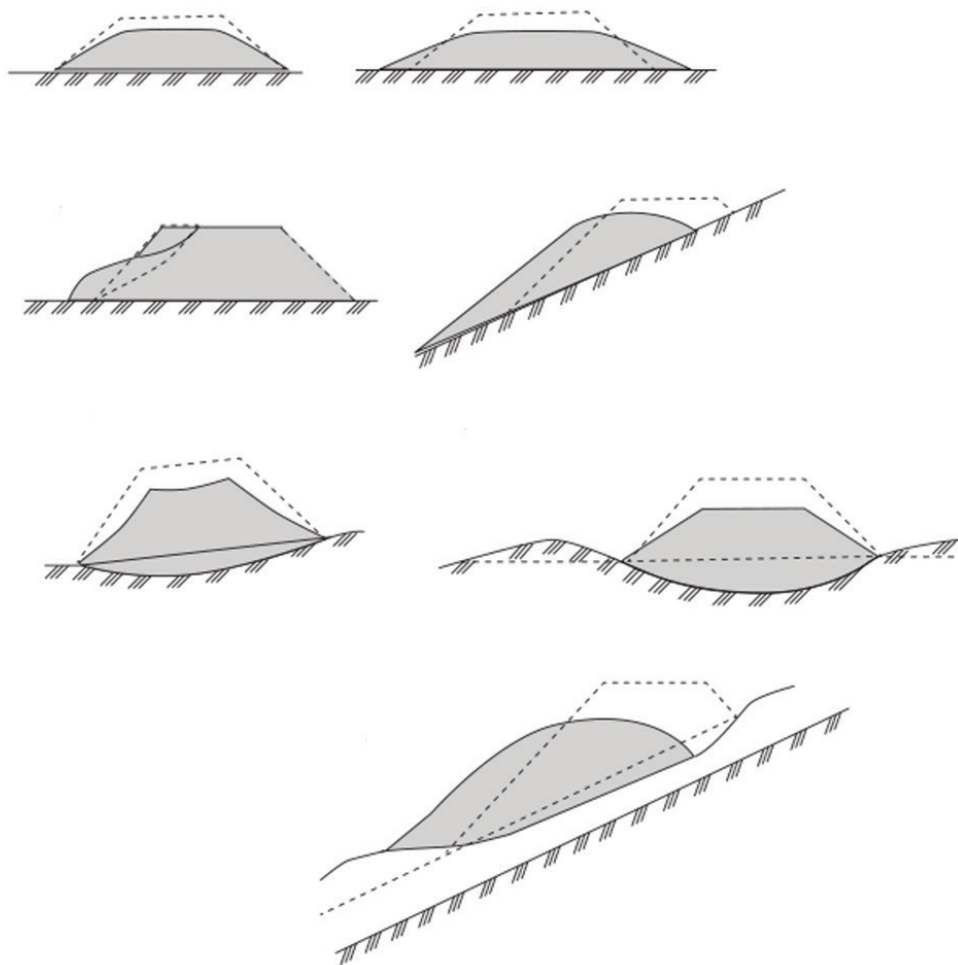
Различают деформацию насыпи и деформацию выемки автомобильных дорог. К деформациям насыпи можно отнести осадку, что является следствием недостаточного уплотнения грунта земляного полотна, расползание насыпи, которое может произойти при оттаивании мёрзлых грунтов, при условии, что насыпь возведена в зимний период, поэтому для предотвращения данной деформации при возведении полотна в отрицательные температуры рекомендуется использовать талый грунт, так как мёрзлый грунт практически не укладывается. Также можно отметить оползание откосов, при условии, что насыпь возводилась на сильном косогоре, просадку насыпи, что может возникнуть на деформируемых основаниях, например, болотах. К деформациям выемки транспортного сооружения можно отнести оползание откоса насыпи в однородном грунте и выжимание слабого грунта. Почти все описанные деформации откосов автомобильной дороги могут возникать при эксплуатации её в суровых зимних климатических условиях, однако не все типы ремонта сооружения могут быть применимы. Примеры деформации представлены на рисунке 1.

При нарушении местной устойчивости неукреплённых откосов выполняют профилирование их поверхности и укрепление. Укрепление травой используется для защиты неподтопляемых или кратковременно подтопляемых откосов от водной и ветровой эрозии, для ликвидации и предотвращения сплывов, оплывин и других нарушений местной устойчивости в районах с благоприятными условиями для прорастания трав и развития корневой системы. Травосеяние может использоваться и в комплексе с другими методами укрепления, например, решётчатыми конструкциями, геотекстилами. Разновидностью этого метода можно считать одерновку. Несмотря на все достоинства данного метода укрепления и ремонта откоса земляного полотна в суровых зимних условиях его использование можно считать нерациональным, так как посеянная трава не успевает за сезон прорасти из-за короткого теплого периода. Наиболее технологичным и приемлемым в рассматриваемой климатической зоне будет является укрепление откосов с помощью геоматериалов или использование смеси неорганических вяжущих с химическими реагентами, предотвращающими предварительную деформацию откоса транспортного сооружения.

Кроме того, нами проведен анализ оптимального расположения объектов ремонта по отношению к заводам-поставщикам материалов. С помощью геоинформационной системы QGIS было проведено изыскание, связанное с расположением заводов и фабрик по производству материалов, необходимых для укрепления откосов насыпи на территориях распространения вечной мерзлоты. Были выбраны автомобильные до-



1)



2)



Рис. 1. Виды деформации земляного полотна автомобильной дороги: 1) насыпь; 2) выемка

роги, находящиеся в рассматриваемых климатических условиях, и были рассчитаны расстояния от них до ближайших предприятий, обеспечивающих ремонт откосов. Прделанная нами исследовательская работа показала, что на изучаемой местности находится недостаточное количество объектов инфраструктуры для проведения рассматриваемых видов работ по укреплению откосов земляного полотна автомобильной дороги. После проведения расчётов по оценочной стоимости доставки материалов с предприятий было установлено, что из двух рассматриваемых материалов наиболее затратным по стоимости перевозки является геосинтетический материал, являющийся наиболее предпочтительным при выборе метода укрепления откоса насыпи дороги.

Результатом данного исследования явился вывод, что при ремонте откосов насыпи земляного полотна автомобильной дороги в условиях вечной мерзлоты наиболее целесообразными методами с технической и экономической точек зрения будут являться использование различных геосинтетических материалов и применение неорганических вяжущих для укрепления грунта земляного полотна, а также их комбинация. Также можно сказать, что в рассматриваемом климатическом районе имеется недостаточное количество объектов инфраструктуры, необходимых для обеспечения ремонта откосов доступными методами, а доставка материалов является экономически затратной, что может привести к удорожанию работ по ремонту и эксплуатации откосов земляного полотна автомобильной дороги.

## Литература:

1. ОДМ 218.2.094–2018 Методические рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных дорог общего пользования из местных талых и мёрзлых переувлажнённых глинистых и торфяных грунтов в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов: введён впервые: принят и введён в действие на основании распоряжения Федерального дорожного агентства (Росавтодор) от 25.07.2018 г. / разработан обществом с ограниченной ответственностью «Центр стратегических автодорожных исследований». Москва, 2018. — 17,19 стр. — Текст: непосредственный.
2. СП 313.1325800.2017 Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства: введён впервые: утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 декабря 2017 г. N1669/пр и введён в действие с 15 июня 2018 г. / разработан авторским коллективом ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ». Москва, 2017. — 5,32 стр. — Текст: непосредственный.

## Предложение конструкции станда для динамической балансировки вращающихся звеньев

Пелипенко Василий Павлович, студент магистратуры  
Костромской государственной университет имени Н. А. Некрасова

Неуравновешенность деталей выражается в том, что деталь, например шкив, посаженный на вал, шейки которого свободно вращаются в подшипниках, стремится после вращения остановиться в одном определенном положении. Это указывает на то, что в нижней части шкива сосредоточено большее количество металла, чем в его верхней части, т.е. центр тяжести шкива не совпадает с осью вращения.

Переменные по величине и направлению динамические нагрузки, вызванные неуравновешенностью вращающихся масс, создают значительные давления на подшипники, опоры и фундамент, вызывают вибрации и добавочные потери мощности на трение в кинематических парах и их ускоренный износ, увеличивают напряжения в звеньях — всё это приводит к быстрому выходу из строя машины. Поэтому одной из актуальных задач современного машиностроения является уравновешивание действия сил и моментов сил инерции вращающихся звеньев.

В данной статье рассматривается технологическое решение по улучшению конструкции балансировочного станка.

Рассмотрим балансировочный станд Б. В. Шитикова (рис. 1).

Кинематическая схема рассматриваемого станда представлена на рис. 2.

Вал ротора 4 (рис. 2) установлен на подшипниках 8, закрепленных в маятниковой раме 9. В роторе с помощью болта 5, размещенного в торцевой стенке, создается постоянный дисбаланс. На каждой полуоси ротора установлены динамически сбалансированные диски 6 и ба.

При динамической балансировке ротора в пазы правого диска устанавливается дополнительный груз (входит в комплект). Диски могут вращаться вокруг оси ротора. Стопорятся с помощью винтов 7. Углы установки дисков измеряются циферблатом.

Разгон ротора осуществляется с помощью фрикционного диска 13, установленного на валу электродвигателя 3, который

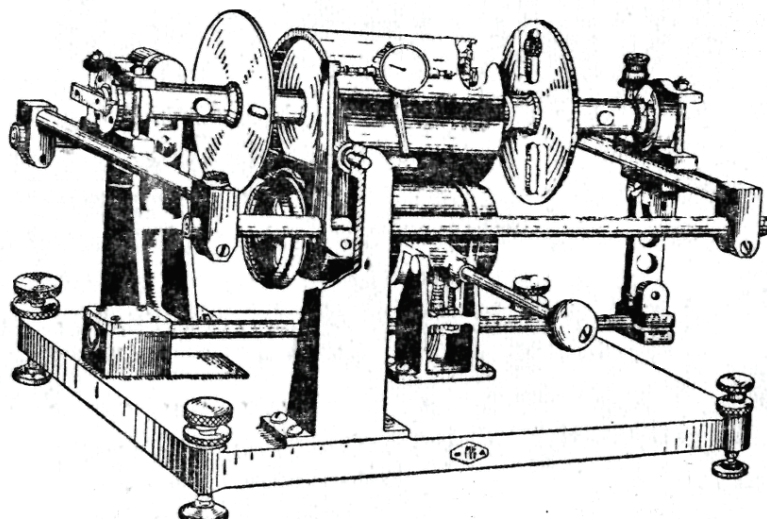


Рис. 1. Балансировочный станд

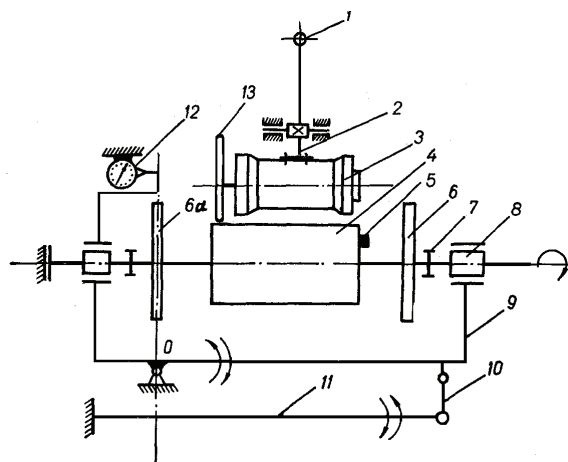


Рис. 2. Кинематическая схема балансировочного стенда: 1 — рукоятка; 2 — рычаг; 3 — вал электродвигателя; 4 — ротор; 5 — болт; 6, 6а — динамически отбалансированные диски; 7 — винты; 8 — подшипники; 9 — маятниковая рама; 10 — серьга; 11 — пружина; 12 — индикатор часового типа; 13 — фрикционное колесо

закреплен в станине коромысла 2. Другое плечо рычага заканчивается рукояткой 1, с помощью которой двигатель включается, и фрикционное колесо 13 прижимается к ротору 4.

Маятниковая рама опирается на стойки (на схеме не показаны), закрепленные на станине, и может совершать колебания относительно горизонтальной оси опор (ось спроецирована в точку O).

Пружина 11 в виде балки круглого сечения одним концом шарнирно прикреплена к раме маятника посредством серьги 10; другой конец пружины зажат в раме.

Амплитуда колебаний рамы маятника измеряется с помощью 12-часового индикатора с ценой деления 0,01 мм. Горизонтальность рамы достигается регулировкой опорных винтов,

а контроль осуществляется по уровню, закрепленному в маятниковой раме.

В данной конструкции балансировочного стенда можно применить ряд измерительных модулей: акселерометр, виброметр и средства измерения угла дисбаланса относительно исходного положения (рис. 3). Наиболее эффективным методом измерения этого угла является использование фазометра, или угол можно определить по результатам нескольких измерений. Магнитный преобразователь испускает импульс каждый раз, когда проходит высокочастотный диск, и, таким образом, устанавливает исходное положение на окружности ротора.

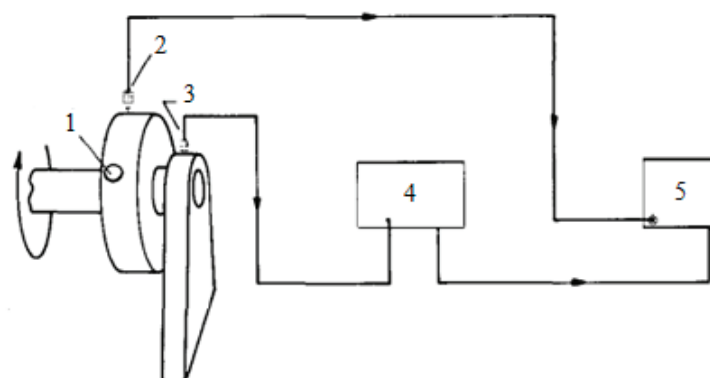


Рис. 3. Предлагаемые базовые измерительные датчики: 1 — высокочастотный диск; 2 — магнитный преобразователь; 3 — акселерометр; 4 — виброметр; 5 — фазометр

Аналогичным образом фотоэлектрический тахометрический зонд может быть закреплен для сканирования ротора с целью обнаружения метки срабатывания, например, кусочка клейкой ленты или окрашенного пятна с (инфракрасной) отражательной способностью, контрастирующей с фоном. При каждом проходе метки испускается импульс. Зонд должен питаться от источника постоянного тока напряжением от 6 до 10 вольт. Выходной сигнал датчика подается в опорный канал

(А) фазометра. Выходной сигнал от акселерометра подается на виброметр, который отображает уровень вибрации. Сигнал, снятый с «Выхода регистратора» Виброметра, подается в канал В Фазометра.

Таким образом, после запуска стенда, на виброметре будет отображаться уровень вибрации, а на фазометре — угол, которые вместе дают вектор, представляющий несбалансированную массу и направление ее действия.

## Литература:

1. Анципорович П. П. Балансировка вращающихся масс: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов» / П. П. Анципорович, В. В. Кудин, Е. М. Дубовская. — Минск: Белорусский национальный технический университет, 2011. — 27 с. — ISBN978-985-525-606-0.
2. Базров Б. М. Технология сборки машин / Б. М. Базров, О. В. Таратынов, В. В. Клепиков. — Москва: Спектр, 2011. — 368 с.

## Разработка автоматизированного станочного приспособления с использованием управляющих проектных процедур

Полухин Алексей Николаевич, студент магистратуры;  
Яковлев Алексей Андреевич, доктор технических наук, доцент;  
Сорокин Вадим Сергеевич, магистр;  
Царенко Александр Александрович, студент магистратуры  
Волгоградский государственный технический университет

*В статье рассматривается процесс, который позволяет путем создания физического принципа действия получить некоторое количество технических решений для охлаждающей системы и определить наиболее подходящие конструкционные решения для последующей реализации.*

**Ключевые слова:** физический принцип действия, система охлаждения, техническое решение, рабочее тело.

## Development of an automated machine fixture using control design procedures

Polukhin Aleksey Nikolayevich, student master's degree;  
Yakovlev Aleksey Andreevich, doctor of technical sciences, associate professor;  
Sorokin Vadim Sergeevich, master;  
Tsarenko Aleksandr Aleksandrovich, student master's degree  
Volgograd State Technical University

*The article discusses a process that allows, by creating a physical principle of operation, to obtain a number of technical solutions for a cooling system and determine the most suitable design solutions for subsequent implementation.*

**Keywords:** physical principle of operation, cooling system, technical solution, working fluid.

Особенностью научно-технического прогресса в области создания новых технологичных систем в промышленности является ускорение процесса подбора методов и технологий проектирования по отношению к сложности создаваемого изделия. Порядок действий конструктора, которому на данном этапе приходится одновременно проявлять свой талант, изобретательность, уровень владения инженерными знаниями довольно широкого профиля и постоянного поиска в творческой сфере, довольно сложно поддается автоматизации и формализации, от чего на этот вид работы и уделяется большое количество времени.

Данная проблема отчетливо проявляется в процессе проектирования систем охлаждения, чьими функциями безоговорочно является охлаждение отдельных узлов и систем, получение искусственного холода и поддержание необходимой температуры при работе изделия. Современные системы охлаждения работают на основе различных физических принципов действия и включают в себя большое количество конструкци-

онных узлов и элементов. В связи с этим, процесс разработки новой системы охлаждения требует решения многих нестандартных задач для обеспечения надежной конструкции изделия, набора необходимых характеристик и относительной его простоты. Таким образом, актуальной задачей является поддержка разработки новых конструктивных решений путем применения новых методов проектирования и анализа, реализация которых производится посредством использования соответствующего программного обеспечения для ЭВМ.

Решение данной задачи позволит добиться более близкого соответствия реальных показателей относительно требуемых из выбранного метода оценивания, а также увеличить работоспособность конструктора путем сокращения сроков конструкторских разработок.

В данной статье будут рассмотрены некоторые моменты поиска технологических конструкций для систем охлаждения, в частности, это этап моделирования физического принципа действия. На основе данной модели существует возможность

получения ограниченного множества новых технических решений, из которых требуется выбрать уже наиболее подходящие варианты для реализации в конструкции системы охлаждения.

Важнейшими задачами процесса поиска конструкций являются: получение максимального числа различных вариантов построения системы; выбор оптимального и эффективного варианта для последующей реализации.

Стандартный процесс выбора конструктивных элементов системы заключается в методе проб и ошибок, когда выбирается определенный прототип системы охлаждения, под который, в последствие, подбираются конструктивные элементы. Трудность метода заключается в том, что большое количество подбираемых элементов являются несовместимыми, что определяется только после анализа самим проектировщиком в процессе подбора. Это довольно сильно затрудняет и замедляет процесс работы проектировщика по созданию технологической системы.

Актуальность работы заключается в автоматизации данного процесса, так как самые основные аспекты в процессе создания системы охлаждения базируются на начальных стадиях проектирования.

В процессе работы, после проведения анализа по существующим методам проектирования технических систем, был сделан вывод, что подходящими будут методы, которые основываются на определенных моделях физического принципа действия. Такие модели, в основном, представляются в виде ориентированных графов. Но главной проблемой таких методов является затрудненный переход от модели физического принципа действия к конструктивной реализации, так как в них не учитывается возможное перемещение рабочего тела в пространстве, а также осуществление физических действий по времени.

С учетом полученных выводов, во внимание был принят инженерно-физический метод поиска конструктивных решений преобразователей энергии. Главное преимущество такого метода заключается в использовании новой модели физического принципа действия, который позволяет на основе принципов действия феноменологической термодинамики выявлять функции подбираемых конструктивных элементов. Далее проводится патентный поиск в специализированных базах данных, по типу ресурса ФИПС, и других подобных источниках, что дает возможность в последствие создать матрицу возможных технических решений для дальнейшей обработки наиболее подходящих вариантов. Проведенный анализ выбранного метода показал, что его действующие положения подходят для проектирования систем охлаждения, функциональным элементом которых является рабочее тело.

Для выполнения описанных ранее задач необходимо выполнить следующие предписания: определяем предметную область метода; проводим адаптацию модели физического принципа действия метода к выбранному классу технических систем; разрабатываем методику синтеза модели физического принципа действия и принципа действия проектируемой системы охлаждения.

В процессе определения предметной области метода были рассмотрены различные классификации систем охлаждения [3,

6], что позволило сделать вывод о том, что предметная область будет распространяться на системы, чье рабочее тело находится в газообразном или жидком состоянии. Наиболее известными представителями приходится парокompрессионные, абсорбционные, газовые, воздушные холодильные установки и другие охлаждающие системы, нашедшие применения в различных областях науки, техники и здравоохранения.

Также, при вышеупомянутом анализе было получено, что несмотря на широкую область применения систем, предназначенных для охлаждения, в них используется довольно небольшое количество физических эффектов. Это явления фазовых переходов, такие как кипение, испарение, конденсация, сублимация, плавление; дросселирование газов и жидкостей; адиабатическое расширение; вихревой эффект; эжекция [1, 2].

На основе работ [3, 5] таких ученых как В. А. Камаев и А. А. Яковлев были описаны главные принципы разработки модели физического принципа действия. Было заключено, что основу этих принципов составляет граф, который состоит из характерных точек и объектов окружения и дуг-потоков с дугами-взаимодействиями. Каждому явлению предназначена определенная топологическая структура из ранее описанных точек и дуг обоих типов.

В работе были разработаны примеры представления на графе физических эффектов, которые лежат в основе работы системы охлаждения. К примеру, охлаждение за счет кипения хладагента будет представлено следующими узлами на графе (рис. 1). На рисунке 1, а показан процесс кипения, который происходит при подводе тепла от внешнего источника; аналогичный же процесс, но без подвода тепла указан на рисунке 1, б. Таким же образом на графе модели физического принципа действия указываются и процессы испарения, конденсации, плавления и сублимации.

Аналогичным образом были составлены абстракции и для остальных физических процессов: процесс дросселирования газа, заключающийся в резком перепаде давления после протекания через узкое отверстие по типу дросселя или вентиля; дросселирование жидкости, подразумевающее под собой её выкипание посредством попадания жидкости в область более низкого давления; процесс адиабатического расширения газа, протекающий без теплообмена с окружающей средой; а также расширения газа с совершением внешней работы.

Представления физических процессов подобным образом дают возможность разрабатывать модели физического принципа действия для различных вариаций систем охлаждения, согласно положениям, которые изложены в работах [5, 6].

На рисунке 2, в качестве конкретного примера, показана конструктивная схема одного из основных вариантов газовой криогенной машины Стирлинга с одним теплым поршнем. Он состоит из следующих элементов: 1 — корпус; 2 — вытеснитель; 3 — шток вытеснителя; 4 — холодильник; 5 — шатун компрессора; 6 — вал; 7 — кривошип; 8 — шатун вытеснителя; 9 — охлаждающая рубашка; 10 — поршень; 11 — трубка для жидкого воздуха; 12 — полость для жидкого воздуха; 13 — горизонтальные перфорированные пластины; 14 — ребристая поверхность крышки; 15 — каналы; 16 — подвод воздуха; 17 — регенератор.



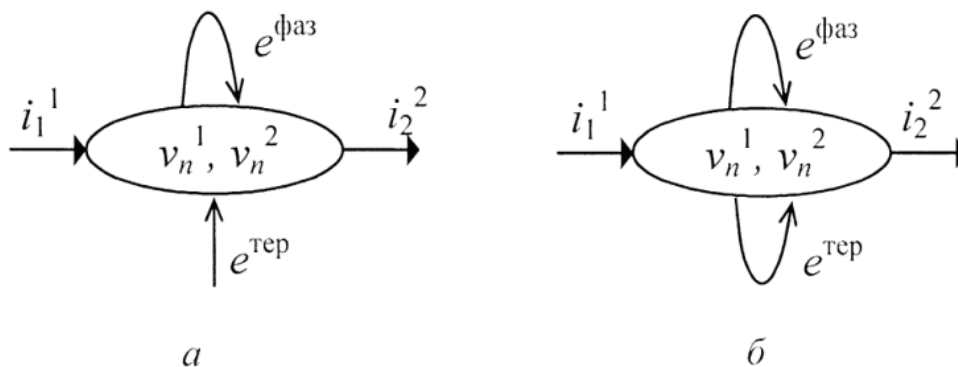


Рис. 1. Графическое представление процесса охлаждения за счет кипения хладагента:  $v_n^1, v_n^2$  — хладагент в газообразном и жидком состоянии;  $i_1^1, i_2^2$  — поток жидкого и газообразного хладагента, соответственно;  $e^{\text{фаз}}$  — фактор экстенсивности, сопряженный с фазовой формой движения;  $e^{\text{тер}}$  — фактор экстенсивности, сопряженный с термической формой движения

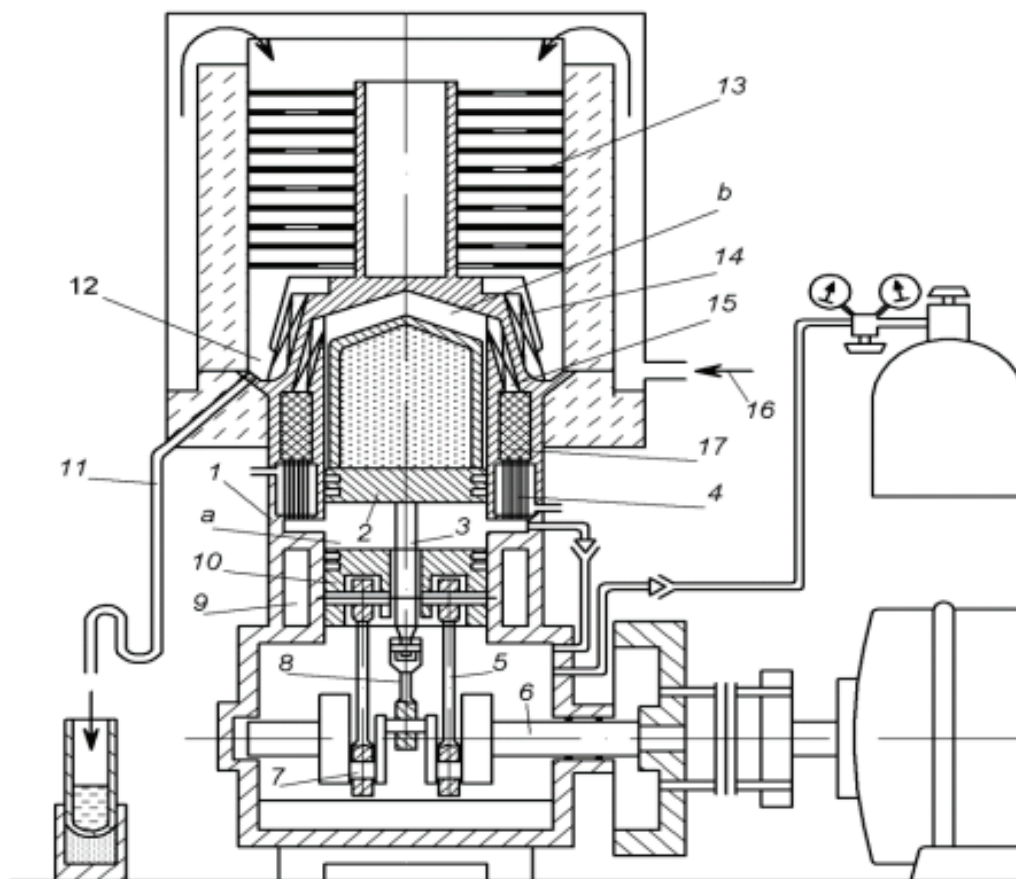


Рис. 2. Схема газовой криогенной машины Стирлинга

Разработанная же модель физического принципа действия для данной установки представлена на рисунке 3.

С учетом того, что физические явления осуществляются не стационарно, граф в левой части рисунка дополняется циклограммой из правой для отражения истинной последовательности всех процессов в течение одного цикла.

Аналогичные модели физических принципов действия с графическим представлением были разработаны для простого эжектора, парозежекторной холодильной установки, турбохолодильной машины и парокompрессионной холодильной

установки. Также, данный метод был использован на многих других системах охлаждения, что подтверждает правильность его выбора по отношению к рассматриваемому классу технических систем.

**Выводы.** Посредством применения инженерно-физического метода совместно с его моделью физического принципа действия, адаптированной под выбранный класс технических систем, мы можем позволить себе построить структуру проектируемой системы охлаждения в графическом виде. Используя данную структуру, которая в себе учитывает перемещение газа

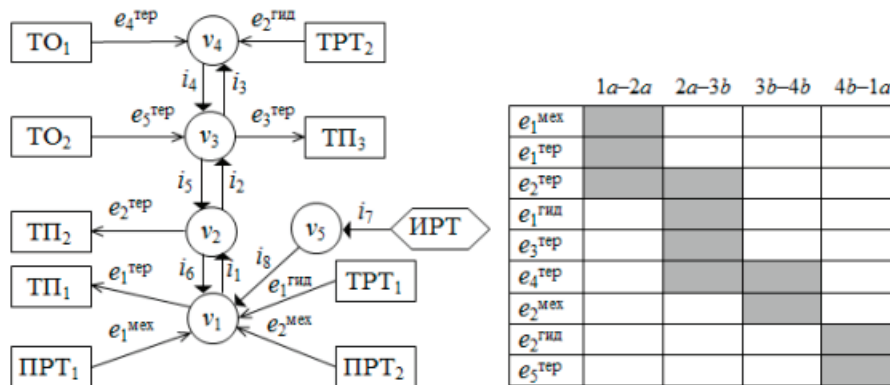


Рис. 3. Модель физического принципа действия криогенной машины Стирлинга

или жидкости, а также физические взаимодействия, проектировщик получает возможность в ускоренном формате продвигаться к этапу конструктивной реализации.

Стоит отметить, что описанные выше процессы никак не зависят от интуиции конструктора, поскольку осуществляются с жесткими правилами. Это, в свою очередь, позволяет еще и увеличить производительность труда на этапе проекти-

рования, что приведет к снижению стоимости и сроков разработки систем охлаждения.

В дальнейшем предусмотрена реализация следующих пунктов: разработка методик синтеза технических решений на основе модели физического принципа действия; разработка программного приложения для автоматизации процедур синтеза технических решений.

Литература:

1. Дячек П. И. Холодильные машины и установки: учебное пособие / П. И. Дячек. — Росто-на-Дону: Феникс, 2007. — 424 с.
2. Глазунов В. Н. Поиск принципов действия технических систем / В. Н. Глазунов. — Москва: Речной транспорт, 1990. — 143 с.
3. Камаев В. А. Обучение концептуальному проектированию преобразователей энергии на базе системного подхода / В. А. Камаев, А. А. Яковлев // Открытое образование. — 2005. — № 5 (52). — С. 62–69.
4. Яковлев, А. А. Метод синтеза технических решений технологических лазеров на углекислом газе / А. А. Яковлев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 2(17). С. 118–120.
5. Яковлев, А. А. Системный подход к разработке технических решений энергоустановок на начальных этапах проектирования / А. А. Яковлев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 2(17). С. 120–123.
6. Яковлев, А. А. Автоматизация поиска улучшенных вариантов технических решений преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. Т. 1. № 1(27). С. 115–117.
7. Коробкин Д. М. Автоматизация процесса формирования информационного обеспечения базы данных физических эффектов / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2005. — № 3. — С. 22–25.
8. Путилин С. С. Использование математических моделей и методов системного анализа для оптимизации управления работой аммиачной холодильной установки / С. С. Путилин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2013. — № 3
9. Яковлев А. А. Инженерно-физический подход к проектированию преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Справочник. Инженерный журнал. — 2006. — № 2. — С. 32–38

### Анализ роторных управляемых систем

Рагимов Сеймур Гусейн оглы, студент магистратуры  
 Научный руководитель: Шмончева Елена Евгеньевна, доцент  
 Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку)

В данной статье дается обзор систем роторного управляемого бурения и методов управления. Представлены классификация и принцип направленности. Перечислены основные методы и алгоритмы управления, применяемые в роторной управляемой системе.

**Ключевые слова:** роторная управляемая система, системы управления, гибридный тип, современная стратегия управления, стратегия интеллектуального управления, стратегия сложного управления.

## Analysis of rotary steerable systems

Rahimov Seymur Huseyn ogly, student master's degree  
Scientific adviser: Shmoncheva Elena Evgenevna, docent  
Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku)

*This article gives an overview of the rotor steerable system and control methods. The classification and the principle of direction are presented. Listed the basic methods and algorithms of control applied to the rotary steerable system.*

**Keywords:** rotary steerable system, control systems, hybrid type, modern control strategy, intelligent control strategy, complex control strategy.

За последние годы представлено много новых технологий бурения нефтяных скважин, таких как наклонно-направленное бурение, вертикальное бурение, ультразвуковое бурение, лазерное бурение и т.д. [1–5], которые могут сократить период бурения, повысить точность бурения и увеличить скорость проходки.

Роторная управляемая система (РУС) представляет собой новый автоматический способ наклонно-направленного бурения, разработанный в конце 1980-х годов [6], который в основном состоит из компоновки низа бурильной колонны (КНБК) и наземного центра мониторинга. РУС может автоматически регулировать угол наклона и азимут и поддерживать стабильность скважинной системы во время бурения. Скважинный рулевой инструмент, закрепленный на буровой установке, является ключевой частью КНБК для осуществления движения ствола скважины и управления траекторией бурения [7]. В настоящее время крупные нефтесервисные компании последовательно разрабатывают методики РУС [9].

Конструкция системы управления играет важную роль в РУС, которая в основном используется для управления величиной и направлением поперечной силы, чтобы направить буровое долото на желаемое направление [8].

В практической роторной управляемой системе на производительность бурения влияют литология, угол наклона, тип бурового долота, конфигурации и размеры КНБК, скорость вращения, нагрузка на долото, кривизна скважины и так далее. Трудно построить математическую модель системы и точно предсказать ее состояние из-за того, что внутрискважинные условия работы содержат многочисленные сильные нелинейности, колебания во времени и другие неизвестные возмущающие факторы. Поэтому для реализации точного управления РУС внедряются усовершенствованные алгоритмы и стратегии управления, которые в значительной степени решают проблемы в скважине, такие как низкая точность управления, плохой эффект управления и так далее.

Некоторые типичные РУС в технике бурения нефтяных скважин приведены в табл. 1 [8, 17].

Таблица 1. Типы РУС

Company	Year	Machine Model	Type
Baker Hughes Inteq	1997	Auto-Trak RCLS	Static bias push-the-bit
Pathfinder Energy Services	2003	Pathmaker	Static bias push-the-bit
Noble Corp, NDT	2004	Express Drill	Static bias push-the-bit
Terra Vici Drilling Solutions	2005	Terra Vici X2	Static bias push-the-bit
Schlumberger	1998	Power Drive SRD	Dynamic bias push-the-bit
Sinopec	2008	MRSS	Dynamic bias push-the-bit
Gyrodatta Incorporated		Well-Guide RSS	Static bias point-the-bit
Weatherford	2005	Revolution	Static bias point-the-bit
Halliburton	2006	EZ-Pilot	Static bias point-the-bit
Halliburton	2013	Geo-Pilot Dirigo	Static bias point-the-bit
Schlumberger	2003	Power Drive Xceed	Dynamic bias point-the-bit
Schlumberger	2011	Power Drive Archer	The hybrid type

Из этой таблицы видно, что большинство инструментов управления бурением РУС на ранней стадии относится к типу долота, например, PowerDrive SRD от Schlumberger, Auto-Trak RCLS от Baker Hughes и так далее. РУС в большинстве случаев могут эффективно выполнять задачу наклонно-направленного бурения, при этом необходимо решить несколько проблем. Например, выдвижные опоры, соединенные с гидравлическими цилиндрами, могут вызвать сильную крутильную вибрацию устойчивой платформы, даже вызвать спиралевидное движение ствола скважины

и затруднить цементирование и заканчивание скважины. Для того, чтобы преодолеть эти недостатки были разработаны Power Drive Xceed от Schlumberger и GeoPilot от Halliburton.

В последние несколько лет некоторые исследователи изучают новый гибридный тип с преимуществами как push-the-bit, так и point-the-bit. Ярким примером является PowerDrive Archer от Schlumberger [10, 11].

Роторная управляемая система регулирует параметры процесса бурения в соответствии с заранее определенными проце-

дурами для выполнения задачи управления траекторией и направлением ствола скважины.

Точное управление траекторией бурения представляет собой сложную и трудную задачу, поскольку она связана с многочисленными сильными нелинейностями, временными вариациями и другими неизвестными возмущающими факторами. Чтобы получить лучший эффект направленного управления, в систему управления РУС было введено множество стратегий управления, помимо традиционного управления без обратной связи.

**Современная стратегия** управления в основном используется для решения сложной многопараметрической изменяющейся во времени системы управления на основе модели состояний пространства. Некоторые проблемы управления РУС, такие как управление траекторией ствола скважины, могут быть преодолены путем применения некоторых современных стратегий управления, таких как надежное управление, оптимальное управление, адаптивное управление, прогнозирующее управление, управление скользящим режимом и так далее.

Сун и др. [12] предложил адаптивный регулятор, основанный на схеме быстрой оценки, которая в основном состоит из предиктора состояния, адаптивного закона и закона управления. При скоординированной работе этих трех компонентов контроллер может компенсировать погрешности в системе и управлять выходными данными системы, чтобы отслеживать выходные данные стабильной эталонной системы, что приводит к однородной гарантированной производительности, как в переходном, так и в установившемся режиме.

Кремерс и др. [13] представили основанный на модели надежный подход синтеза контроллера, который позволяет бу-

реть скважины сложной геометрии, предотвращая спиральность ствола скважины.

Ван де Ваув [14] предложил управление наклоном с обратной связью по выходу для решения той же проблемы надежного отслеживания.

Чжоу [15] и Дай [16] представили ступенчатую общую стратегию прогнозирующего управления и метод дискретного прогнозирования, основанный на расширенном минимальном пространстве состояний для стабилизированной платформы соответственно.

**Стратегия интеллектуального управления** представляет собой синтез искусственного интеллекта, автоматического управления, оперативных исследований и теории информации. Это класс методов управления, в которых используются различные подходы к интеллектуальным вычислениям, такие как нечеткая логика, нейронные сети, байесовская вероятность, машинное обучение, эволюционные вычисления и другие.

**Стратегия сложного управления** всесторонне применяет два или более методов управления для реализации системы управления РУС в соответствии с ее свойствами множества переменных, временных вариаций, неопределенности и нелинейности. Можно избежать нехватки каждого метода и получить более высокую производительность.

## Выводы

Согласно этому обзору, можно сделать вывод, что роторная управляемая система получила большое развитие благодаря напряженной работе исследователей. В этой статье представлены классификация, принцип направления, а также несколько переносимых методов управления.

## Литература:

1. W. Jiang, S. Jiang, X. Fu and P. Chen. «Application of Rotary Steering Drilling Technology and Its Research Progress,» China Natural Gas Industry, 2013, 33(4): 75–79.
2. L. Wang et al. «Discusses of Rotating Ultrasonic Drilling Mechanism and Analysis of the Compound Horn Synchronous Vibration,» Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2012:1282–1285.
3. Y. Xu, L. Zhou, H. Qian and P. Song. «The Study of Laser Rock Breaking Method and Its Application in Well Drilling,» China Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 129–134.
4. C. Ketata, M. G. Satish, and M. R. Islam. «Expert System Knowledge Management for Laser Drilling in the Oil and Gas Industry,» Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, 2005 and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, International Conference, 2005: 930–938.
5. W. Chen and T. Huang. «Present State and Developing Trend of Casing Drilling Technology,» China Petroleum Drilling Techniques, 2002, 30(1): 16–19.
6. J. Yang and S. Zhang. «Rotary Closed-loop Steerable Drilling System». China Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25(1): 1–5.
7. S. Li, Y. Wang, L. Zhang and Y. Xu. «Analysis and Optimization of Static Push-the-Bit Rotary Steering Control Scheme,» Oil Drilling & Production Technology, 2015, 37(4): 12–15.
8. J. Lei, G. Yang, T. Liang, and C. Hu. «Steering Principles of Rotary Steerable Drilling Systems in China and Abroad,» China Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(9): 53–58.
9. Q. Xue, Q. Ding and L. Huang. «The Latest Progress and Development Trends of Rotary Steering Drilling Technology,» China Petroleum Machinery, 2013, 42(7): 1–6.
10. M. Wang and X. Guang. «Advanced and Trend of Directional Drilling Technology,» China Petroleum Machinery, 2015, 43(7): 12–18.
11. E. Felczak and A. Torre. «The Best of Both Worlds—A Hybrid Rotary Steerable System,» Oilfield Review, 2011/2012, (4): 26–44.
12. H. Sun, Z. Li, N. Hovakimyan, T. Basar and G. Downton. «L1 Adaptive Controller for a Rotary Steerable System,» IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2011: 1020–1024.



13. N. A. H. Kremers, E. Detournay and N. Van de Wouw. «Model-Based Robust Control of Directional Drilling Systems,» IEEE Transaction on Control System Technology, 2015, 6(11): 226–239.
14. N. van de Wouw, N. A. H. Kremers and E. Detournay. «Output-feedback Inclination Control of Directional Drilling Systems,» International Federation of Automatic Control, 2015.
15. J. Zhou, A. Huo, Y. Wang and F. Zhu. «Study on Generalized Predictive Control for Rotary Steering Drilling Stable Platform,» China Computer Simulation, 2015, 3(3):304–409.
16. C. Dai, A. Huo, Y. Wang, N. Tang and W. Cheng. «Discrete Model Predictive Control of Stabilized Platform Based on Augmented Minimal State-Space Method,» Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2013, 1(1): 84–87.
17. C. Zhang, W. Zou, N. Cheng (2016). Overview of rotary steerable system and its control methods. 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. doi:10.1109/icma.2016.7558796

## Использование апельсинового пектина в производстве вафельного полуфабриката

Саломатов Алексей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;  
Тошев Жахонгир Абдувалиевич, студент магистратуры  
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

*Целью настоящего исследования было оценить влияние добавок пектина в производстве вафельного полуфабриката. Вафельный полуфабрикат был приготовлен по классической технологии с добавлением апельсиновой корки. Все образцы оценивали на сухие вещества, влагосвязывающую способность, жиросвязывающую способность и зольность.*

**Ключевые слова:** пектин, производство, кожура апельсина, вафельный полуфабрикат, зольность.

### Введение

Пектин — это натуральный продукт, представляет собой структурный кислый гетеро полисахарид, содержащийся в первичной и средней пластинках и клеточных стенках наземных растений. Его основным компонентом является галактуроносовая кислота, сахарная кислота, полученная из галактозы. Используется в десертах начинках, лекарствах, сладостях, в качестве стабилизатора во фруктовых соках и молочных напитках, а также в качестве источника пищевых волокон. Дозировка принимается в количестве 0,1–0,2% к массе муки. Количество вносимого улучшителя зависит от содержания сырой клейковины и ИДК муки. [1].

Пектин состоит из остатков галактуроносовой кислоты и сложных метиловых эфиров галактуроносовой кислоты, образующих линейные полисахаридные цепи, и обычно классифицируется по степени этерификации (СЭ): — ВЭ (высокоэтерифицированный) пектин имеет СЭ выше 50, образует гели и структурированные жидкости в условиях высокой кислотности и низкой активности воды (например, высокой концентрации сахара, сорбита или глицерина). Из-за свойств пектин используется в агрохимической и фармацевтической промышленности для выделения пектина. Основное применение пектина в качестве желирующего агента, загустителя и стабилизатора в пищевых продуктах. Классическое применение — придание желеобразной консистенции джемам или мармелодам, которые в противном случае были бы сладкими соками. Пектин также уменьшает синерезис в джемах и мармеладах и увеличивает прочность геля низкокалорийных джемов. Пектин традиционно используется в качестве желирующего

агента в широком спектре продуктов на основе апельсина, на примере апельсиновой начинки для кондитерских изделий [3].

Пектин определяется как сложные смеси полисахаридов, которые составляют примерно одну треть сухого вещества клеточной стенки большинства видов растений. Функция пектина в растениях заключается в обеспечении структурной целостности клеточной стенки и адгезии между клетками [4]. Часть остатков галактуроносовой кислоты обычно этерифицируется метанолом. Пектины растений могут быть водорастворимыми, хелатирующими или протопектиновыми. Методы экстракции будут зависеть от фактического состава каждого конкретного типа растений. Например, протопектины переводятся в раствор горячими разбавленными кислотами. Общий состав содержания пектина меняется в зависимости от созревания растения, и он довольно легко переводится в раствор в зависимости от типа растения. После экстракции пектин состоит из гладких областей галактуроносовой кислоты с небольшим количеством нейтральных сахаров. Пектин извлекается в основном из кожуры цитрусовых и яблочной выжимки, но существует несколько других источников, таких как сахарная свекла, картофель, груши, плоды щиповника и корзинки подсолнечника [2].

Поскольку пектин является натуральной добавкой в пищу, он рассматривается для ряда применений, помимо вафельного теста. Пектин теперь используется в качестве загустителя, связующего для воды и стабилизатора. Он используется в йогуртах и глазури для кондитерских изделий, а также в качестве стабилизатора в питьевых йогуртах и смесях молока и апельсинового сока [3].

### Методы исследования

Для определения физико-химических свойств пектина, выработанного из апельсиновой корки, были взяты следующие показатели: сухие вещества, влагосвязывающая способность, жиросвязывающая способность и зольность.

Сухие вещества определяли по ГОСТ 26574–2017. Навеску пектина массой 5 г высушивали в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией при температуре 130°C в течение 2 часов.

Влагосвязывающую способность определяли следующим образом: 4 г пектина помещают в полиэтиленовую пробирку

с перфорированным вкладышем. Пробы центрифугируют в течение 20 мин при частоте вращения 100 с-1. После центрифугирования пробы взвешивают и к массе пробы добавляют массу веществ, содержащихся в отделенной центрифугированием жидкости. Эту массу веществ определяют высушиванием при 105°C до постоянной массы.

Жиросвязывающую способность определяли аналогично влагосвязывающей способности, только вместо воды использовали растительное масло.

Зольность определяли по ГОСТ 27494–2016.

Пектин, полученный из апельсиновых корок, имел следующие физико-химические показатели качества (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические показатели качества пектина из апельсиновых корок

Параметр	Показатели
Сухие вещества,%	86,1
Влажность,%	13,9
Влагоудерживающая способность,%	44,09
Жироудерживающая способность,%	15,13
Зольность,%	2,0

### Обсуждения

По результатам можно сделать следующие выводы: пектин способен удерживать 44,09% влаги от своей массы, жира — 15,13%. Пектин содержит в себе 86,1% сухих веществ, исходя из чего можно сделать вывод, что он будет долго храниться.

Подводя результат, хочется сказать, что пектин полученный из апельсиновых кожуры, решает проблему переработку последних, имеют небольшую себестоимость. Его можно добавлять в различные кондитерские изделия, напитки, а также применять в фармацевтической отрасли.

### Литература:

1. Van Buren, J. P. 2012. Function of pectin in plant tissue structure and firmness. In *The Chemistry and technology of pectin*. Academic Press. California.
2. Tobias I. Ndubuisi Ezejiofor, N. V. Eke, R. I. Okechukwu, R. N. Nwoguikpe and C. M. Duru. (2017) Waste to wealth: Industrial raw materials potential of peels of Nigerian sweet orange (*Citrus sinensis*). *African Journal of Biotechnology* Vol. 10 (33).
3. International Pectin Producers Association, 2016.
4. Crandall, P. G., R. J. Braddock, A. H. Rouse, 2015, Effect of drying on pectin made from Orange peel and lemon pomace, *Journal of Food Science*.
5. ГОСТ 27494–2016. Мука и отруби. Методы определения зольности
6. ГОСТ 26574–2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия
7. Аверьянова Е.В, Школьникова М. Н. Пектин: методы выделения и свойства: методические рекомендации к выполнению лабораторных работ для студентов //Алт. гос.техн. ун-т, БТИ.— 2015.— 42 с.
8. Ардатская, М. Д. Клиническое применение пищевых волокон //М.: 4ТЕ Арт,2010.— 48 с.
9. Кехтер И. В. Технология функциональных продуктов питания с длительным сроком хранения. Методические указания // М.: 2017.— 134 с.
10. Потрясов Н. В., Акопян К. В., Пономаренко А. В. Использование пектина в различных технологиях // Молодой ученый.— 2014.— № 4.— С. 242–244.
11. Рациональное питание. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: методические рекомендации МР 2.3.1. 19150.//М.: Медицина, 2004.— 25 с.

## Моделирование множественных популяций организмов клеточным автоматом с визуализацией на Unity

Смирнов Макар Сергеевич, студент

Научный руководитель: Сорокин Алексей Андреевич, старший преподаватель

Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения

*В данной статье исследуется возможность моделирования популяции при помощи клеточного автомата. Прогнозирование является одним из важнейших методов при борьбе с вымиранием видов животных и при помощи компьютерных технологий, появляется возможность более автоматизировано и эффективно прогнозировать популяцию существ в их среде обитания.*

**Ключевые слова:** клеточные автоматы, математическое моделирование, прогнозирование.

Прогнозирование и моделирование позволяет ученым предотвратить возможные отрицательные события или снизить ущерб от них. Это могут быть как природные и техногенные катастрофы, так и имитирование исторических данных, для анализа их изменения. Поэтому оно является одним из важнейших методов для современных исследователей. При помощи компьютеров появилась возможность задействовать этот метод более эффективно и точно. Одним из самых известных вариантов является клеточный автомат. При его помощи становится возможной реализация прогноза по распространению популяции каких-либо видов животных в рамках определенной системы. Например, на основе клеточного автомата была создана модель, которая демонстрирует особенности формирования границ государств [1], некоторые усредненные результаты которой достаточно точно совпадают с историческими или нынешними данными, пример изображен на рис. 1.

Для начала стоит дать определение, что же такое клеточный автомат. Клеточный автомат — дискретная модель, изучаемая в математике, теории вычислимости, физике, теоретической биологии и микромеханике. Представляет собой сетку произвольной размерности, каждая клетка которой в каждый момент

времени может принимать одно из конечного множества состояний, что в нашем случае позволяет создавать условия с неограниченным количеством параметров, а точнее множественных популяций [2].

Для того, чтобы сконцентрироваться на разработке конечной программы выполняющую моделирование, для визуализации был задействован графический игровой движок Unity [3]. За основу клеточного автомата изначально были взяты правила «Игра Жизнь» как заведомо проверенные и рабочие. В правилах отсутствуют так называемые «Агрессоры», иначе говоря клетки хоть и разных популяций не претендуют на захват друг друга, отчего система быстро приходит в стабильное состояние. Так же, если бы в жизни все было линейно, а иначе, предсказуемо, тогда человеку не понадобились никакие прогнозирующие методы. Поэтому в систему распространения популяций был добавлен элемент генератора псевдослучайных чисел, что позволило создать систему, в которой захват клетки определенной популяцией будет возможен лишь с вероятностью 50 процентов. Для реализации описанного алгоритма была разработана система, позволяющая моделировать неограниченное количество популяций, поэтому будут пока-



Рис. 1. Пример усредненного результата моделирования [1]

заны тесты разных вариаций. Созданная программная модель не претендует на высокую точность, так как на ее генерацию, влияет лишь одно свойство, что может избавить систему от линейности, когда как на точность влияет именно детерминированность факторов [4].

Для начала работы программы требуется выставить начальные точки образования популяций как на рис. 2, слева. После запуска моделирования, шаг за шагом генерируется популяция по описанным правилам, в конце которой мы получаем стабильную систему как на рис. 2, справа.

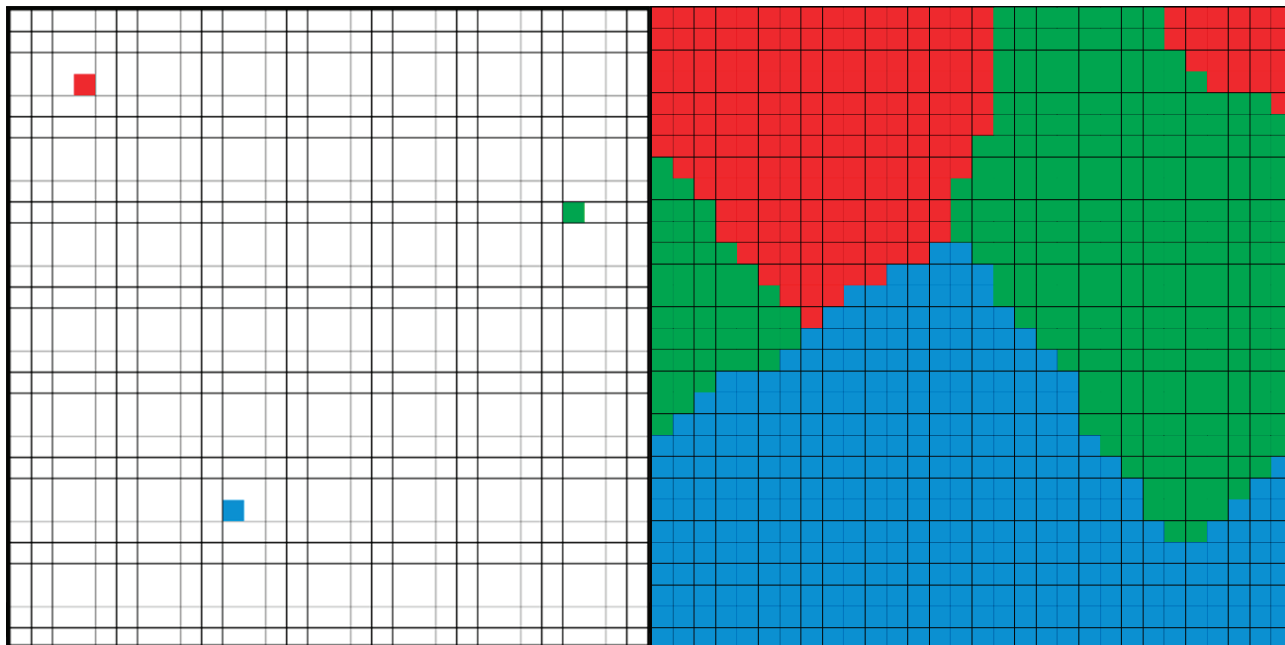


Рис. 2. Система с тремя популяциями

Также видно, что некоторые популяции разделены между собой по разным частям поля. Это происходит из-за того, что несмотря на то, что мы видим поле как прямое, с точки зрения вычислений оно является схожим с поверхностью тора, от чего

клетки при переходе на край выходят с другого края. Эта система схожа с реализацией клеточного автомата «Игра жизнь» [5]. Далее на рис. 3 и рис. 4. Представлены результаты моделирования для четырех и шести популяций, соответственно.

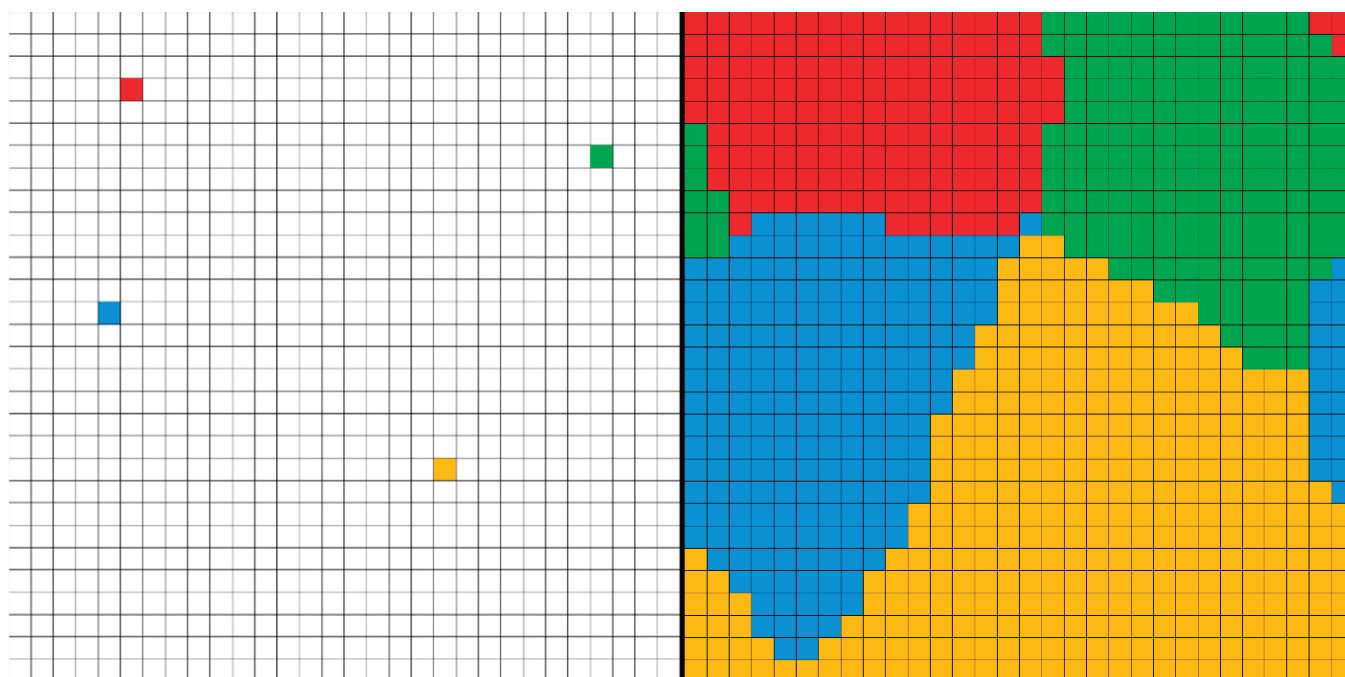


Рис. 3. Система с четырьмя популяциями



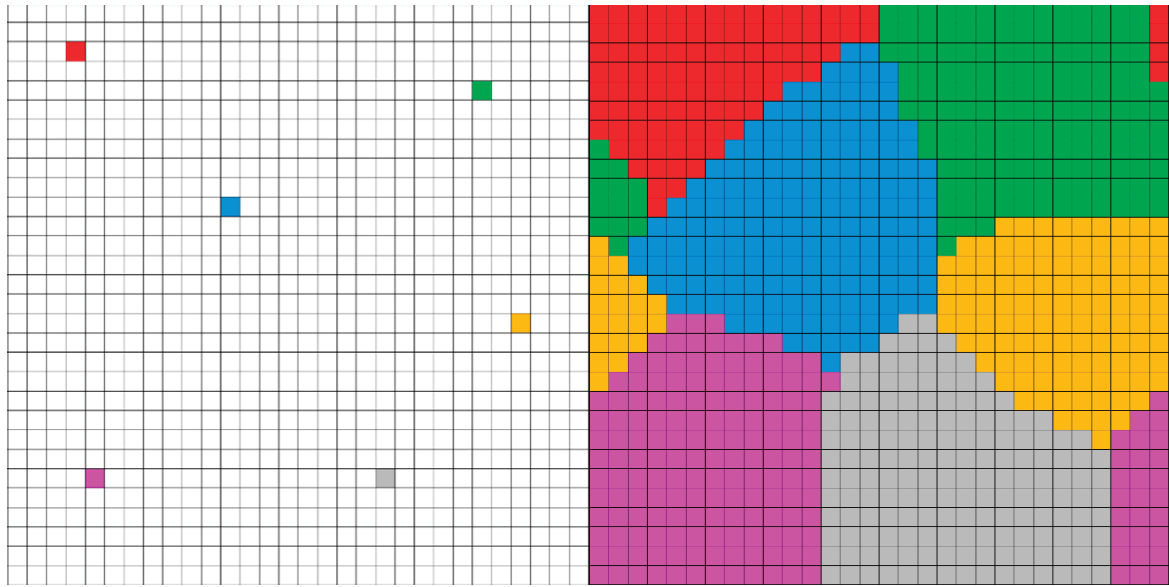


Рис. 4. Система с шестью популяциями

Для последней системы (рис. 4) был составлен график количества захваченных клеток каждой популяции в течении двенадцати ходов, который можно увидеть на рис. 5. Так же было проведено несколько дополнительных исследований, чтобы определить, зависит ли размер конечной популяции в зависимости от ее положения на поле (рис. 6, рис. 7).

Как можно заметить, самой маленькой популяцией является зеленая. Для того чтобы подтвердить зависимость результатов от расположения начальных точек популяций, были проведены еще 2 тестирования, в каждом из которых начальная точка зеленой популяции была сдвинута на 10 клеток по обеим осям ближе к центру (рис. 8). Влияние из-

менений стартового положения видно из графиков на рис. 9 и рис. 10.

По результатам первого теста можно сделать вывод, что от сдвига начальной популяции ее размер действительно вырос. Но после второго можно увидеть, что сдвиг на еще десять клеток не сильно повлиял на зеленую популяцию, зато повлиял на близкую к ней оранжевую.

По результатам тестирования можно сказать, что в системе размер популяции зависит не от ее начальной позиции по отношению к центру, а от расположения соседних популяций. В результате получилось реализовать простейшую модель популяций, без агрессивных особей не независимых от их рас-

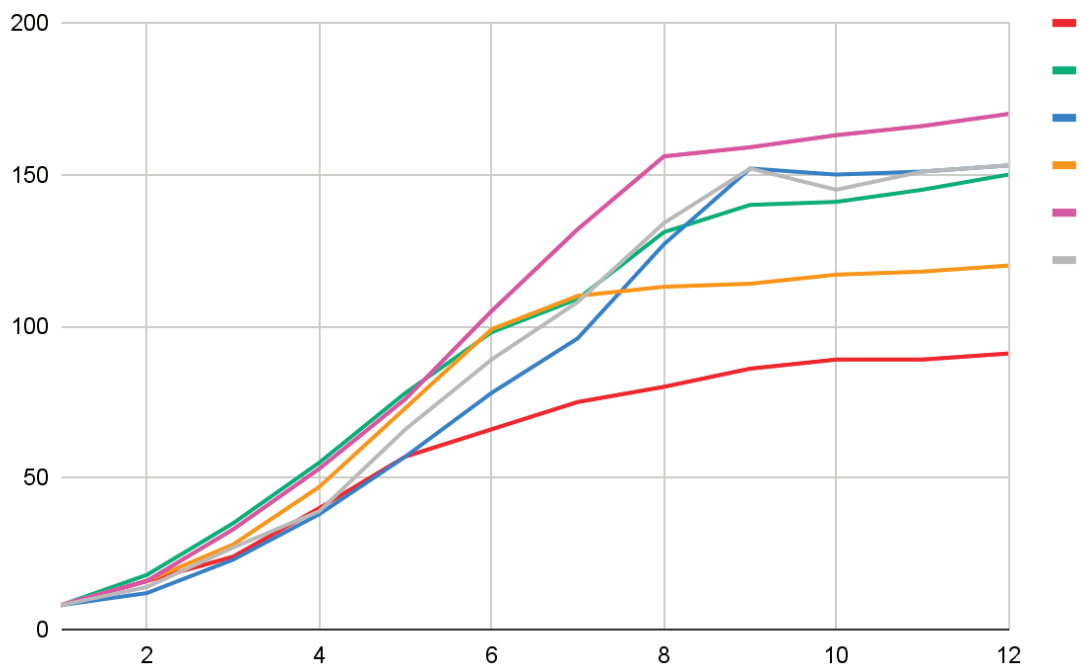


Рис. 5. График роста количества захваченных популяциями клеток

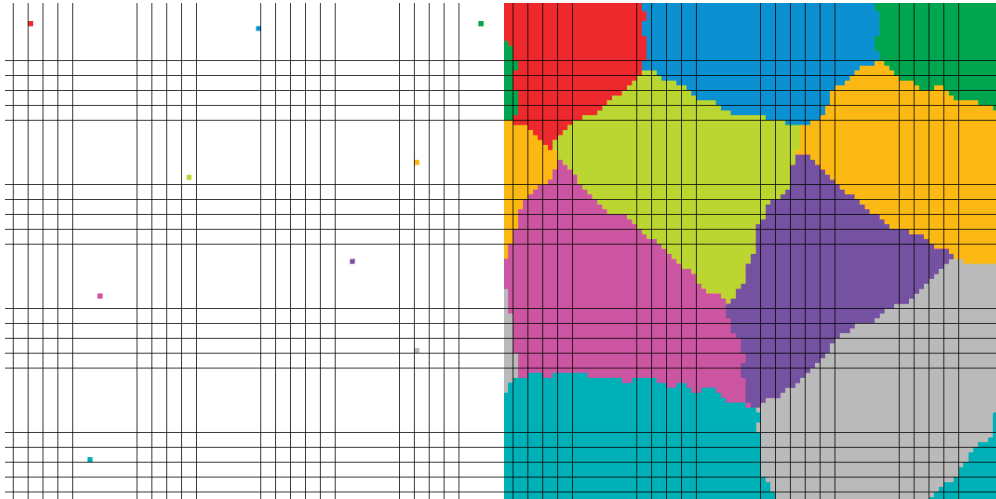


Рис. 6. Система с шестью популяциями, второй тест

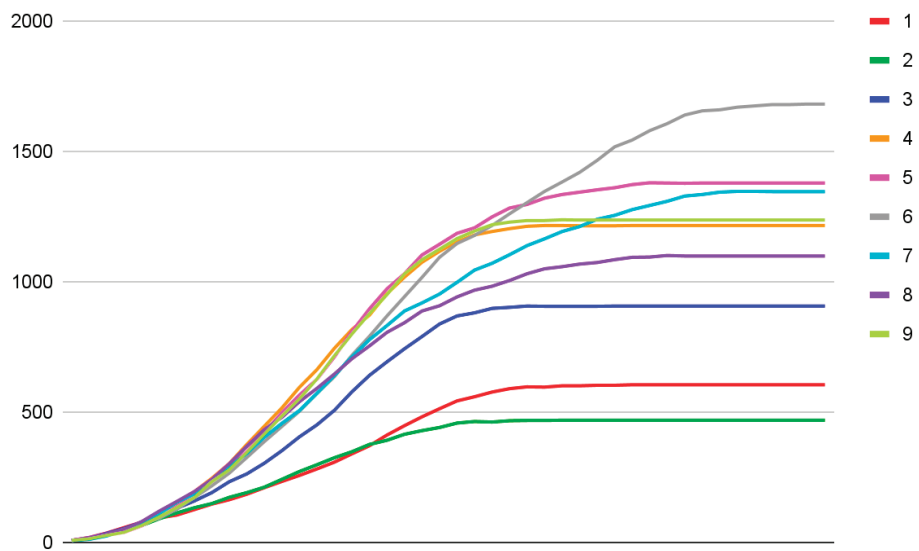


Рис. 7. График роста количества захваченных популяциями клеток

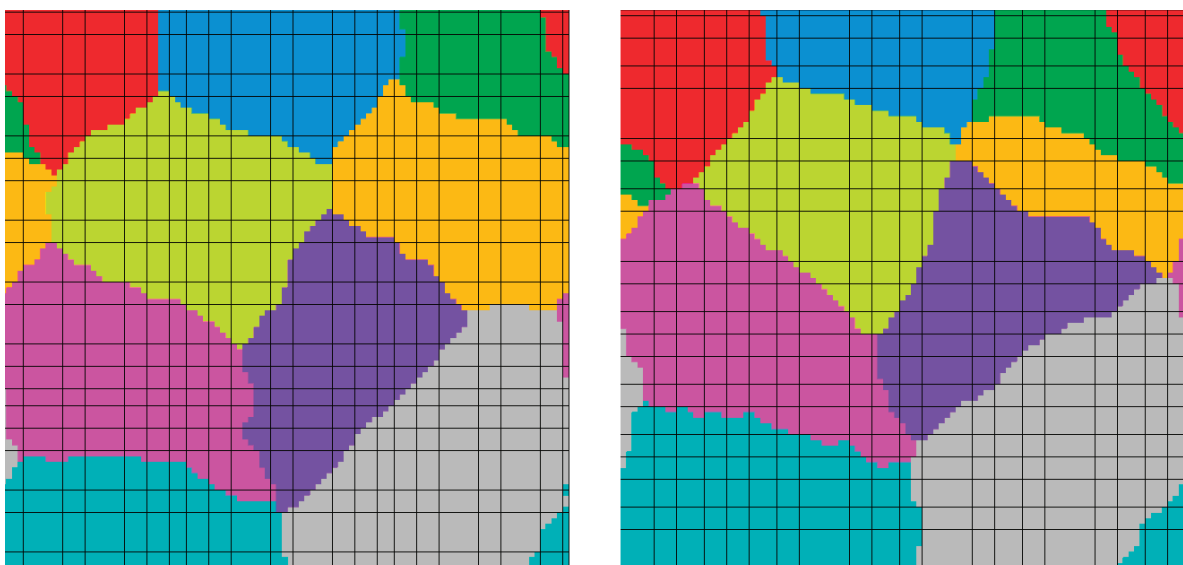


Рис. 8. Смещение начальной точки

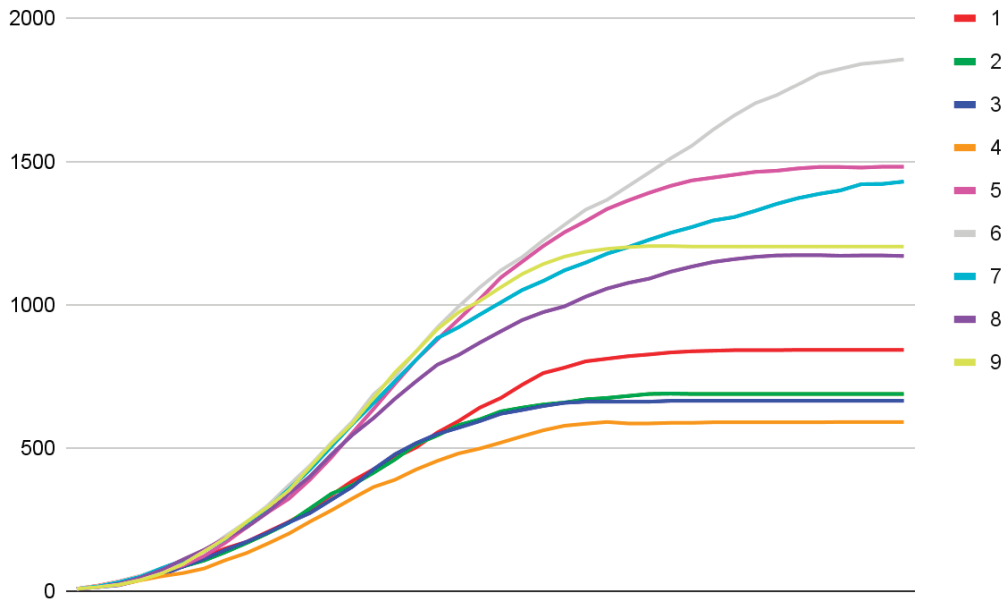


Рис. 9. Первое смещение начальной точки зеленой популяции

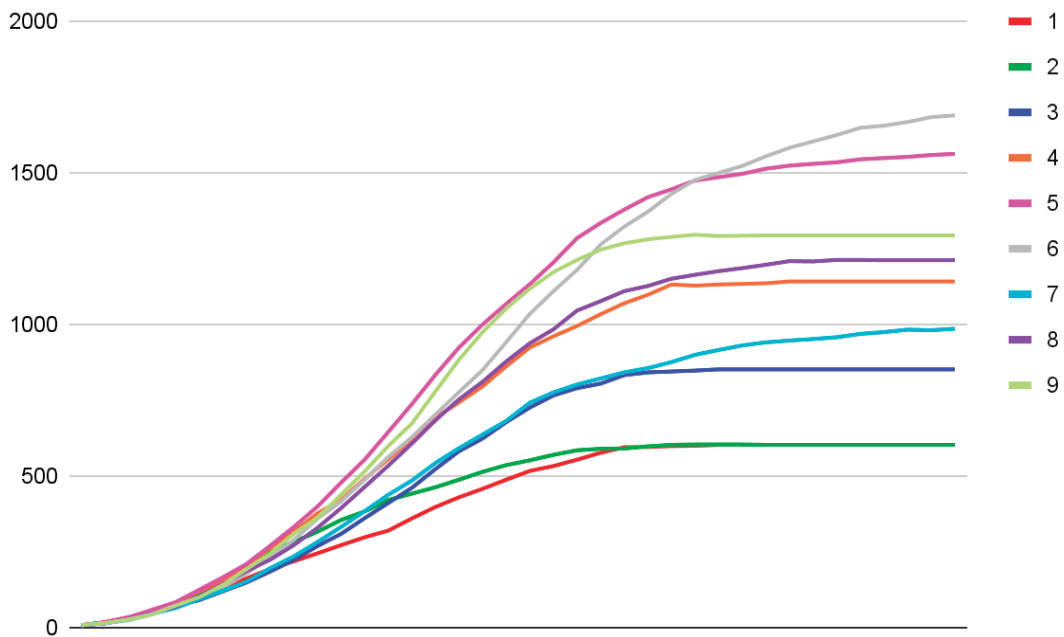


Рис. 10. Второе смещение начальной точки зеленой популяции

положения относительно центра. Распространение с учетом заданных данных и генератором случайных чисел позволяет

смоделировать правдоподобную картину в определенный момент времени.

#### Литература:

1. Арабей, С. О. Имитационное моделирование аграрных обществ методом клеточного автомата / С. О. Арабей, И. С. Нилов; научный руководитель Ю. В. Рождественский // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых, Санкт-Петербург, 07–10 апреля 2015 года.— Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015.— С. 27–29.— EDN VEFJYJ.
2. Простейшие клеточные автоматы и их практическое применение.— Текст: электронный. // Хабр: [Сайт].— 2016.— URL: <https://habr.com/ru/post/273393/> (дата обращения: 01.03.2022).

3. Сорокин, А. А. Графические движки как средство моделирование лабораторий / А. А. Сорокин, Е. А. Яковлева // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве: Тезисы докладов I Международного форума, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2021 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. — С. 164–165. — EDN TPPECX.
4. Рождественский, Ю. В. Квантово-механическая интерпретация исторической динамики в рамках моделирования границ аграрных государств / Ю. В. Рождественский, Р. А. Коваленко // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве: Тезисы докладов I Международного форума, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2021 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. — С. 257–258. — EDN LOJOC.
5. Поиграем в жизнь. — Текст: электронный. // Хабр: [Сайт]. — 2009. — URL: <https://habr.com/ru/post/63848/> (дата обращения: 01.03.2022).

## Возможность применения накопителей энергии в национальной электрической сети Республики Казахстан

Уалиханова Инкар Еркинқызы, студент магистратуры  
Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина (г. Нур-Султан)

*В статье автор пытается определить возможность применения накопителей энергии в национальной электрической сети Казахстана.*

**Ключевые слова:** национальная электрическая сеть Казахстана, накопители энергии.

На сегодняшний день самым распространенным и продвинутым типом накопителей энергии (НЭ) являются литий-ионный тип НЭ, получивший распространение за счет широкого использования в транспорте. Также в промышленных масштабах применение литий-ионных систем накопителей энергии (СНЭЭ) является более оптимальным вариантом, вследствие высокого КПД, а также в связи с тем, что маховики имеют низкую максимальная мощность, у свинцово-кислотных аккумуляторов низкая плотность тока по сравнению с литий-ионным накопителем, проточные НЭ являются более дорогим вариантом, хоть и с более продолжительным сроком эксплуатации.

Электрохимический тип НЭ получил наибольшее распространение в виду того, что такие устройства могут выдерживать ежедневные заряды/разряды, при средней продолжительности циклов 5–10 часов, а также могут практически мгновенно изменять собственный режим работы и позволяют масштабировать систему накопления в сторону увеличения номинальной энергоемкости [1].

В связи с вышесказанным для дальнейшего исследования возможности применения НЭ в Национальной электрической сети (НЭС) Казахстана, далее будут рассматриваться только электрохимический тип НЭ, а именно литий-ионные аккумуляторы.

На сегодняшний день в Казахстане отсутствуют нормативно-технические документы, регламентирующие методику выбора НЭ, в части выбора мест размещения, выполняемых функций, параметров НЭ, таких как максимальная мощность и электроемкость. В странах, где применяются накопители энергии, имеются свои требования к СНЭЭ.

Расчет оптимальных параметров СНЭЭ (по энергоемкости и мощности) зависит от функций и применения. Выбор параметров СНЭЭ был осуществлен для следующих функций:

- 1) резерв регулирования;
- 2) обеспечение мощности для покрытия неравномерности суточного графика нагрузки в связи с внедрением объектов ВИЭ в НЭС Казахстана;
- 3) гибридные станции ВИЭ-СНЭЭ для сглаживания профиля ВИЭ.

В связи с вышеперечисленным, установленная мощность СНЭЭ выбрана в зависимости от установленной мощности ВИЭ:

- 1) поскольку ошибка прогнозирования генерации ВИЭ составляет 15–20%, для покрытия неравномерности суточного графика нагрузки объектов ВИЭ, мощность СНЭЭ целесообразно выбирать в диапазоне 15–20% от установленной мощности станции ВИЭ;

- 2) для полного сглаживания профиля выработки ВИЭ и обеспечения мощности в часы пиковой нагрузки, понадобятся СНЭЭ мощностью в 50% от установленной мощности ВИЭ.

В случае применения СНЭЭ в гибриде с СЭС, целесообразнее использовать как минимум половину номинальной мощности станции, рассчитанной, по меньшей мере, на 4 часа работы, в соответствии с рисунком 1. Зимний пик нагрузки в энергосистеме Казахстана приходится приблизительно на 19:00 ч, а солнечная генерация снижается с 15:00 до 17:00, следовательно, для покрытия пиковой нагрузки с использованием солнечной энергии, накопленной в СНЭЭ в дневное время, потребуется 4-часовая система СНЭЭ.



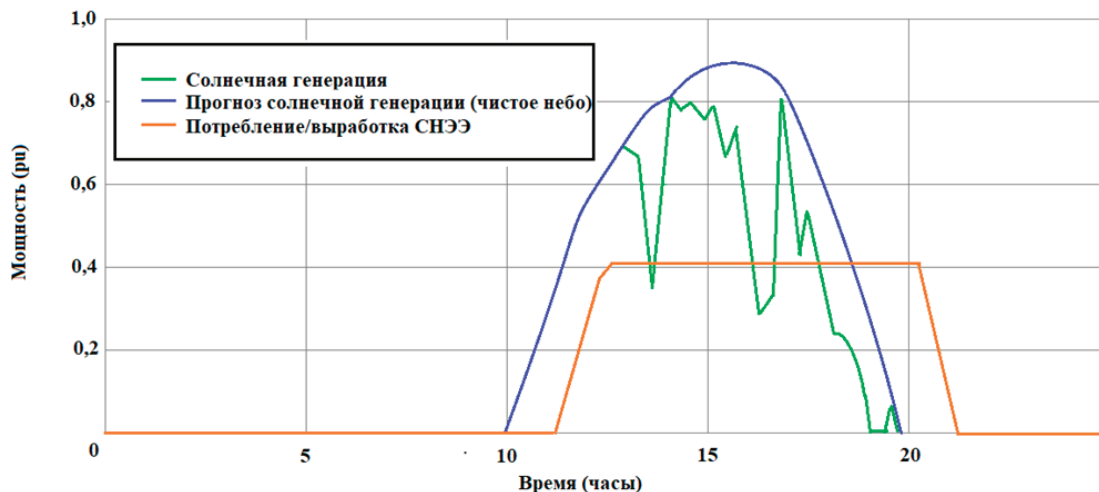


Рис. 1. Работа СЭС в гибриде с СНЭ

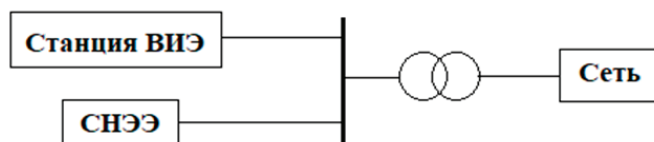


Рис. 2. Схема подключения СНЭ

В соответствии с рисунком 2 изображена самая распространенная схема СНЭ в гибриде с ВИЭ с [2].

СНЭ могут подключаться к НЭС как в гибриде со станциями ВИЭ, так и автономно к подстанциям.

Местоположение установки СНЭ выбирается по критерию близости к станциям ВИЭ, подключенных к НЭС. Учесть другие критерии выбора мест установки, таких как в случае подключения СНЭ автономно к подстанциям, наличие свободных ячеек, и другой информации необходимой для подключения к НЭС не представляется возможности в виду отсутствия данной информации в свободном доступе.

Однако в этом случае оптимальным решением будет подключение СНЭ в узких местах НЭС и энергодефицитных зонах Казахстана.

На основе карта-схемы электрических сетей Единой энергосистемы Казахстана [3] были выбраны станции ВИЭ, подключенные непосредственно к НЭС указанные в таблице 1.

Данные по установленным мощностям и КИУМ были взяты с карты объектов ВИЭ, находящихся в свободном доступе на информационном сайте [4]. Среднегодовая выработка была рассчитана как произведение КИУМ и максимально возможной выработки станции за год.

Таблица 1. Субъекты ВИЭ, подключенные к НЭС Казахстана

Область	Установленная мощность, МВт	Среднегодовая выработка, тыс.кВт*ч	КИУМ
Актюбинская область	96	336 384	40%
Акмолинская область	145	508 080	40%
	100	113 880	13%
Карагандинская область	76	99 864	15%
Восточно-Казахстанская область	50	262 800	60%
Алматинская область	100	131 400	15%
	50	83 220	19%
	100	122 640	14%
Туркестанская область	78	109 325	16%
Жамбылская область	100	131 400	15%
	100	262 800	30%
Итого	995	2 161 793	26%

Согласно 1 таблице, установленная мощность станций ВИЭ, подключенных к НЭС, составляет 995 МВт. Как ранее отмечалось, для полного сглаживания профиля выработки ВИЭ и обеспечения мощности в часы пиковой нагрузки, понадобятся СНЭЭ мощностью в 50% от установленной мощности объектов ВИЭ.

### Анализ эффективности применения СНЭЭ

Предполагается что мощность СНЭЭ равная 500 МВт, покрывает дефицит мощности величиной 0,3 ГВт с 15 по 23 час. Однако в течении суток может наблюдаться многочасовой дефицит мощности, что не сможет покрыться СНЭЭ мощностью 500 МВт, емкостью 1190 МВт\*ч в соответствии с рисунком 3. СНЭЭ может зарядиться в период с 3 по 6 час емкостью 779 МВт\*ч, т.е. сможет выдавать мощность 500 МВт только 1,5 часа. Следует иметь ввиду, что СНЭЭ может продолжительное время хранить заряд.

Причиной неэффективности применения СНЭЭ в зимний период является в целом недостаток генерирующих мощностей в Единой энергосистеме Республики Казахстан (ЕЭС РК).

В соответствии с суточным графиком на 26.08.2020 г (рисунок 4) максимум мощности потребления в ЕЭС РК пришелся на 21 час и составил 12,1 ГВт, в то время как производство составило 11,7 ГВт.

Дефицит мощности на 21 час составил 0,3 ГВт и длился до 24 часа. В соответствии с рисунком 4 СНЭЭ мощностью 500 МВт, покрывает дефицит мощности величиной 0,3 ГВт продолжительностью 4 часа с 20 по 23 час. Стоит отметить, что в летний день энергосистема была избыточной, в часы избытка СНЭЭ имела

бы возможность зарядиться. Накопление возможно производить с 0 по 17 час и с 18 по 20 час. В данном моделировании накопление производилось с 0 по 6 часы.

Исходя из вышесказанного, мощностей гибрида ВИЭ-СНЭЭ, подключенных к НЭС Казахстана недостаточно. Связанно это с наблюдающейся тенденцией нехватки генерирующих мощностей в ЕЭС РК. В соответствии с прогнозным балансом мощности ЕЭС РК на час совмещенного максимума нагрузок в период 2022–2028 гг, в 2022 году ожидается дефицит мощности на уровне 4,6 ГВт, а к 2028 году этот показатель достигнет 5,2 ГВт [5]. Данное обстоятельство ставит вопрос нехватки мощностей в целом по стране.

Также согласно утвержденному балансу мощности ЕЭС РК на час совмещенного максимума нагрузок в период 2022–2028 гг, в 2022 году ожидается дефицит регулирующих мощностей на уровне 894 МВт, а к 2028 году этот дефицит достигнет значения 1110 МВт.

На примере моделирования применения СНЭЭ в летний период в ЕЭС РК, показало, что данное решение покрытия дефицита маневренных мощностей в пиковые часы является эффективным.

Предлагается субъектам ВИЭ присоединяться к НЭС в гибриде с СНЭЭ мощностью не менее 50% от установленной мощности станции ВИЭ с продолжительностью работы в 4 часа, а также регламентировать следующие функции НЭ:

- смещение пиков нагрузки путем накопления энергии в период повышенной выработки ВИЭ и низкой нагрузки в ЕЭС РК и разряд в период пиковой нагрузки;
- быстрое изменение мощности для компенсации быстрого изменения выработки ВИЭ;

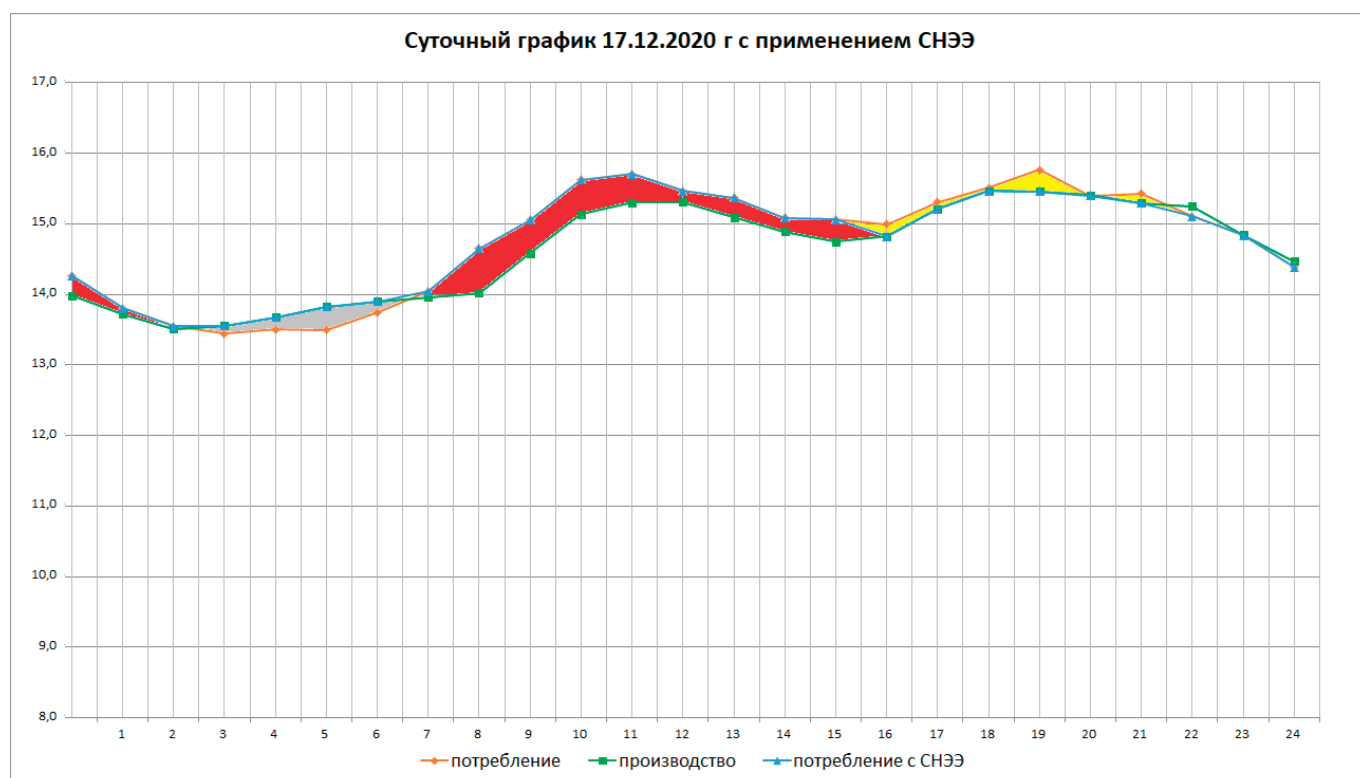


Рис. 3. Суточный график с применением СНЭЭ

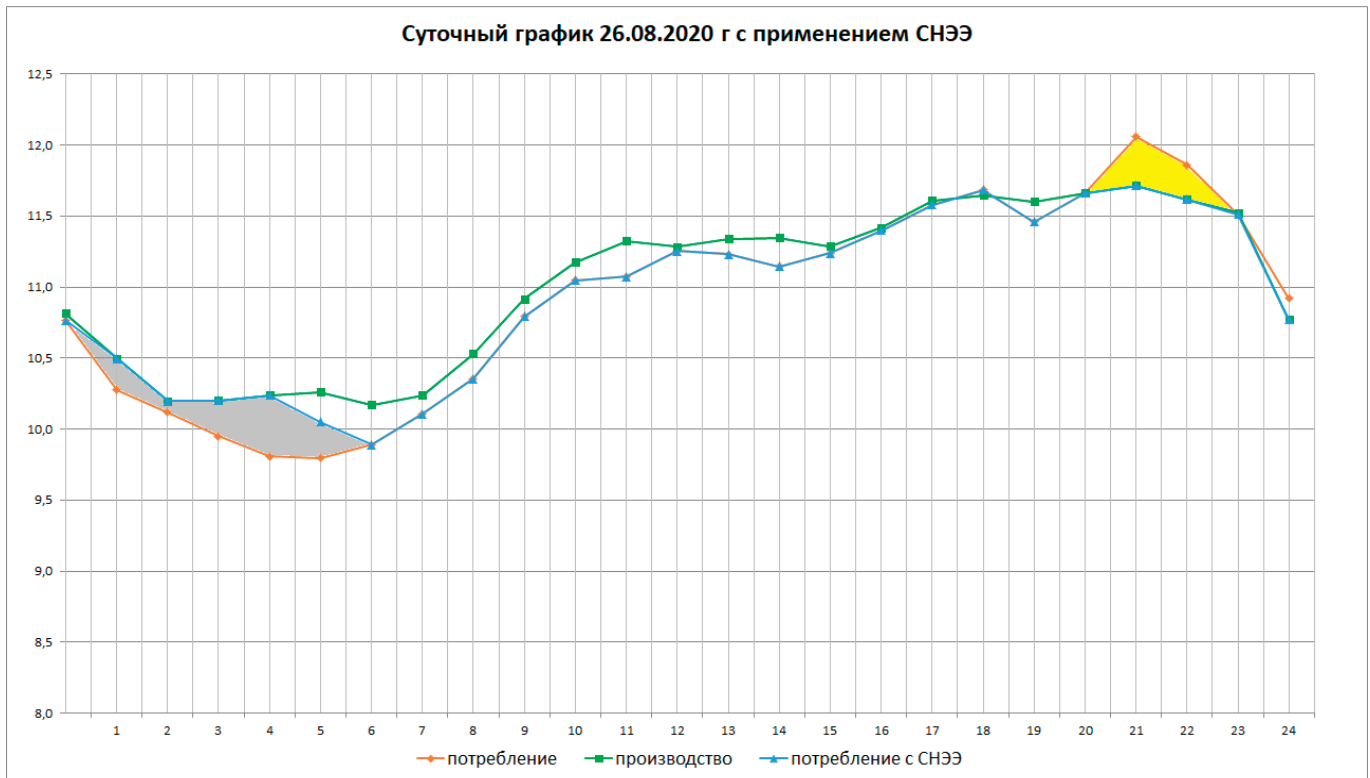


Рис. 4. Суточный график 26.08.2020г с применением СНЭЭ

– первичное и вторичное регулирование частоты.

Также необходимо регламентировать требования правила присоединения НЭ к НЭС, как минимум следующих:

1. Регулирование мощности. Рабочий диапазон СНЭЭ должен быть промежутком между ее предельной способностью принимать активную мощность и ее предельной способностью принимать активную мощность. Также СНЭЭ должны иметь возможность регулирования активной мощности командами системного оператора.

2. Регулирование скорости изменения нагрузки. Скорость изменения нагрузки для регулирования активной мощности должно быть от 1% до 100% номинальной мощности в минуту. Также необходимо учитывать, что СНЭЭ имеет ограничение по энергоемкости, в этой связи необходимо устанавливать допустимую скорость изменения нагрузки при достижении предела энергоемкости.

Литература:

1. Energy storage in the energy transition context: A technology review / A. B. Gallo, J. R. Simões-Moreira, H. K Costa [и др.]. — Текст: непосредственный // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2016. — № 65. — С. 800–822.
2. Астахов, Ю. Н. Накопители энергии в электрических системах: Учеб, пособие для электроэнергетических спец. вузов / Ю. Н. Астахов, В. А. Веников, А. Г. Тер-Газарян. — 1-е изд. — Москва: Высшая школа, 1989. — 158 с. — Текст: непосредственный.
3. Карта-схема электрических сетей 1150–500–220–110 кВ ЕЭС Республики Казахстан. — Текст: электронный // KEGOC: [сайт]. — URL: <https://www.kegoc.kz/ru/about/natsionalnaya-energosisistema/> (дата обращения: 10.06.2022).
4. Карта объектов ВИЭ в Казахстане. — Текст: электронный // ТОО «Расчетно-финансовый центр по поддержке возобновляемых источников энергии»: [сайт]. — URL: <https://rfc.kegoc.kz/vie/yamaps> (дата обращения: 10.06.2022).
5. Утвержденный баланс электроэнергии и мощности ЕЭС РК на 2022–2028 года. — Текст: электронный // KEGOC: [сайт]. — URL: <https://www.kegoc.kz/upload/iblock/261/2610a50d24b9baeff333bbd472f493c6.pdf> (дата обращения: 10.06.2022).

Необходимо также учитывать при размещении СНЭЭ фактор безопасности, т.к. в литий-ионных накопителях содержатся горючие химикаты.

### Заключение

Предлагается наиболее эффективный тип накопителя, а именно литий-ионные аккумуляторы, которые показали наибольшую эффективность в связи с высоким КПД, высокой плотностью тока, а также довольно быстрой установкой и монтажом данной СНЭЭ.

Выбраны параметры НЭ, устанавливающие мощность на уровне не менее 50% от установленной мощности станции ВИЭ, в гибриде с которой будет подключена СНЭЭ. Смоделированы суточные графики производства-потребления электроэнергии в ЕЭС РК при применении НЭ.

## Выбор оптимального маркера для 3D-сканирования с возможностью захвата цветной текстуры

Шишигин Денис Сергеевич, студент

Научный руководитель: Сорокин Алексей Андреевич, старший преподаватель

Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения

*В статье рассматривается вопрос использования маркеров в 3D-сканировании и выбор их оптимальных вариантов для применения в работе со сканерами, захватывающими текстуру.*

**Ключевые слова:** 3D-сканер, маркер, захват текстуры.

### Введение

Маркер — это небольшая наклейка или магнит с изображением черного круга с белой точкой. 3D-сканер использует эти высококонтрастные изображения для определения своего положения в пространстве (рис. 1). Чтобы повысить точность и стабильность 3D-сканирования, маркеры наносятся непосредственно на сам объект или рядом с ним [1].

Такой подход к использованию маркеров является классическим. В то же время, маркеры нередко необходимо наносить в спешке, но разрешающая способность и технические особенности сканера позволяют использовать в качестве маркера иные объекты. Данная статья посвящена именно этому вопросу.

### Для чего обычно нужны маркеры

Без маркеров сканер потеряет ориентацию во время сканирования, и невозможно будет соотнести между собой соседние кадры. Опираясь же на маркеры, программные средства выполняют сопоставление по смежным маркерам, используя их не только для позиционирования, но и для масштабирования различных кадров, что позволяет располагать портативные сканеры произвольно, не выверяя расстояние до объекта. Для

этого задействуются сложные алгоритмы, отличные для разных видов сканеров, которые помогают разобраться и принять решение, что, к примеру, нос человека из одного кадра должен совпасть с тем же носом из другого и никак не с другой частью тела или объекта.

Во время всего сканирования в каждом кадре сканер должен видеть, как минимум, 3 маркера. Если маркеров меньше трех, сканирование автоматически прервется. При минимуме 3 маркера в кадре, оптимальное количество маркеров на один кадр — 5 штук. Это необходимо, чтобы исключить такие ситуации, когда маркер хоть и находится в поле зрения сканера, но не распознается им (например, из-за отблеска). Поэтому при оклеивании объекта маркерами (рис. 2), стараются размещать их таким образом, чтобы на любую область 70x100 см приходилось по 5 маркеров [1].

При наклеивании маркеров на плоские поверхности объекта избегают попадания на углы. 3D-сканер не сможет увидеть маркер, расположенный под неудобным углом. Для того, чтобы углы сканировались легко (например, непрерывное сканирование от багажника машины до ее двери), число маркеров ближе к угловой зоне увеличивается.

С маркерами или без, оптический 3D сканер более точно измеряет область, которая попадает в центр его кадра, а не с краю.

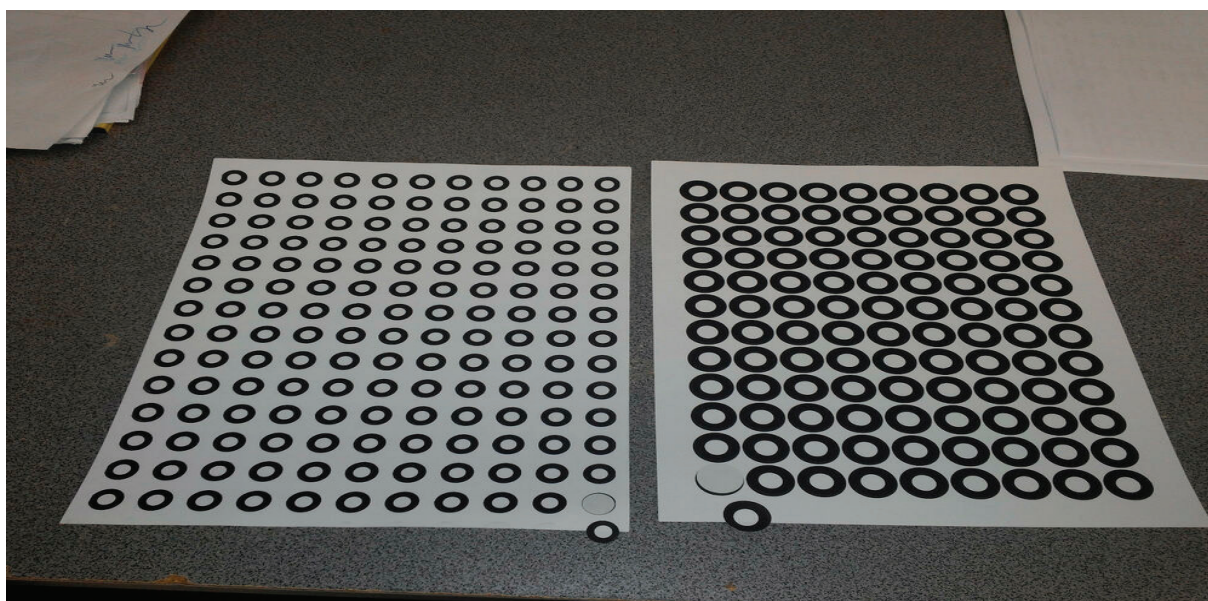


Рис 1. Маркеры для 3D-сканеров





Рис. 2. Объект с маркерами

Если при оцифровке объекта каждая его зона хотя бы раз окажется в центре поля зрения сканера, это гарантирует наилучший результат.

Этот подход используется для сканеров, которые выполняют частичный захват объекта и, чаще всего, являются фотограмметрическими или оптическими. Использование сканеров на базе технологии LiDAR [2], совмещенных со средством захвата и формирования текстуры, упрощает работу, требует попадания всего трех маркеров, которые, чаще всего, используются для позиционирования объекта или получения его пространственного положения [3].

### Альтернативные маркеры

Требования к маркерам:

- Маркер должен быть контрастным с объектом
- Маркер должен иметь фиксированную форму
- Размер маркера должен быть константен
- Если маркер используется для масштабирования и позиционирования, то его размещение должно быть заранее определено.

Выбор маркера с возможностью его выявления на результатах сканирования в описанном типе сканеров обусловлен следующими особенностями [4]:

- Облако точек объединяется в полигональную сетку во время сканирования или сразу после него
- Фрагменты изображения конвертируются в фрагменты текстуры и сопоставляются с вершинами/полигонами
- Маркер выявляется на текстуре поверхности, его размеры и форма сопоставляются с эталоном.

Подходящие под это описание маркеры должны иметь простую правильную геометрическую форму. А за основу при позиционировании и масштабировании объектов должны быть взяты геометрические центры маркеров.

Оптимальная форма маркера (рис. 3):

- Круглый маркер
- Треугольный маркер
- Квадратный маркер

Оптимальный вид маркера (рис. 3.):

- Яркий желтый цвет
- Яркий зеленый цвет
- Яркий красный цвет
- Яркий оранжевый цвет
- Яркий голубой цвет

- Белый цвет
- Черный цвет

— Двухцветный маркер с шахматной раскраской из контрастных цветов (для квадратного маркера, разделенного на 4 равные части — рис. 4).

Выбор формы и внешнего вида маркера обусловлены следующими факторами:

- Геометрическая фигура должна быть различима и легко распознаваема независимо от формы поверхности, к которой она прикреплена
- Нахождение центра фигуры должно укладываться в нахождение середины между крайними точками по всем трем координатам
- Маркеры должны быть контрастны к исследуемому объекту

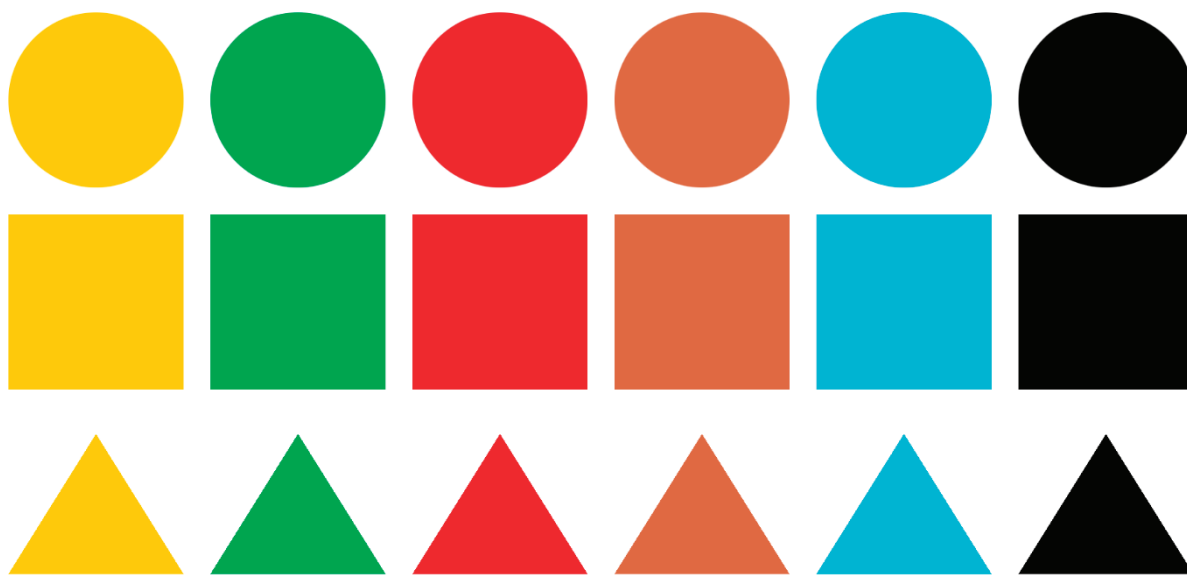


Рис. 3. Варианты маркеров



Рис. 4. Двухцветные маркеры

#### Дополнительные особенности применения маркеров

В случае необходимости захвата оригинальной текстуры всей поверхности, оптимальными будут маркеры, цветовую составляющую которых легко исключить из анализа изображения [5]. Количество применяемых маркеров в таком случае необходимо сводить к 5 и более, а во время сканирования поочередно устранять их с объекта, оставляя активными и видимыми сканеру не менее трех, что позволит сопоставить расширенные результаты сканирования с результатами первого прохода и выявить заменяемые фрагменты текстуры [6].

#### Заключение

В ходе написания этой статьи были проанализированы существующие на сегодняшний день методики 3D-сканирования, определены инструменты, применяемые при 3D-сканировании, в частности, маркеры для позиционирования. Проанализи-

рован подход к применению этих маркеров и обусловленность их геометрической формы, внешнего вида и особенностей использования.

Для выбранного метода сканирования были подобраны адекватные альтернативы используемым маркерам с учетом конструкционной и технической особенностей сканирующего устройства. Были сделаны выводы по особенностям эксплуатации выбранных маркеров с учетом их геометрических и цветовых особенностей.

Дополнительно была предложена методика сканирования объектов с использованием этих маркеров, при которой возможно их удаление с текстуры поверхности конечного объекта. Результаты данного исследования в дальнейшем будут применены при выполнении выпускной квалификационной работы по моделированию сравнения результатов сканирования поврежденных поверхностей с эталонным объектом. В дальнейшем данная тема может быть развита в полноценный программный или программно-аппаратный комплекс.

#### Литература:

1. Все про маркеры для 3D-сканирования.— Текст: электронный // THOR3D: [сайт].— URL: [https://thor3dscanner.com/uploads/Markery\\_dlya\\_Thor3D.pdf](https://thor3dscanner.com/uploads/Markery_dlya_Thor3D.pdf) (дата обращения: 02.03.2022).
2. Коваленко, Р. А. LIDAR как средство пространственной ориентации / Р. А. Коваленко, А. А. Сорокин, Е. А. Яковлева // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований: сборник статей по материалам

XXXIII международной научно-практической конференции.— Новосибирск: ООО «Сибирская академическая книга», 2020.— С. 20–25.

3. Программы для 3D-сканирования: обзор и применение на практике.— Текст: электронный // Top 3D Shop: [сайт].— URL: <https://top3dshop.ru/blog/programmy-dlja-3d-skanirovanija-obzor-i-primenenie-old.html> (дата обращения: 02.03.2022).
4. Сорокин, А.А. 3D-сканер как ЧПУ-станок / А. А. Сорокин, Р.А. Коваленко, Е.А. Яковлева // Российская наука в современном мире: сборник статей XXXIV Международной научно-практической конференции, часть 1.— М.: ООО «Актуальность.РФ», 2020.— С. 106–109.
5. Сорокин, А.А. Системы трехмерного машинного зрения на микроконтроллерах и микропроцессорах: монография / А. А. Сорокин, Е. А. Яковлева, Р. А. Коваленко.— Казань: Бук, 2021.— 136 с.— ISBN978–5–00118–733–2.
6. Сорокин, А. А. Моделирование задачи захвата текстуры при 3D-сканировании / А. А. Сорокин, Р.А. Коваленко // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований: сборник статей по материалам XXXIV международной научно-практической конференции.— Новосибирск: ООО «Сибирская академическая книга», 2020.— С. 33–37.

# АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

## Особенности планирования пространства японских ресторанов

Морева Анастасия Евгеньевна, студент бакалавриата  
Микулин Виталий Николаевич, студент бакалавриата  
ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов

*В статье анализируется японский опыт планирования малого общественного здания с залом на основе таких характеристик как зонирование, типологические особенности, площадь и интерьер.*

**Ключевые слова:** планировка ресторана, организация пространства в малом общественном здании с залом, японский ресторан.

Предприятия общественного питания подразумевают три основные функции: производство блюд, их реализация и организация потребления. Это вызывает необходимость планирования производственной, торговой и посадочной групп помещений. Характер выполняемых функций влияет на формирование групп помещений в общей производственно-торговой структуре предприятия, на которую, в свою очередь, влияют следующие факторы: ассортимент кулинарной продукции, полуфабрикатов, степень их готовности, объем производства и реализации, вместимость залов, наличие отделений для диетического питания и др., которые и определяют характер технологического процесса — основы проектирования любого производственного предприятия, в том числе предприятия общественного питания.

Опираясь на это, можно провести характеристику зонирования и определить типологические особенности японских ресторанов.

Одним из наиболее характерных планировочных решений для японских ресторанов является островной тип кухни, расположенной по центру всего пространства малого общественного здания с посадочными местами вокруг нее. При внедрении совместной производственно-торговой части и расположении вокруг нее посадочной, складская группа помещений зачастую соединяется с моечной зоной. Такое планировочное решение позволяет сделать главным объемом кухню.

В ресторане «Falo» (Рис. 1а) есть только одна большая стойка, окружающая кухню, находящуюся в центре обеденной зоны. Стойка была деформирована, чтобы все ее сиденья были обращены к процессу приготовления блюд. Это создает ощущение единства в ресторане, а также обеспечивает разнообразие условий. Некоторые сиденья расположены у открытого огня, некоторые — рядом с поваром, уголки — для групп людей, а деформированная стойка создает еще и столовое пространство на 5–6 человек. Деформация стойки предназначена не только для гостя, но и для кухни, она обеспечивает соответствующее рас-

стояние от гостя до места для приготовления пищи, позволяет избежать мертвого пространства внутри кухни, а также создает пространство для демонстрации на столе.

Ресторан «Hitoshinaya» (Рис. 1б) состоит из трех залов, каждый из которых имеет свою кухню. В то время как каждый из них является независимым рестораном, остекление позволяет объединяться в одно целое. Посадочные места, организованные вокруг производственно-торговой зоны, подразумевают возможность наблюдения за готовкой блюд. Таким образом кухня и зал становятся единым пространством.

В настоящее время в Японии набирает оборот тип планировки ресторанов с конвейерными лентами (Рис. 2а). Такой формат планировки характерен для Кайтэн-дзуси. Роль официанта при подаче блюд в таких ресторанах выполняют конвейерные столы, которые протягиваются по всему залу, примыкая к каждому столику и предоставляя наглядный выбор блюд (Рис. 2б). Посадочная группа в данном типе планировки, как и в большинстве ресторанов, является наибольшей. Зона производства блюд отделяется от зоны посадки стеной с проемом, который обеспечивает подачу блюд. При такой планировке торговая зона соединяется с зоной потребления, что позволяет уменьшить персонал и избежать очередей при заказах.

Нередко в планировочных решениях в ресторанах Японии уделяют внимание отдельным комнатам, предназначенным не только для большого количества людей, где зачастую могут проводиться бизнес-встречи или переговоры, но и маленьким комнатам, рассчитанным на 4–6 человек (Рис. 3а). Такой формат появился из-за определенных черт японского менталитета, а именно уважении к личному пространству и друг к другу. По этой же причине некоторые рестораны Японии предполагают разделение залов на обычные и официальные (Рис. 3б). При таких особенностях планировки отношение зон не имеет отличительных черт. Группа производственных помещений занимает 1/3 общей площади малого общественного здания.



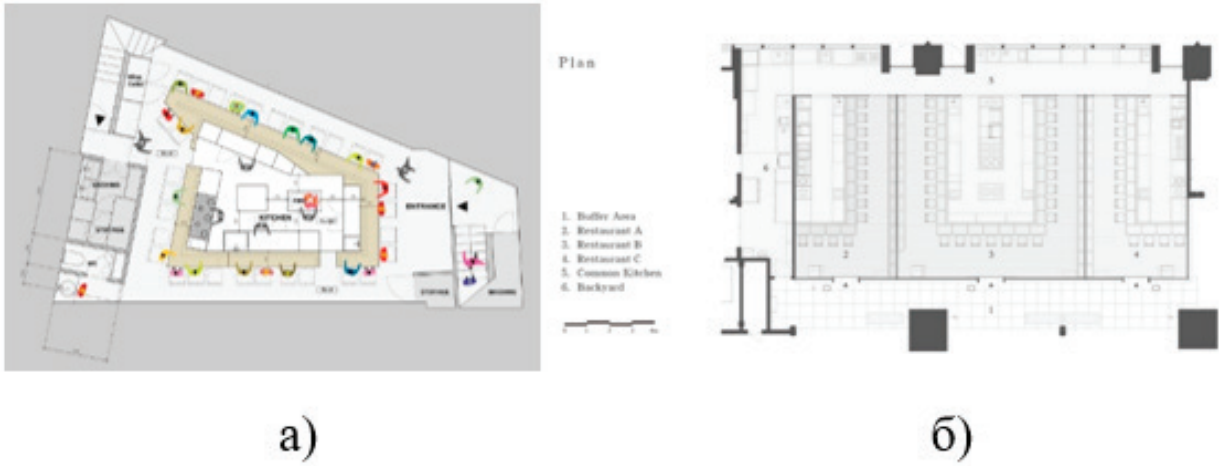


Рис. 1. Планы японских зданий общественного питания а) ресторан «Falo» в Щибуя, Япония, 80 ft<sup>2</sup>; б) ресторан «Hitoshinaya» аэропорт Haneda, Токио, Япония, 171 м<sup>2</sup>

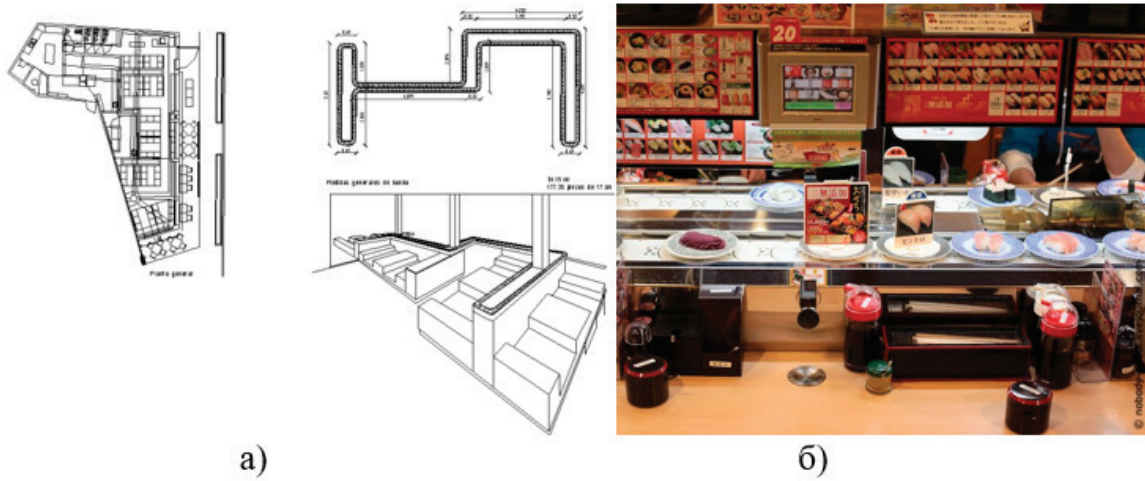


Рис. 2. а) Пример реализованного проекта. SATSUKI INC. Суши оборудование, роботы, кайтен; б) Конвейерный суси-ресторан «Курадзуси» Осака, Япония



Рис. 3. Планы японских зданий общественного питания а) Ресторан «+green» на Jiyu Street Токио, Япония с закрытыми комнатами (private room 1,2), 1153 м<sup>2</sup>; б) Ресторан «Passo Novita» Токио, Япония (casual dining area, formal dining area), 497 м<sup>2</sup>

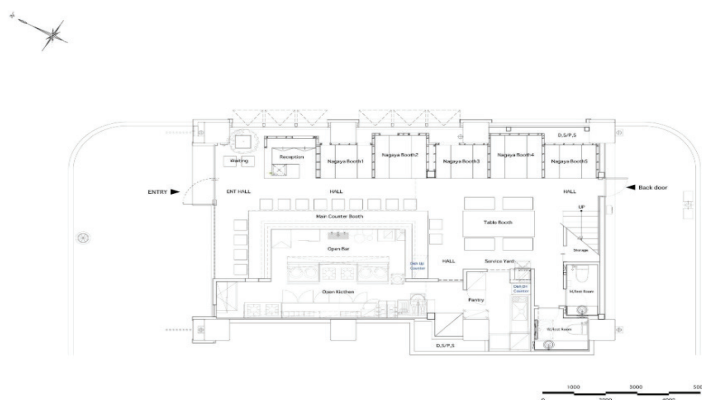


Рис. 4. Ресторан «Shyo Ryu Ken» Осака, Япония. План и Nagaya Booth, 122 м<sup>2</sup>

Изоляция посадочных мест также может быть реализована за счет перегородок между столами. Такие перегородки могут образовывать отдельные зоны, где посетители будут чувствовать свое обособленное пространство, не теряя при этом связь с посадочным залом (Рис. 4). При таком типе планировки посадочных мест организация остальных зон также не имеет отличительных черт.

Умеренно теплый климат на большей части японских островов способствовал появлению еще одной характерной особенности планировки и зонации ресторанов — наличие зоны открытого сада. При планировании ресторана с зоной внутреннего или прилегающего сада примыкающей зоной является зона потребления в виде посадочного зала (Рис. 5а) или

террасы (Рис 5б). Производственная группа при таком типе планировки не примыкает напрямую к этой зоне и не отличается по габаритам от типичной планировки.

### Вывод

Таким образом можно сделать вывод о том, что японские рестораны наполнены различными решениями организации пространства, начиная от стилистических решений, заканчивая производственными. Япония полна архитектурными особенностями, именно поэтому дизайнеры и архитекторы со всего мира приезжают туда, чтобы увидеть всё собственными глазами, посмотреть новую культуру, наполненную ярчайшими красками

### Литература:

1. Краткий курс лекций для бакалавров 4 курса «Профиль подготовки: Технология и организация ресторанного дела» Сост.: Г.Е. Рысмухамбетова // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». — Саратов, 2016. — 90 с.
2. Статья И. И. Гуторова «Развитие ресторанного бизнеса» [http://edoc.bseu.by:8080/bitstream/edoc/83429/1/gutorova\\_78\\_86.pdf](http://edoc.bseu.by:8080/bitstream/edoc/83429/1/gutorova_78_86.pdf)
3. Блог о ресторанах Японии [https://blog.study-japan-guide.com/blog/restoran\\_kaytenmdzusi\\_v\\_yaponii\\_bistro\\_i\\_nedorogo.html](https://blog.study-japan-guide.com/blog/restoran_kaytenmdzusi_v_yaponii_bistro_i_nedorogo.html)
4. Интерьер японских ресторанов <https://mebelcafe.com/dizajn-interera-kafe-restorana-bara/yaponskiy-stil-v-dizayne-kafe/>
5. <https://inspiregroup.pro/stati/dizajn-yaponskih-restoranov-osnovnye-motivy/>
6. Перспективы японской кухни в России <http://www.to-ural.ru/рестораностроение/516>
7. Интерьер японского ресторана в Москве <https://www.interior.ru/place/10742-restoran-yaponskoi-kuhni-po-proektu-archetype-v-moskve.html>
8. Полоса 014 Номер № 19(374) от 22.05.2002 Коммерсантъ <https://www.kommersant.ru/doc/322694>
9. О ресторанах с русской печью <https://daily.afisha.ru/eating/8420-toplenyy-tvorog-kashi-i-kulebyaki-6-restoranov-s-russkoy-pechyu/>
10. О традиционном русском ресторане в отеле <https://bastion-pmr.com/products/russkij-restoran>
11. Ресторан «Мансарда» [https://www.archdaily.com/882661/mansarda-restaurant-piuarch?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_projects](https://www.archdaily.com/882661/mansarda-restaurant-piuarch?ad_source=search&ad_medium=search_result_projects)
12. Современные японские рестораны в Москве <https://www.timeout.ru/msk/feature/10-novyh-yaponskih-restoranov-moskvy>
13. Типы и тенденции развития дизайнов ресторанов <https://joinposter.com/post/design-cafe-trends>

## Проблемы доступной среды

Проданова Анастасия Дмитриевна, студент магистратуры  
Сургутский государственный университет

*Проводится анализ жилой застройки в ХМАО — Югре. Рассматриваются проблемы доступной среды. Ставится проблема соответствия существующих застроек, на примере г. Сургута, нормативным требованиям. Проводится анализ государственной программы «доступная среда».*

**Ключевые слова:** доступная среда, маломобильные группы населения

Ханты-Мансийский автономный округ является субъектом Российской Федерации. Климат округа — резко континентальный. В округе проживает 1,7 млн чел. — это крупнейший показатель численности населения среди автономных округов. Более 53 тыс. человек имеют инвалидность, это 3% от населения. Также на территории ХМАО проживает около 190 тыс. детей до 7 лет — это 11%, людей старше 60 лет 12%. Численность населения с каждым годом растет, одной из причин является высокая рождаемость. За 2021 год в ХМАО — Югре родилось около 20 тыс. чел. Беременным женщинам особенно важна комфортная, безопасная и доступная среда, по этой причине данная категория граждан относится к маломобильной группе населения. В СП 59.13330.2020 прописан термин и определение: «маломобильные группы населения; МГН: Люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуги, необходимой информации или при ориентировании в пространстве. К маломобильным группам населения для целей настоящего свода правил здесь отнесены: инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, люди с нарушением интеллекта, люди старших возрастов, беременные женщины, люди с детскими колясками, с малолетними детьми, тележками, багажом и т. д.» [1]. Из этого следует, что около 30% населения нуждаются в беспрепятственной среде для комфортной жизни.

На сегодняшний день современный мир требует быть мобильными как физически, так и социально. Человеку для полноценной жизни необходимо совершать достаточно действий как в пределах жилой площади, так и в городской среде. Необходимо выходить из дома для прогулки, в больницу, в магазин, для получения образования, различных видов услуг и др. Не для каждого человека такие действия являются простыми и возможными в связи с тем, что каждый период жизни сопровождается своими особенностями. Человек рождается и проживает жизнь в коляске, после пересаживается на велосипед, с появлением ребенка возит коляску, а с возрастом у пожилых людей здоровье ухудшается, что в свою очередь требует большего комфорта. Для некоторых же с первого дня жизни необходима особенно безопасная и доступная среда.

Поэтому в 2008 году Российской Федерацией была подписана Конвенция о правах Инвалидов. В 2012 году Россия ратифицировала положения о Конвенции, тем самым начав поднимать уровень жизни инвалидов. Статья 2 жилого кодекса была дополнена пунктом, который обязывает обеспечивать инвалидам беспрепятственный доступ к общему имуществу многоквартирных домов [2]. В связи с этим из 10910 жилых домов в ХМАО-Югре более 10 тысяч домов (10231 домов) построены

до 2010 года и лишь 679 после. Это говорит о том, что большинство жилого фонда не предусматривает проживания лиц с ограниченными возможностями по здоровью, и не всегда имеет возможность переоборудовать здание с учетом потребностей населения. В жилых объектах человек может столкнуться с такими трудностями как: узкие дверные проемы, несоответствующие нормам санузлы и невозможность их переоборудования, высокие пороги, отсутствие пандусов и невозможность переоборудования лестничных проемов, отсутствие перил/поручней. Имеющиеся приспособления не соответствуют нормам и являются небезопасными для эксплуатации. Одной из проблем организации доступной среды на территории существующей застройки является финансовая сторона и юридические моменты.

Выйдя за пределы жилых объектов, человек попадает на придомовую территорию, которая затрудняет передвижение МГН из-за отсутствия плавных спусков с тротуаров, наземных тактильных указателей, предупреждающих о поворотах и препятствиях. Отсутствие оборудованных мест отдыха не дает нужного комфорта людям. Спортивные зоны и детские площадки в ранее застроенных микрорайонах также не соответствуют требованиям доступности и безопасности. Тротуарная плитка при проседании создает препятствие для передвижения инвалидов колясок и людей с тростью. Высота бордюра на переходах не должна превышать 5 см, по факту перепад высот составляет более 10 см [4].

Преодолев проблемы придомовой территории, человек попадает в транспортную инфраструктуру. Для маломобильных групп она слабо развита, и представляет собой такие проблемы, как отсутствие достаточного количества оборудованного общественного транспорта, маршруты не проработаны, остановки не имеют наземных тактильных указателей, водители не проинструктированы о правилах поведения и помощи людям с ограниченными возможностями.

Для получения услуг люди посещают административные объекты, общественные здания и сооружения. Объекты общего назначения, в которых предоставляются услуги населению, не соответствуют СП 59.13330.2020 в котором прописано, что проектные решения должны обеспечивать для мгно равные условия жизнедеятельности с другими категориями населения. Связано это с тем, что владельцы данных объектов слабо заинтересованы в переоборудовании зданий и прилегающих территорий под требования доступной среды, в связи с этим МГН либо не получают услуг вовсе, либо получают не должным образом. Входы в ТЦ, рынки, почты и другие объекты, на которых

должен быть обеспечен беспрепятственный доступ, не подразумевают разворотную площадку для колясок, пандусы выполнены с нарушением уклона, зачастую наблюдается отсутствие поручней, высокие пороги, открывание двери на проезд пандуса [4].

В г. Сургуте в ТЦ Мир имеется оборудованный пандусом вход, но выше 1-го этажа попасть людям с коляской или инвалидам с нарушениями опорно-двигательного аппарата не представляется возможным, так как внутри многоэтажного объекта отсутствует лифт.

На сегодняшний день города ХМАО-Югры, как и многие другие города РФ отстают развитием доступной среды от зарубежных стран. Связано это с тем, что огласке данная тема подверглась лишь в конце 90х годов. В это время появились первые нормативные документы, касающиеся доступной среды, которые сейчас редактируются, дополняются. Высокая цена на оборудование для МГН замедляет развитие доступной среды в слабо развитых регионах. Также отставание в развитии связано с тем, что недостаточно исследований по данной теме. Маленький опыт работы в этом направлении. Важным фактором является то, что Российская Федерация занимает первое место по площади, в связи с этим каждый регион имеет свою особенность по климату, рельефу и сейсмическому воздействию, что в свою очередь затрудняет создание доступной среды. Так, например, в городах Ханты-Мансийского Автономного Округа — Югры период отрицательных температур, который ведет к наледи объектов, снежным завалам, составляет 7 месяцев. Вследствие этого даже те объекты, которые предусматривают доступность, могут быть небезопасны в использовании по следующим причинам: сход снега организован на пандусы, отсутствие навесов, покрытие не соответствует СП 59.13330.2020.

Примером является МБОУ СОШ № 27 в городе Сургут. На входе в учебное заведение имеется тактильный информационный стенд, путь до крыльца объекта сопровождается наземным тактильным покрытием, имеется пандус с поручнями, кнопкой вызова и навесом, но в зимний период воспользоваться им не представляется возможным, так как сход снега организован на начало пандуса, что является небезопасным.

Этот же пример является показателем того, что имеются грубые нарушения в создании доступной среды на объектах социальной инфраструктуры, несмотря на то, что им уделяется больше внимания благодаря программе «Доступная среда».

Период реализации программы: 2011–2025 годы.

#### Литература:

1. СП 59.13330.2020 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659328> (дата обращения: 17.05.2022)
2. Безбарьерная среда в многоквартирном доме. [Электронный ресурс]. URL: [http://pravo.khv.ru/sites/files/pravo/files/1776/1776\\_3338.pdf](http://pravo.khv.ru/sites/files/pravo/files/1776/1776_3338.pdf) (дата обращения: 17.05.2022)
3. Государственная программа Российской Федерации «Доступная среда». [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrud.gov.ru/ministry/programms/3/0> (дата обращения: 17.05.2022)
4. Злотникова Е. В. Анализ реализации программы «Доступная среда» в г.о. Химки Московской области: проблемы и пути их минимизации / Злотникова Е. В., Ладенко П. А., Лябах А. Ю., Мельков С. А. //
5. ГосРег: государственное регулирование общественных отношений. — 2017. — 2 (20). — С. 42. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29869349> (дата обращения: 17.05.2022)

Целью программы является создание правовых, экономических и институциональных условий, способствующих интеграции инвалидов в общество и повышению уровня их жизни [3].

Благодаря программе имеется доступ ко многим социальным объектам, посещаемые инвалидами. Созданы условия для получения образования детьми-инвалидами. Увеличилось число учреждений для адаптивного спорта и культуры. Увеличен парк оборудованных городских транспортных средств для перевозки инвалидов. Заложена законодательная основа и сформированы системные инструменты формирования доступной среды для инвалидов. Увеличился процент работы по реабилитации. Разработана карта доступности, благодаря которой можно узнать, куда человек с ограничениями по здоровью может беспрепятственно добраться.

Несмотря на столь положительные результаты программы наблюдаются такие грубые нарушения, как отсутствие информационных тактильных стенов, наземных тактильных плит, пандуса или подъемной платформы у городской библиотеки им. Н. М. Рубцова в г. Сургуте.

Вход в Регпалату в г. Сургут оборудован пандусом с нарушением угла уклона, отсутствие разворотной площадки, отсутствуют перилла, в снежное время года не очищается, покрытие также не соответствует СП 59.13330.2020.

У Сургутской городской клинической поликлиники № 3 не представляется возможным припарковаться людям с инвалидностью в рабочие часы, так как парковочные места заняты посетителями, не имеющими инвалидность. такие нарушения, как отсутствие информационных стенов для людей с ограничениями слуха и зрения, кнопок вызова персонала, парковочные места либо заняты, либо отсутствуют, пандусы выполнены с грубыми нарушениями, отсутствие санузлов для МГН.

Для создания безбарьерной среды необходимо организовать доступность жилых объектов и объектов инфраструктуры, получения образования и рабочих мест, беспрепятственный путь между объектами, должны быть оборудованы места отдыха, а также необходимо обеспечить доступность и возможность использования общественных остановок и транспорта.

Создавая доступную среду для маломобильных групп населения, город становится комфортным для каждого живущего в нем, а также для туристов. Уровень развития округа увеличивается, при улучшении качества жизни граждан.



## Строительство аэропорта на намывном острове

Терещенко Виолетта Павловна, студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В данной статье рассмотрены проблемы строительства уникального сооружения на острове искусственного происхождения. Строительство Аэропорта на намывном острове — это сложное, неординарное решение архитекторов и инженеров. В статье проанализированы сложности и особенности современного строительства, с учетом необходимости строить в опасных зонах, на территориях с суровым климатом и местах с большой плотностью населения. Выявлена и обоснована проблема использования современных методов в процессе строительства. На основе проведенного исследования автором предлагается выделить уникальные технические стороны и экологические аспекты данного способа строительства, на намывных территориях.*

**Ключевые слова:** Япония, аэропорт, сооружения на воде, мост, проект, оседание.

## Construction of an airport on an alluvial island

*This article deals with the construction of a unique building on a gravel island. The construction of the Airport on an inundated island is a complex and extraordinary decision of architects and engineers. The article analyzes the complexities and features of modern construction, taking into account the need to build in hazardous areas, in areas with a harsh climate and places with a high population density. The problem of using modern methods in the process of construction is identified and justified. On the basis of the study, the author proposes to highlight the unique technical aspects and ecological aspects of this method of construction, in alluvial areas.*

**Keywords:** Japan, airport, structures on the water, bridge, project, subsidence.

Капитан одного из воздушных судов Джефф Лидер (Jeff Leader): «Это что-то вроде алмаза в чёрной дыре, просто сказочно, когда ночью ты видишь его огни». Так что же так впечатлило Джеффа Лидера (Jeff Leader)?

И так, чтобы не отставать от Большого города — Токио, чиновники города Осака захотели заполучить больше людей, и возникла идея создать аэропорт, но появилась огромная проблема: как в Японии, с большой плотностью населения, которое и так страдает от большого уровня шума, поместить аэропорт.

Было принято решение, создать то, что никто и никогда ещё не делал. Аэропорт необходимо построить на острове, а перед этим, создать этот самый остров. И это самое невероятное инженерное чудо, стоящее в одном ряду с Панамским каналом [1].

### Строительство

В 1987 году погружен на глубину 18 метров фундамент этого уникального сооружения. И спустя 7 лет он начал свою работу, окруженный с 4-х сторон открытым океаном. Для пилотов это очень удобное место, т.к. невозможно что-либо задеть. Аэропорт пропускает через себя 300 тыс. пассажиров в неделю. Находится в 5 км от берега, простирается на 4 км в длину и 1,2 км в ширину [2]. С берегом города соединяет самый длинный в мире двухъярусный мост. Для построения этого сооружения необходимо было в прямом смысле разделить море. В конечном итоге данный проект обошелся в 15 млрд долларов США. Был задействован 1 млн рабочих, которые возводили остров в течение 10 млн часов. Использовано 200 млн тонн стройматериалов. Этот проект стал самым масштабным и самым дорогим гражданским проектом, и это после 20 лет планирования, 7 лет строительства и нескольких миллиардов долларов инвестиций [3]. Аэропорт всё ещё имеет долги и теряет 560 милли-

онов долларов каждый год. Поэтому цены на приземление в аэропорте очень велики, на втором месте после аэропорта Нарита.

Самым трудным являлось сохранить баланс: Как сделать так, чтобы он не потонул, под собственным весом, ведь никто раньше не делал такого. Особую трудность представлял фундамент, который опирался на мягкую глину, на 70% состоящей из воды. Тогда инженерами применилась техника песочного дренажа. Она ускоряет оседание: с помощью специальных установок на дно опускают стальные трубы, вбивают их на 20 м в слой глины и закачивают внутрь песок. Затем трубы поднимают обратно, и в толще дна залива остаются песчаные сваи. Под ними из глины выдавливается вода, и грунт становится плотным. Данный процесс был осуществлен на территории площадью 510 га благодаря погружению миллиона труб диаметром 40 см с интервалом 2,5 м. Сначала была возведена 11 км морская стена, возведённая из огромных каменных глыб и 48 тыс. бетонных блоков, она выстроила контур острова. Затем 180 барж высыпали грунт на участок. Объем этого грунта сравним с объемом, необходимым для построения 70 египетских пирамид.

Первая проблема заключалась в том, что грунт должен везде оседать одинаково.

Дальше начинались работы по возведению наземных конструкций. Терминал должен был быть лёгким, чтобы погружение в воду было не слишком быстрым. Но какой материал выдержит все погодные условия, затрагивающие эту страну? Ренцо Пиано предложил дизайн, который был одобрен. Он придумал терминал в форме крыла из стали и крепкого стекла. Он простирался на 1,5 км в длину. Это одно из крупнейших однокомнатных зданий на планете.

Вторая проблема — это доступ к острову. Тогда было принято решение построить мост «Врата неба», который простирался на 3750 м в длину. С помощью плавучих кранов они установили и скрепили детали цементом, как конструктор. На нем



имеются полосы для автомобилей сверху и снизу 2 полосы для ж/д транспорта. Над и под мостом так же есть пространство для прохода воздушных и морских судов. Стоимость данного моста достигла 1 млрд долларов США.

### Проблемы и пути их решения

4 сентября 1994 — официальное открытие аэропорта [4]. Однако он стал оседать быстрее, чем это было рассчитано. Внешний слой был укреплен методом песочного дренажа. Но так же был еще один слой — внутренний, глубокий — дельювий, оседание которого не было изучено, в 1999 году инженеры не достаточно точно просчитали оседание. Итого он осел на 8 м за 5 лет, хотя это ожидалось только к 40-летнему юбилею.

Решение данной проблемы было найдено: Инженерам пришлось заложить в его фундамент слой металлолома толщиной 8 футов. Вес этой «подушки» составил четверть миллиона тонн. Предполагалось, что такая прослойка уберезит здание от разрушения.

Но этих усилий оказалось мало, и так, чтобы здание не разошлось по швам, его поднимают с помощью 900 огромных колонн, с датчиками, подключёнными к компьютеру [5, с. 134]. Система оповещает, какую колонну надо поднять, и после под неё добавляют металлические пластины, для этого есть два уровня стен, которые двигаются за крышей, получается, что она стремится вверх, а подвал остаётся на месте, и вентиляция трубы так же прикреплены к потолку. К лестницам постепенно добавляются ступеньки. И так, быстрое оседание было остановлено, Сейчас оно достигает — 5см в год, а тогда — 5 см в месяц. А вот полоса оседает равномерно, её нельзя подпереть.

Вторая проблема, это то, что из-за землетрясений и оседаний может произойти разрыв кабелей, что приведет к пожарам. Тогда инженеры разработали извилистые трубы с гибкими креплениями, против землетрясения и оседаний. Они не трескаются, а значит — не протекают.

В 1995, спустя 15 месяцев после открытия, произошло землетрясение 7. 2 балла. Эпицентр находился в 29 км от аэропорта. Но оно не привело ни к каким повреждениям. Что еще раз доказывает, что даже в таких суровых условиях можно строить что-то уникальное.

### Это целый город!

По инфраструктуре Кансай напоминает город, а не аэропорт. Здесь присутствует развитая сеть транспорта. Поезда доставляют пассажиров за несколько минут, скоростные паромы, автобусы, машины.

### Литература:

1. Документальный фильм National Geographic — «Суперсооружения. Международный аэропорт Кансай», 2004.
2. Опаснейшие точки мира — <https://www.orangesmile.com/extreme/ru/scariest-runways/kansai-airport.htm>.
3. Особенности проектирования, строительства и эксплуатации искусственных негрунтовых островов на континентальном шельфе — [https://vuzlit.com/394746/iskusstvennye\\_negruntovye\\_ostrova](https://vuzlit.com/394746/iskusstvennye_negruntovye_ostrova).
4. Информационный портал в сфере авиации <https://avia.pro/blog/aeroport-osaka-kansay>.
5. Мусский Сергей Анатольевич — «100 великих чудес техники», 2008.
6. <https://www.aviaport.ru/digest/2005/09/04/94585.html>.

Охрана ведется как на суше, так и на земле. Поверхность острова покрыта ультрафиолетовой сеткой, когда луч разрывается, охрана выдвигается на место сигнала. Здесь имеется собственная метеорологическая станция, чтобы следить за переменчивым настроением погоды. Освещение данного объекта обходится в 37 тыс. долларов США в месяц. Но тут же имеется собственная электростанция. Так же есть топливный центр, который находится рядом с полосой, объёмом на 7 суток для самолётов. На острове даже имеется собственный завод «Центр чистоты», это мусоросжигательная станция, с переработкой и очисткой газов. С 2005 года в здании к работе были привлечены роботы, которые помогают пассажирам сориентироваться в здании. Они играют роль провожатых для гостей, также помогают при регистрации, вполне успешно выполняют свои обязанности роботы-носильщики и роботы-переводчики, которые помогают многим посетителям аэропорта [6].

Высота терминала 30 м, длина 300м, 4 этажа. До любого шлюза на подвижной дорожке Вы можете добраться за 90 секунд.

Вскоре, было принято решение о строительстве второй полосы, т.к. 1 полоса предназначалась и для взлёта, и посадок. Это приводит к задержкам. Так же, данная постройка позволит быстрее окупить аэропорт. В июле 1999 г. наступает вторая фаза, строительство второй полосы. Но начались проблемы с тем, что второй остров может оседать на 6 м быстрее. Тогда его отдалили на 200 м от первого. Тут уже, благодаря новым технологиям за утрамбовкой следили со спутника, а не вручную, что позволило быстрее и точнее производить строительство. Оба острова хоть и оседают с разной скоростью, но в конце они уйдут вровень.

### Выводы

Данный проект имеет огромное значение в мировом масштабе, его актуальность очень велика. Ведь благодаря этому проекту и разработкам японских ученых, можно строить здания и сооружения на воде, а так же в сейсмоопасных районах с неустойчивыми грунтами, и можно повышать сейсмостойкость сооружений за счет новейших разработок имеющих практическое, наглядное применение, а так же оперативно реагировать на возникающие, в ходе строительства или эксплуатации, проблемы.

Общество инженеров-строителей признало международный аэропорт Кансай одним из 10 лучших строительных достижений, оказавших максимальное положительное воздействие на жизнь. Инженеры оценили не только техническую сторону строительства, но и экологические аспекты, социальный вклад. В 2007 году аэропорт Кансай подтвердил свой статус шедевра современного строительства и самого невероятного сооружения на воде.

# Молодой ученый

Международный научный журнал  
№ 23 (418) / 2022

Выпускающий редактор Г. А. Кайнова  
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова  
Художник Е. А. Шишков  
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.  
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.  
При перепечатке ссылка на журнал обязательна.  
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Номер подписан в печать 22.06.2022. Дата выхода в свет: 29.06.2022.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.