

**Международная Научно-Исследовательская Федерация
«Общественная наука»**

Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук

Сборник научных трудов

**по материалам
V международной научной конференции**

12 марта 2017 г.

LJOURNAL.RU

Москва 2017

УДК 001.1
ББК 60

Т34

Научный диалог: Вопросы точных и технических наук. Сборник научных трудов, по материалам международной научно-практической конференции 12 марта 2017 г. Изд. ЦНК МНИФ «Общественная наука», 2017. – 28с.

SPLN 001-000001-0113-RF
DOI 10.18411/spc-12-03-2017
IDSP 000001: spc-12-03-2017

В сборнике научных трудов собраны материалы из различных областей научных знаний. В данном издании приведены все материалы, которые были присланы на международную научно-практическую конференцию **Научный диалог: Вопросы точных и технических наук**

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

Все материалы, размещенные в сборнике, опубликованы в авторском варианте. Редакция не вносила коррективы в научные статьи. Ответственность за информацию, размещенную в материалах на всеобщее обозрение, несут их авторы.

Информация об опубликованных статьях будет передана в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и наукометрическую базу SPINDEX

Электронная версия сборника доступна на сайте ЦНК МНИФ «Общественная наука». Сайт центра: conf.sciencepublicru

УДК 001.1
ББК 60

SPLN 001-000001-0113-RF

<http://conf.sciencepublic.ru>

Содержание

РАЗДЕЛ I. ФИЗИКА	4
Акимбеков Е.Т. Процессы дефектообразования в ШКГ	4
РАЗДЕЛ II. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	6
Бышкина О.В., Семейкин В.Д. Структура оказания услуг доступа в Интернет с централизованной точки доступа для устранения цифрового неравенства	6
Красиков М.С. Взаимное влияние лучей в подвижной спутниковой связи	9
Лазарева Е.А. Линейно-кабельные сооружения связи – как объект с конечным временем восстановления	15
РАЗДЕЛ III. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	20
Муравьёв К.А., Татлыев Р.Д. Анализ коррозионных разрушений нефтепроводов с пересеченным профилем трассы	20

РАЗДЕЛ I. ФИЗИКА

Акимбеков Е.Т.

Процессы дефектообразования в ШГК

*Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина
(Республика Казахстан, Астана)*

doi:10.18411/spc-12-03-2017-01

idsp: 000001:spc-12-03-2017-01

Исследование электронных возбуждений и образования дефектов в чистых и активированных щёлочно-галогидных кристаллах (ЩГК) изучались многими авторами в течение нескольких лет. ШГК привлекали своими некоторыми свойствами, изучались важнейшие модельные объекты для физики дефектов в кристаллах, спектроскопии центров люминесценции, теории экситонов и других разделов физики твердого тела и физической оптики.

Многими авторами также были изучены много физических явления, это-автолокализация дырок в идеальных решетках [1], образование дефектов с распадом электронных возбуждений [2], развитие теории экситонов и полярной теории [3]. Также были исследованы чистые и активированные щёлочно-галогидные кристаллы.

В работе [4] исследовались химические, механические, электрические и оптические свойства щёлочно-галогидных кристаллов, образованных атомами щёлочного металла (Li, Na, K, Rb, Cs) и галоида (F, Cl, Br, I), не находят разумных объяснений в рамках традиционных подходов.

Щёлочно-галогидные кристаллы относятся к классу ионных кристаллов, их типичным представителем является кристалл NaCl. Его решётка образована чередующимися ионами Na⁺ и ионами Cl⁻, располагающимися в вершинах кубов. Каждый ион натрия соседствует с шестью ионами хлора, а каждый ион хлора — с шестью ионами натрия.

При взаимодействии квантов и частиц либо ядерной, либо электронной подсистемами кристаллической решетки в кристаллах могут возникать радиационные повреждения. Результаты повреждения приводит к радиационным дефектообразованием в ионно-молекулярных ШГК кристаллах. Наблюдения разных авторов показали, что различают две группы механизмов радиационного создания нарушений в твердых телах – ударные электронные механизмы.

Ударные механизмы создания радиационных дефектов более хорошо изучены в полупроводниках и металлах при действии на них быстрых нейтронов, протонов, электронов и т.д.

Радиационные дефекты – это структурные повреждения ШГК при облучении их потоками ядерных частиц и электромагнитным (гамма-, рентгеновским) излучением. Структурные повреждения вызывают механических и других физических свойств кристаллов.

Дефектами называются любые отклонения от периодической структуры кристаллической решетки. В основном дефекты делятся на два вида: точечные и протяженные. В точечных дефектах искажение решетки сосредоточены в окрестностях одного узла, то есть локализованы в расстояниях равных межатомного расстояния. Протяженные дефекты по особенностям делятся на следующие виды: линейные, плоскостные и объемные. Их размеры в одном, двух и трех направлениях соответственно существенно превышают межатомного расстояния.

Во многих работах отмечались, что концентрации точечных дефектов в кристаллах можно создать путем облучения их квантами электромагнитного излучения

или частицами больших энергии. Дефекты, созданные таким путем в кристаллах называются радиационными дефектами. Радиационные дефекты определяют физические свойства кристаллов.

К практическому применению радиационных дефектов в ШГК в последнее время сосредоточен в основном трех направлениях: использование генерации радиационных дефектов для сознательного свойств кристаллов в выгодном для техники направлении (материаловедение), борьба с вредными изменениями свойств твердых тел, в условиях сильного облучения ионизирующими излучениями (в ядерных реакторах, ускорителях, космоса и т.д.), использование радиационных дефектов для записи и хранения информации в твердых телах (дозиметры, ячейки памяти).

Результаты исследования показали, что если энергия бомбардирующей частицы достаточна для смещения атома из узла кристаллической решетки в междоузлие могут возникнуть радиационный дефект. Первичные радиационные, т.е. междоузельный атом и вакансия, дефекты весьма подвижны и нестабильны при комнатных температурах.

Список используемых источников информации

1. Ч.Б. Лущик, А.Ч. Лущик. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. Наука, М. (1989). 264 с.
2. Гришаев А.А. Структура и свойства щелочно-галогидных кристаллов: физические связи между атомами, сборник научных статей «Физический мир», 2015
3. К.С. Бактыбеков. Люминесценция и радиационно-стимулированные процессы в кристаллах с комплексными анионами или катионами [Текст]: автореферат дис. ... д-ра физ.-мат. наук : 01.04.07 / К. С. Бактыбеков. - Алматы, 1996. - 33 с. : ил. - Библиогр.: с. 29-32
4. K.S. Song, R.T. Williams. Self-trapped excitons. Springer series in solid state sciences. V. 105 / Ed. M. Cardona. Springer Verlag, Berlin (1993). 396 p.
5. К.С. Бактыбеков, А.А. Баратова XIV международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике., тезисы лекции и докладов, 18 стр., 2014 г.

РАЗДЕЛ II. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бышкина О.В., Семейкин В.Д.

Структура оказания услуг доступа в Интернет с централизованной точки доступа для устранения цифрового неравенства

Астраханский государственный технический университет
(Россия, Астрахань)

doi:10.18411/spc-12-03-2017-02

idsp: 000001:spc-12-03-2017-02

Новые инфокоммуникационные технологии доступа можно классифицировать разными способами. Один из способов - разделение технологий на две группы. Первая группа включает технологии, которые используют (полностью или частично) двухпроводные физические цепи. Технологии второй группы такой возможности не предусматривают. Предлагаемая классификация новых технологий доступа показана на рис.1.

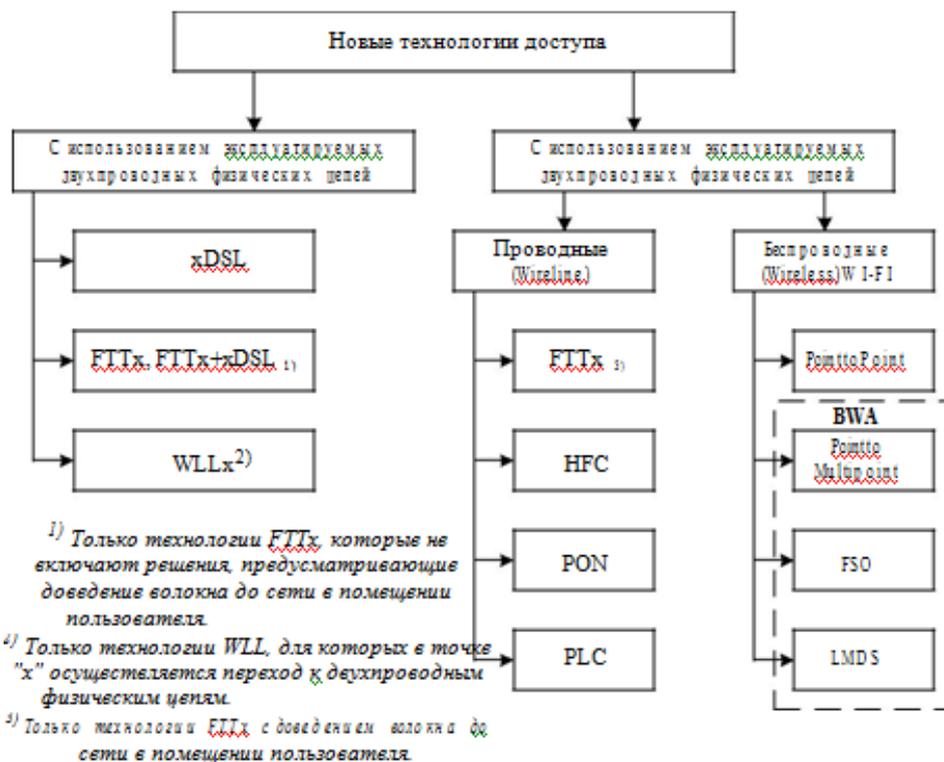


Рис. 1. Классификация технологий доступа

Вопросы использования технологий, входящих в семейство xDSL рассмотрено в российской и зарубежной технической литературе. Активно используются симметричные тракты, создаваемые, в частности на оборудовании SHDSL. Типичный пример их применения - объединение разнесенных офисов одной компании в единую сеть.

Технологии FTTx подразумевают доведение кабеля с оптическим волокном до некоторой точки "x", после которой информация передается с использованием иной среды распространения сигналов. Для первой группы технологий интересны те решения FTTx, для которых после точки "x" используется физическая двухпроводная цепь. Такой способ построения сети доступа может оказаться экономически выгодным, если в точке "x" устанавливается выносной концентратор цифровой коммутационной

станции. Если некоторым пользователям необходим широкополосный доступ, то такая возможность может обеспечиваться сочетанием технологий FTТх и xDSL.

В некоторых случаях (чаще всего в сельской местности) применяются технологии беспроводных абонентских линий (WLL) в сочетании с физическими цепями. Существует несколько разновидностей технологий WLL, которые различаются способом разделения каналов (частотный, временной и кодовый), а также иными характеристиками.

Технологии, входящие во вторую группу, в свою очередь, делятся на два вида: проводные (wireline) и беспроводные (wireless). Для технологий первого вида приведены четыре примера использования:

- подмножество FTТх, которое предназначено для доведения оптического волокна до сети, расположенной в помещении пользователя;
- комбинированная среда "волокно-коаксиал", известная по аббревиатуре HFC (способ, который был разработан и апробирован операторами кабельного телевидения);
- пассивная оптическая сеть PON, обеспечивающая широкополосные услуги для нескольких групп потенциальных клиентов;
- технология PLC, которая использует линии электропитания в качестве среды передачи сигналов через сеть доступа.

Технологии второго вида также представлены четырьмя примерами. Три последних примера образуют общее подмножество технологий BWA(BroadbandWirelessAccess), которое ориентировано на поддержку широкополосных услуг.

Оборудование, использующее конфигурацию связи "PointtoPoint", применяется для организации тракта между двумя приемопередатчиками. Первое поколение оборудования "PointtoPoint" предназначалось для включения телефонного аппарата в абонентский комплект коммутационной станции. Среди специалистов такое оборудование получило название "радиоудлинитель".

Конфигурация "PointtoMultipoint" обеспечивает подключение терминалов или выносных модулей, расположенных в зоне обслуживания соответствующей базовой станции. Первые системы "PointtoMultipoint" были предназначены исключительно для телефонной связи. Широкополосные услуги ими не поддерживались. В настоящее время в большинстве систем, использующих конфигурацию "PointtoMultipoint", предусмотрена поддержка широкополосных услуг. Характерным примером такого решения считается оборудование, соответствующее семейству стандартов IEEE802.16. Оно более известно по аббревиатуре WiMAX.

Следующий пример технологий беспроводного широкополосного доступа - системы лазерной связи, более известные по аббревиатуре FSO. Для передачи сигналов используется лазер, луч которого распространяется в открытом пространстве.

Завершает перечень примеров беспроводного доступа технология LMDS (LMCS). Эта технология изначально была предназначена для подачи телевизионных программ. Из поддерживаемых услуг следует выделить "видео по заказу", которая в последние годы становится все популярнее. Функциональные возможности технологии LMDS позволяют обеспечить все виды связи, среди которых важная роль отводится высокоскоростному доступу в Интернет.

В связи с ростом потребности населения в информационном обмене наблюдается повышение требований к средствам связи и доступности различных услуг связи. В целях улучшения текущей ситуации, развития сетей связи, Федеральным законом от 03.02.2014 № 9-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О связи» внесены изменения, направленные на расширение перечня универсальных услуг связи, в частности с использованием точек доступа (ТД) к сети Интернет, произведено снижение порога критерия для установки средств коллективного доступа (СКД) с 500

до 250 жителей, допускающий использование многофункциональных терминалов универсальных услуг связи, в том числе в отделениях почтовой связи. Это позволит обеспечить доступом к сети Интернет около 14 тысяч населенных пунктов с населением свыше 5 миллионов человек. В населенных пунктах с численностью 250-500 человек будут установлены точки доступа, позволяющие жителям самостоятельно подключиться к сети Интернет на скорости не менее 10 Мбит/с с использованием доступных и широко распространенных устройств.

Технология WiFi является практически единственной технологией, которая позволяет абонентам подключаться к точке доступа с использованием широкого спектра оборудования включая смартфоны, ноутбуки, планшеты и компьютеры. Для целей наибольшей универсализации процесса оказания услуг используется WiFi в частотном диапазоне 2,4 МГц, необходимая поддержка стандартов WiFi 802.11 b/g/n.

Технологии Wi-Fi позволяет обеспечить возможность предоставления услуг в зоне покрытия сети, а именно:

Обеспечить возможность предоставления услуг в зоне покрытия Wi-Fi:

- Доступ в Интернет (со скоростью до 10 Мбит/с)
- Обеспечить авторизацию и идентификацию абонента в соответствии с требованиями
- Обеспечить бесплатный доступ к списку социально-значимых услуг и сайтов для пользователей Универсальной услуги связи
- Обеспечить учет и тарификацию абонентов в соответствии с утвержденными тарифными планами Общества
- Обеспечить отключение абонентов от сети при превышении ими времени оплаченного соединения

В соответствии с технической политикой проектирования и строительства сетей широкополосного беспроводного доступа при развертывании сети беспроводного ШПД в населенном пункте, первоначально выбирается место установки столба УЦН, на котором располагается все вспомогательное оборудование и точки доступа. К столбу УЦН подводится электропитание (220В, подвес СИП проводов) и магистральная ВОЛС (подвес, самонесущий ВОК).

На столбе монтируется УУЦН, состоящий из шкафа, коммутатора Ethernet, АКБ и вспомогательного оборудования для мониторинга систем УУЦН. Коммутатор служит точкой доступа к транспортной пакетной сети доступа, и предназначен как для подключения к сети точек беспроводного доступа, так и для подключения возможных клиентов при помощи технологии FTTH. Узел УУЦН записывается от ШЭ через дополнительный автомат, расположенный в шкафу УЦН.

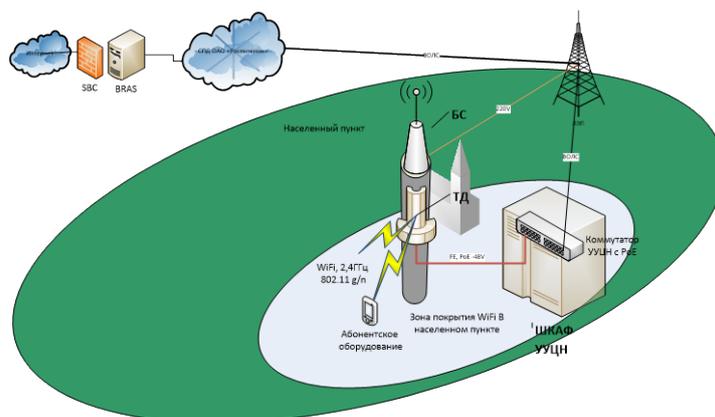


Рис.2 Схема подключения точки УЦН

На столбе монтируется оборудование ТД (внешнее всепогодное исполнение соответствие стандарту IP55). Допускается монтаж точки на стене здания или другом объекте в случае если столб БШПД отсутствует в данном населенном пункте. Подключение БТД к коммутатору УЦН осуществляется кабелем Ethernet внешнего исполнения категории не ниже 5-й с поддержкой POE (PoweroverEthernet). На базе этого оборудования организуется WiFихот спот, для обеспечения предоставления услуг доступа в интернет с использованием абонентского оборудования (проект УЦН).

При реализации проекта УЦН, «Ростелекому» предстоит не только пройти сложный экономический и технологический путь, но и осуществить важную в масштабе всей страны социально-гуманитарную миссию. По завершении программы небольшие населенные пункты России должны получить равный доступ в информационное общество со всеми его возможностями для общения, обмена информацией, предоставление получения доступа к госуслугам, образования, онлайн-банкинга и коммерции, то есть всего того, без чего уже невозможно представить жизнь современного человека.

Компания «Ростелеком» полностью готова к выполнению данного проекта, так как у нее есть опыт реализации крупных государственных проектов – Проект министерства Образования (предоставления интернета (Wi-Fi) во все школы, учебные заведения страны), Веб-выборы 2012 года, Олимпиада в Сочи, создание инфраструктуры госуслуг, ежегодная прямая линия с президентом РФ. Для выполнения данного проекта у Ростелекома есть все необходимое для этого - лучшие специалисты, развитая инфраструктура и качественное оборудование.

Список используемых источников информации

1. Росляков А.В. Сети доступа. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия –Телеком, 2008. – 96 с.
2. ITU-T. Recommendation Y.110 «Global Information Infrastructure principles and framework architecture». – Geneva, 1998.
3. Росс Джон. Wi-Fi. Беспроводная сеть. Пер. с англ. – М.: НТ Пресс, 2007. – 320 с.
4. РошанПеджман,ЛиериДжонотан. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 304 с.
5. Соколов Н. Эволюция сетей доступа. Три аспекта //Первая миля, 2015, № 1, с 56-61.
6. Руководящий технический материал Модернизация сетей доступа НТИЦ Протей, снкт-Петербург. Редакция 2.0

Красиков М.С.

Взаимное влияние лучей в подвижной спутниковой связи

*ФГБОУ ВО Сиб ГУТИ
(Россия, Новосибирск)*

doi:10.18411/spc-12-03-2017-03

idspr: 000001:spc-12-03-2017-03

Связь, осуществляемая с помощью спутника, заключается в том, что промежуточный ретранслятор устанавливается на борту ИСЗ, принимает сигнал от ЦЗС и передает информацию абонентским терминалам, находящихся на земной поверхности.

Для эффективного использования спектра необходимо использование методов повторного использования частот максимальное количество раз, при этом некоторые частоты должны быть пространственно разнесены на минимально возможное расстояние [2].

Сейчас уже разработано множество методов оптимального частотно-территориального планирования сетей подвижной спутниковой связи. В частности, решаются задачи определения частотно-пространственных ограничений и определения параметров лучей AP, оценки эффективности выделения частотного ресурса,

оптимизации частотно-территориального планирования с учетом количества абонентов в луче, задачи учета множественности помех АР, требований к помехозащищенности сети, требований обеспечения ЭМС. Также активно разрабатываются программные модели и алгоритмы для экспериментального исследования ЧТП [4,5].

Целью данного исследования является разработка методики определения частотно-пространственных ограничений для спутниковых ретрансляторов с концентрическими круговыми антенными решетками, позволяющая обеспечить электромагнитную совместимость (ЭМС) при частотно-территориальном планировании за счет учета влияния боковых лепестков диаграммы направленности (ДН) антенной решетки (АР) и множественности помех в условиях неоднородной системы спутниковой связи и определить уровень помехозащищенности в отдельных лучах многолучевой антенны.

Другим вопросом исследования является изучение эффективных методов оптимального частотно-территориального планирования на основе подходов, используемых в наземной связи, но применительно к спутниковым системам.

При построении систем передачи спутниковой связи на основе многолучевой антенной решетки с повторным использованием частот, обслуживаемая территория представляет собой совокупность сот, объединенных в кластеры, так же как в сотовой связи. Совокупность ближайших сот, использующих неповторяющиеся частотные каналы называют кластером. Число сот в таком кластере называется его размерностью S . При этом каждая сота является зоной обслуживания определенного луча многолучевой антенны. Поэтому, повторное использование частот сводится к частотно-пространственному распределению частотных каналов для Земных станций, действующих в пределах зон обслуживания лучей.

Для охвата большой территории со спутника ее делят на порционные участки, каждый из которых обслуживает отдельный луч многолучевой антенны спутникового ретранслятора (см. Рис. 1). Поэтому при проектировании систем подвижной спутниковой связи спутниковым антеннам уделяется очень много внимания [4]. Многолучевая антенна должна обеспечивать необходимый уровень межлучевой интерференции и обладать довольно узкой диаграммой направленности [1].

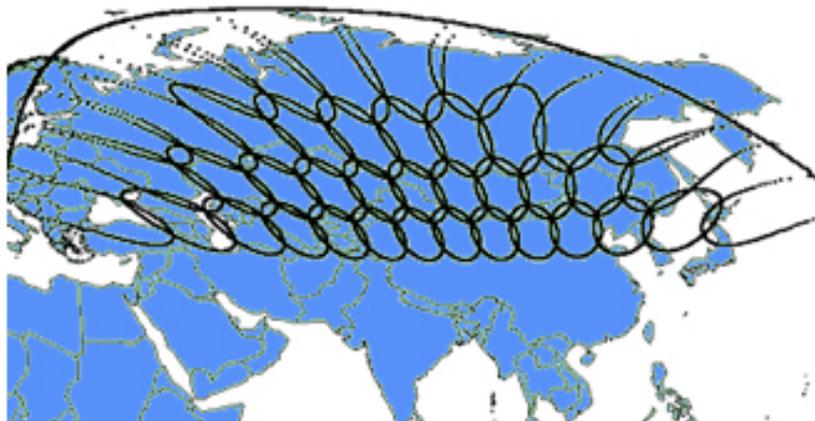


Рис. 1. Зона обслуживания спутникового ретранслятора.

Для формирования необходимой зоны покрытия многолучевой антенны могут использоваться массивы излучателей на основе линейных, концентрических кольцевых или плоских антенных решеток. При этом для необходимо учитывать параметры ДН, которую они формируют: уровни боковых лепестков, ширину главного и боковых лепестков в зависимости от числа излучателей в антенной решетке и их взаимного расположения.

Наибольшее применение на практике получили неэквидистантные концентрические кольцевые антенные решетки, представляющие собой совокупность

множества элементов, образующих кольца разного диаметра с общим центром (см. Рис. 2). Такая антенна обеспечивает достаточно узкую диаграмму направленности около 1° и низкий уровень боковых лепестков (side lobe ratio, SLR), около -25 дБ [3].

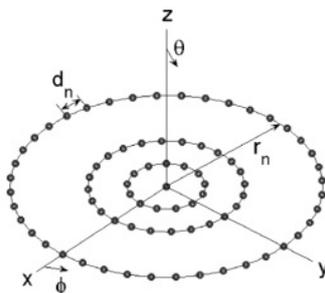


Рис. 2. Построение концентрической кольцевой антенны.

Диаграмма направленности такой антенной решетки, определяется выражением(1):

$$F(\theta, \varphi) = 1 + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} e^{jk R_m (\cos(\varphi_n) \cdot u + \sin(\varphi_n) \cdot v)}, \quad (1)$$

где $\varphi_n = 2\pi(n-1)/N_m$ определяет расположение n-го элемента на m-м кольце;

N_m – количество элементов в m-м кольце;

R_m – радиус m-го кольца;

$u = \sin\theta \cos\varphi - \sin\theta_0 \cos\varphi_0$;

$v = \sin\theta \sin\varphi - \sin\theta_0 \sin\varphi_0$;

θ_0 и φ_0 – направление максимума главного лепестка ДН луча.

Нормированная функция множителя антенной решетки определяется из формулы (2) [2,5]:

$$G(\theta, \varphi) = 20 \log(F(\theta, \varphi)/F(0,0)), \quad (2)$$

Значения N_m и R_m , задающие количество и расположение элементов в решетке, в неэквидистантной ККАР определяются в результате проведения генетических алгоритмов (см. Табл. 1) [3]. Для проведения исследования были выбраны концентрические антенные решетки, полученные после оптимизации по радиусу, и после оптимизации по радиусу и количеству элементов в кольцах[7].

Таблица 1

Конфигурация ККАР

Оптимизация колец	№ кольца, m	1	2	3	4	5	6
По R_m	N_m	12	19	26	36	45	62
	$R_{m, м}$	1	1.59	2.14	2.88	3.66	4.98
По R_m и N_m	N_m	9	17	25	31	26	33
	$R_{m, м}$	0.76	1.36	2.09	2.99	3.78	4.70

С учетом круговой структуры ДН ККАР, для анализа влияния её боковых лепестков достаточно рассмотреть нормированную функцию множителя такой решетки в логарифмическом масштабе $G(\theta, \varphi)$ полученной согласно формуле (2) [5]. Ввиду симметрии ДН достаточно рассмотреть сечение данной функции в плоскости $\varphi = 0$. ККАР, оптимизированная по R_m имеет уровень боковых лепестков равный минус 23 дБ (см. Рис.3), а ККАР оптимизированной по R_m и N_m равный минус 27 дБ (см. Рис.4).

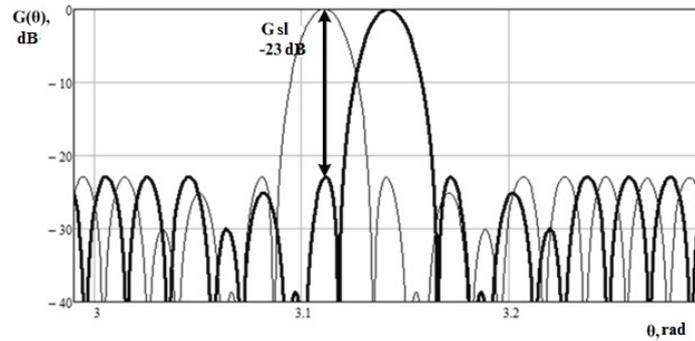


Рис. 3. Нормированная функция ККАР, оптимизированной по радиусу.

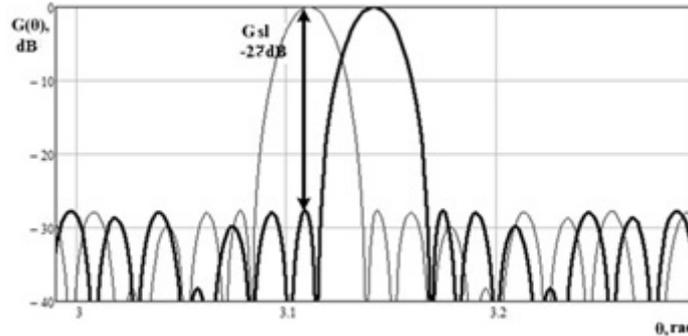


Рис. 4. Нормированная функция ККАР, оптимизированной по радиусу и количеству элементов.

Рабочая зона спутникового ретранслятора (СР) представляет собой обслуживаемую территорию, разделенную на части соответствующие каждому лучу диаграммы направленности антенной решетки, при этом соседние лучи не влияют на энергетические параметры друг друга. Таким образом, обслуживаемая территория делится на части, подобно системам сотовой связи, тогда каждая сота обслуживается отдельным лучом многолучевой антенны.

Оценка влияния боковых лепестков ДН антенной решетки основана на оценке уровня SINR (Signal Interference + Noise Ratio, - отношение сигнал/(шум+помеха)) которое определяется на границе зоны обслуживания каждого луча при наличии интерференционных помех. При этом итоговое значение SINR определяется из суммарного уровня помех от лепестков диаграммы направленности мешающих лучей и от мощности интерференционной помехи. Ниже приведена формула (3) расчета SINR на линии Земля-спутник. Расчет для линии спутник-Земля аналогичен [4,5].

$$SINR = \frac{h_n \cdot h_{int}}{h_n + h_{int}}, \quad (3)$$

где h_n – отношение сигнал/шум определяется по (4);

h_{int} – отношение сигнала к сумме интерферирующих мешающих сигналов от боковых лепестков, определяется по (5) .

$$h_n = \left(\frac{P_s}{P_n} \right)_{sat} = \frac{EIRP_{term} \cdot G_{sat} \cdot G(\theta, \varphi)}{k \cdot B \cdot T_{sat} \cdot L_{up} \cdot L_{add}}, \quad (4),$$

где $EIRP_{term}$ - эквивалентная изотропная излучаемая мощность Земной станции, дБВт;

k – постоянная Больцмана, Дж/К;

B – ширина полосы частот, Гц;

G_{sat} – коэффициент усиления антенны СР в направлении максимума диаграммы направленности;

$G(\theta, \varphi)$ – нормированная функция множителя антенной решетки;

L_{up} – затухание сигнала в свободном пространстве на линии вверх;

L_{add} – дополнительные потери сигнала в атмосфере;

T_{sat} – эффективная шумовая температура приёмного устройства.

$$h_{int} = \left(\frac{P_s}{P_{int}} \right)_{sat} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n G(\theta_i, \varphi)}, \quad (5)$$

где P_{int} – мощность интерференционной помехи от других лучей многолучевой антенны, использующих тот же частотный канал, что и рассматриваемый, Вт [6, 8]; θ_i - угол между краем обслуживаемой зоны и осью ДН мешающего луча [1, 7].

Главная особенность частотного планирования сети с использованием технологии IMT-Advanced состоит в оптимальном распределении имеющегося радиочастотного ресурса, т.е. распределение, обеспечивающее минимальные взаимные помехи [9]. Это важно для достижения максимальной пропускной способности в планируемой сети. В данной работе используется принцип дробного повторного использования частот (ДПИЧ, от англ. FFR - fractional frequency reuse). Его идея состоит в том, что имеющийся ресурс делится на две части. Одна из этих частей используется во всех сотах с коэффициентом повтора, равным единице (центральная сота), в то время как другая часть (внешняя сота) делится между различными сотами, разделенными в соответствии с размерностью кластера (см. Рис. 5 для размерности кластера внешней соты равной $7 \text{ Seq} = 7$).

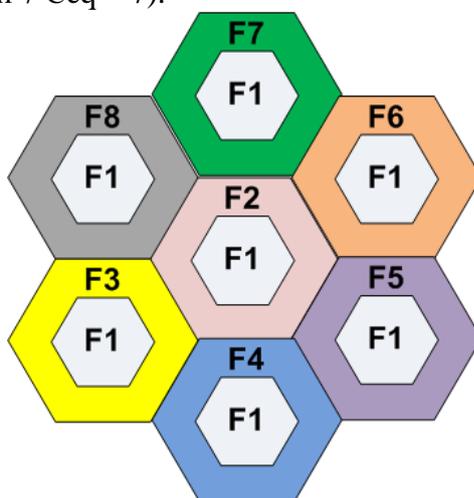


Рис. 5. Дробное повторное использование частот. $\text{Seq}=7$.

Для внутренней соты характерна ситуация, при которой в зависимости от ее радиуса, расстояние до соседних сот будет меняться. Это изменение можно учесть, введя понятие эквивалентной размерности кластера (см. Рис. 6). При этом радиусы центральной соты меняются в зависимости от эквивалентной размерности кластера.

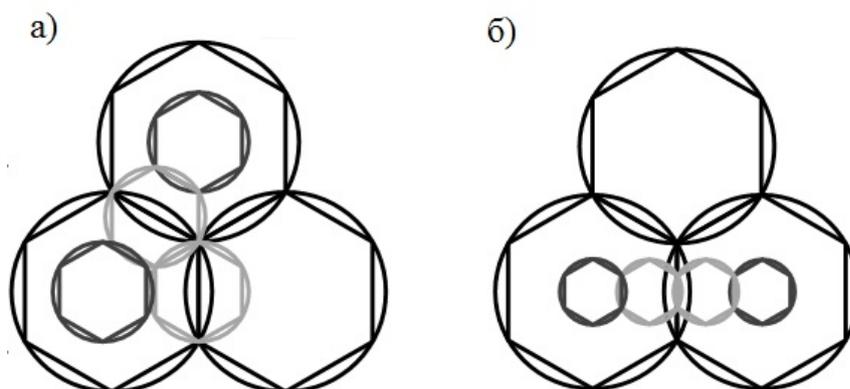


Рис. 6. Эквивалентная размерность кластера а) $\text{Seq} = 3$, б) $\text{Seq} = 7$.

Ниже приведены зависимости SINR от эквивалентной размерности кластера C_{eq} для антенных решеток с уровнем боковых лепестков SLR -23 дБ и -27 дБ (см. Рис. 7). Характер полученных зависимостей связан с различным влиянием боковых лепестков антенных решеток на главный лепесток.

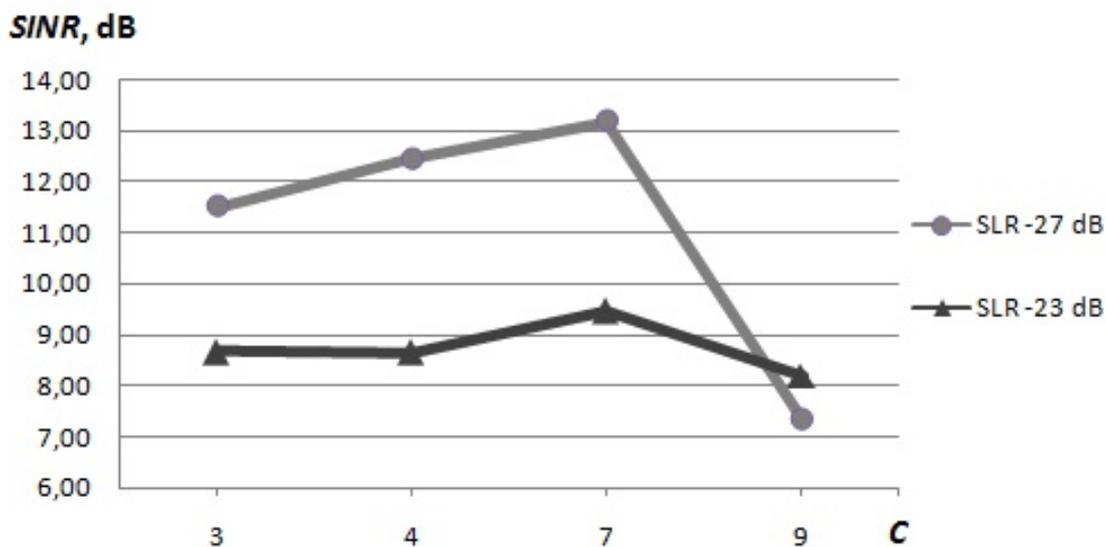


Рис. 7. Зависимость SINR от эквивалентной размерности кластера C_{eq} .

Для проверки эффективности используемой АР при частотно-территориальном планировании систем спутниковой связи, были сформированы ДН по формуле (1) двух концентрических кольцевых АР с уровнями боковых лепестков -23 дБ и -27 дБ в программе MathCAD. Были получены SINR по формуле (3) и получены их зависимости для разных размерностей кластеров при использовании обеих АР.

Результаты вычислений для различных размерностей кластера (C) и уровня боковых лепестков (SLR) приведены на Рис. 7. Данные, которые были получены в ходе эксперимента показали, что при SLR = -27 дБ значение SINR увеличивается на 1 дБ, а при SLR = -23 дБ значение SINR практически не изменяется. При этом разница в уровне боковых лепестков двух антенных решеток соответствует разнице в SINR и составляет около 4-х дБ.

При эквивалентной размерности кластера равной 9-ти значение SINR уменьшается на 6 дБ при SLR = -27 дБ и на 1,2 дБ при SLR = -23 дБ. Такое уменьшение SINR вызвано тем, что при определенном увеличении номера бокового лепестка происходит увеличение его уровня.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в системах спутниковой подвижной связи целесообразно использовать эквивалентную размерность кластера $C_{eq} = 4, 7$ и цифровые антенные решетки с низким уровнем боковых лепестков.

Список используемых источников информации

1. Anderson, S. Adaptive antennas for GSM and TDMA systems / S. Anderson, B. Hagerman, H. Dam, U. Forssén, J. Karlsson, F. Kronstedt, S. Mazur, and K. J. Molnar // IEEE Personal Communications. – 1999. – vol. 6. – P. 74-86.
2. Balanis, C. A. Antenna Theory: Analysis and Design: Second Edition / C. A. Balanis. – New York: John Wiley & Sons, 1997. – 941 с.
3. Haupt, R. L. Optimized Element Spacing for Low Sidelobe Concentric Ring Arrays / R. L. Haupt // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2008. – vol. 56 (1). – P. 266-268.
4. Vishnevsky, V. M. Broadband wireless data transmission network / Vishnevsky V.M., Lyahov A.I., Portnoy S.L., Shahnovich I.V.,.. – Moscow: Technosfera, 2005. – 592 p.

5. Geniatulin K.A. Subscribers distribution modeling for frequency-spatial network planning for satellite connection with zone service / Geniatulin K.A. // Modern problems of telecommunications: – Novosibirsk: SibGUTY, 2014. – P. 103-104.
6. Nosov V.I. Methods of determining the coefficient of mutual influence for coordinate rings method at the frequency-spatial planning of satellite communication system with zone service / Nosov V.I, Geniatulin K.A. // Modern problems of telecommunications: Novosibirsk: SibGUTY, 2014. – P. 118-119.
7. Krasikov M.S., Nosov V.I., Influence of antenna array directivity pattern side-lobes on parameters of satellite networks. / Krasikov M.S., Nosov V.I./ Communication systems and navigation: - P. 66-69 Krasnoyarsk, 2016.
8. Krasikov M.S., Nosov V.I., Research of the satellite transponder beams interference impact/ Krasikov M.S., Nosov V.I.// 2016 13th international scientifictechnical conference on actual problems of electronic instrument engineering (apeie) – 39281 proceedings: APEIE – 2016. Volume 7 (Novosibirsk, October 3-6, 2016) / – Novosibirsk. – P. 40–42. – ISBN: 978-1-5090-4068-1.

Лазарева Е.А.

**Линейно-кабельные сооружения связи – как объект с конечным временем
восстановления**

*Астраханский государственный технический университет
(Россия, Астрахань)*

doi:10.18411/spc-12-03-2017-04

idsp: 000001:spc-12-03-2017-04

В современном информационном обществе инфокоммуникационные системы стали жизненно необходимыми и занимают лидирующие позиции в функционировании многих сфер жизнедеятельности человека. Основная задача – это необходимость обеспечения их высокой надёжности. Предметом исследования надёжности линейно-кабельных сооружений (ЛКС) связи является изучение причин, вызывающих отказы в системе, определение закономерностей, которым они подчиняются, разработка новых способов количественного измерения надёжности, методов расчёта и испытаний, разработка путей и средств повышения надёжности. Элементами исследования надёжности ЛКС связи являются: оптический кабель (ОК), кабельная арматура, кабельная канализация, необслуживаемые регенерационные пункты (НРП), необслуживаемые усилительные пункты (НУП) и другие устройства и оборудование [5]. При невыполнении условий надёжности другие показатели качества теряют свои значения, поскольку система не может в полной мере выполнить свои функции.

Слагаемые качества услуг

Телекоммуникационные сети принято оценивать определёнными показателями надёжности, которые в целом дают возможность передачи качественной и эффективной информации в них, т.е. выполнения заданных функций:

- передача данных в установленном объёме;
- на требуемом уровне качества;
- в течение заявленного периода времени.

Качество предоставляемых услуг зависит от состояния линий связи (системы в целом) и от состояния аппаратуры, блоков, различных устройств, узлов (отдельных элементов системы). Чем выше надёжность системы в целом и её отдельных элементов, тем выше качество предоставляемых услуг, поэтому качество предоставления услуг является основной характеристикой функционирования системы. В соответствии с ГОСТ 27.002-89 надёжность (dependability) – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции [2]. В этом стандарте выделены единичные показатели надёжности: долговечность (durability), безотказность (reliability), ремонтпригодность

(maintainability), отказоустойчивость (fault-tolerance), восстанавливаемость (restorability) и сохраняемость (storability), каждый из которых характеризуется как отдельный показатель надёжности, так и комплексные показатели надёжности: коэффициент готовности K_r и коэффициент вынужденного простоя (коэффициент неготовности) K_n , которые описывают одновременно несколько свойств надёжности. Показатели K_r , K_n характеризуют определение готовность (availability) – свойство объекта быть в исправном состоянии и выполнять требуемую функцию при заданных условиях в данный момент времени или в течении заданного интервала времени при условии обеспечения необходимыми внешними ресурсами [4].

Таблица 1

Нормы для коэффициента готовности

Тип сети электросвязи	Норма коэффициента готовности K_r
Сеть междугородной и международной	$\geq 0,999$
Сеть зонавой телефонной связи	$\geq 0,9995$
Сеть местной телефонной связи	$\geq 0,9999$
Телеграфная сеть связи и сеть Телетекст	$\geq 0,9999$
Сеть передачи данных	$\geq 0,99$

В таблице 1 приведены нормы коэффициента готовности на определённые виды связи для обеспечения устойчивого функционирования систем [3].

Надёжность восстанавливаемого объекта

Условно все объекты делятся на два класса: невозстанавливаемые (неремонтируемые) и восстанавливаемые (ремонтируемые) [6-7]. Будем считать систему связи восстанавливаемой, так как при поломке какого либо блока, устройства или нарушение целостности оптического кабеля происходит замена или ремонт, после чего работоспособность системы восстанавливается.

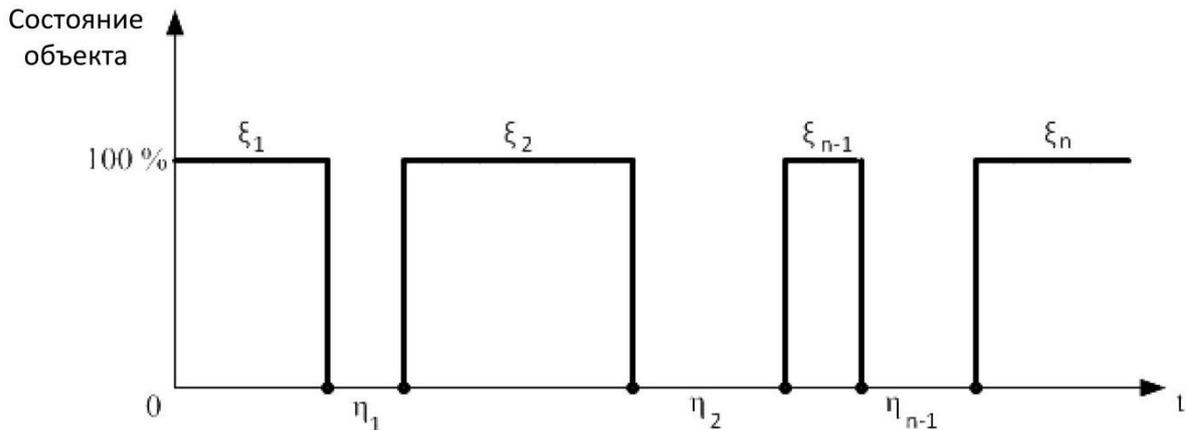


Рис.1 Поведение восстанавливаемого объекта

На рис.1 показана диаграмма поведения восстанавливаемого объекта, где ξ_1, ξ_2, ξ_n – периоды рабочих состояний чередуются с η_1, η_2, η_n – периодами восстановления системы после отказа и образуют случайный поток, который будем называть процессом восстановления. Процесс восстановления всегда требует определённого времени, которым нельзя пренебречь. Все указанные величины имеют случайный и независимый характер, тогда: последовательность величин $\xi_i = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_{n-1} + \xi_n$, $n = 1, 2, \dots$ имеет распределение $F(t) = P \{ \xi_i < t \}$, а последовательность величин η_i имеет распределение $G(t) = P \{ \eta_i < t \}$. Реальная система связи функционирует многие годы и за это время происходит достаточно большое число отказов, поэтому говорят о среднем

времени работы между отказами T_0 (Mean Time To Failure (MTTF)) и среднем времени восстановления T_b (Mean Time To Recovery (MTTR)), эти параметры определяют коэффициент готовности. Выразим через математическое ожидание среднее число отказов за время t : $T_0 = M\xi_i$ – показатель безотказности восстанавливаемого объекта и среднее число восстановлений за время t : $T_b = M\eta_i$ – показатель ремонтпригодности [8]. Функциями $F(t)$ и $G(t)$ описывается процесс восстановления объекта с конечным временем восстановления. Основными характеристиками этого процесса являются: коэффициент готовности K_r и коэффициент вынужденного простоя (коэффициент неготовности) K_n . $K_r(t) = \text{Вер} \{ \text{вероятность, что в момент времени } t \text{ рассматриваемый объект находится в исправном состоянии} \}$.

Выразим диаграмму поведения восстанавливаемого объекта с помощью математической модели по теории цепей А. А. Маркова, так как величины в распределениях $F(t)$ и $G(t)$ образуют случайную последовательность, вероятности которых на n - шаге зависят от состояния на предыдущем шаге, связываются в цепь Маркова. Составим граф переходов (рис.2), где «1» - состояние работоспособного объекта, «0» - состояние неработоспособного объекта, λ и μ – интенсивность переходов.

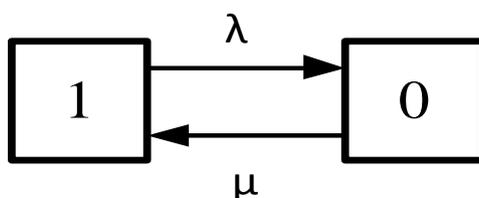


Рис.2 Граф переходов для восстанавливаемого объекта

Переход из состояния работоспособности в состояние отказа происходит с интенсивностью $\lambda = 1 / T_0$, а переход из состояния отказа в состояние работоспособности – с интенсивностью $\mu = 1 / T_b$. На практике принято рассматривать специальный случай процесса восстановления с конечным временем восстановления, когда время безотказной работы и восстановления объекта описывается экспоненциальным законом [1]:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, G(t) = 1 - e^{-\mu t} . \quad (1)$$

С помощью экспоненциального закона можно вывести выражения для определения K_r и K_n : обозначим $f_1(t)$ – вероятность исправного состояния объекта, $f_0(t) = 1 - f_1(t)$ – вероятность неисправного состояния объекта. Сравним работоспособность объекта между двумя моментами времени t и $t + \Delta t$. С помощью формулы полных вероятностей получим выражение:

$$f(t + \Delta t) = [1 - \lambda\Delta t + o(\Delta t)]f_1(t) + [\mu\Delta t + o(\Delta t)]f_0(t) , \quad (2)$$

где $o(\Delta t)$ – функция ординарности. Выражает невозможность появления более одного события за время Δt – из определения однородных процессов Пуассона [1].

Разделим уравнение (2) на Δt и переходя к пределу $\Delta t \rightarrow 0$, получаем дифференциальное уравнение:

$$\begin{aligned} f'(t) &= -\lambda f_1(t) + \mu f_0(t) \rightarrow f'(t) = -\lambda f_1(t) + \mu[1 - f_1(t)] \\ &\rightarrow f'(t) + (\lambda + \mu)f_1(t) = \mu . \end{aligned} \quad (3)$$

При условии, что $K_r(0) = 1$ (в начальный момент времени объект работоспособен) решаем уравнение (3):

$$f(t) = \frac{\mu + \lambda e^{-(\lambda + \mu)t}}{\mu + \lambda} = K_2(t). \quad (4)$$

При $t \rightarrow \infty$ $K_2(t)$ будет стремиться к стационарному состоянию:

$$K_2 = \lim_{t \rightarrow \infty} K_2(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Выразив λ через T_o , а μ через T_b , получим:

$$K_2 = \frac{T_o}{T_o + T_b}, \quad (5)$$

K_2 определяет вероятность того, что объект будет находиться в исправном состоянии в произвольно выбранный момент времени. K_2 является основным комплексным показателем надёжности, характеризующим безотказность и ремонтпригодность. Дополнение коэффициента готовности до единицы – K_n – коэффициент простоя:

$$K_n = 1 - K_2 = \frac{T_b}{T_o + T_b}, \quad (6)$$

K_n определяет вероятность того, что объект будет неработоспособен в произвольно выбранный момент времени.

Сети связи – объект со сложной структурой

Будем рассматривать сети связи в целом, как систему, которая представляет собой сложный объект, состоящий из множества элементов и узлов, которые в свою очередь можно разделить на подсистемы, связанные друг с другом определёнными отношениями и взаимодействиями, создавая многоуровневую схему. Основными признаками сложной системы являются: масштабируемость, структурированность, зависимость друг от друга составляющих её элементов и узлов, стремление всей системы к определённой цели [8]. Так как сети связи подчинены математическим, статистическим и физическим закономерностям и процессам, то можно сделать вывод, что сети функционируют во времени и пространстве. Особенности сложных систем:

- Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) состоит из большого количества элементов и узлов, которые имеют свои характеристики надёжности.
- Все элементы и узлы по-разному влияют на надёжность объекта в целом.
- Сложный объект имеет свои индивидуальные параметры, при различных вариациях элементов и узлов, выходные параметры объекта различны.

Заключение

Сети связи сложный объект, со множеством функций и режимов работы. Количественно точно посчитать надёжность как в целом, так и отдельной сети или узла нельзя, так как функционирование объекта протекает во времени, а отказы носят случайный характер, поэтому все показатели надёжности имеют вероятностно-временной характер. В связи с этим для описания основных показателей надёжности используются математические модели теории вероятности и соответствующие характеристики случайных величин. В соответствии с Рекомендациями МСЭ-Т E.800 надёжность является одним из основных факторов, влияющих на качество обслуживания на сетях связи.

Список используемых источников информации

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д. Математические методы в теории надёжности. М., 1965 г., 524 стр. с илл.
2. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Дата введения 1990-07-01.– Издательство стандартов. - 37 с.

3. ГОСТ Р 53111 – 2008 «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования». Требования и методы проверки. Дата введения 2009-10-01.
4. Нетес В.А. Основы теории надёжности: Учебное пособие. Изд. 2-е, перераб./ МТУСИ. – М., 2014. – 74 с.
5. Правила технической эксплуатации первичных сетей взаимовязанной сети связи Российской Федерации. Книга третья. Правила технической эксплуатации линейно-кабельных сооружений междугородных линий передачи. Госкомсвязи России. 19 октября 1998 г. N187.
6. Ушаков И.А. Курс теории надёжности систем: учеб. пособие для вузов/ - М.: Дрофа, 2008. – 240 с: ил.
7. Чебоксаров А.Н. Основы теории надёжности и диагностика/ Курс лекций. – Омск: СибАДИ, 2012. – 76 с.
8. Шувалов В.П., Егунов М.М., Минина Е.А. Обеспечение показателей надёжности телекоммуникационных систем и сетей. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016, - 168 с.: ил.

РАЗДЕЛ III. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Муравьев К.А., Татлыев Р.Д.

Анализ коррозионных разрушений нефтепроводов с пересеченным профилем трассы

*Сургутский институт нефти и газа — филиал ТИУ в г.Сургуте
(Россия, Сургут)*

doi:10.18411/spc-12-03-2017-05

idsp: 000001:spc-12-03-2017-05

Аннотация

Рассмотрены физико-механические особенности коррозионных разрушений нефтепроводов с пересеченным профилем трассы; указано на необходимость изучения закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния несущих элементов трубопроводов.

Ключевые слова: нефтепроводы, микробно-индуцированная коррозия, сульфатредуцирующие бактерии, сварное соединение, агрессивные среды, напряженное состояние.

Abstract

The physical-mechanical characteristics of corrosion damage to the pipeline route crossed profile; The need to study the patterns of change in the stress-strain state of pipelines carrying elements.

Keywords: pipelines, microbially-induced corrosion, sulfate-reducing bacteria, weld joint, aggressive media, stress state.

Актуальность темы

Разработка нефтяных месторождений Западной Сибири неразрывно связана с коррозионным разрушением нефтепромыслового оборудования, в частности трубопроводов. Одна из основных причин такого вида разрушения – присутствие в перекачиваемом продукте сероводорода, кислорода, углекислого газа и микробактерий. Особенно коррозионному повреждению подвержены стальные трубопроводы, проложенные по дну рек и болот и имеющие пересеченный профиль трассы.

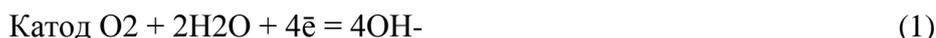
Обычно коррозионное поражение в речной и озерной воде и подводном грунте протекает по электрохимическому механизму. На его развитие влияют обрастание поверхности трубопроводов отмершими организмами флоры и фауны, предварительная обработка стальной поверхности, присутствие пленок прокатной окалины и ее местных разрушений и т.п., которое способствует возникновению местной коррозии в виде питтингов [17]. Многолетний опыт эксплуатации трубопроводов с пересеченным профилем трассы, что в ряде случаев сквозные поражения возникали через 2...3 года эксплуатации [4-7, 16].

В связи с актуальностью данной проблемы, целью работы являлось анализ физико-механических особенностей коррозионных разрушений трубопроводов, построенных в болотистой местности и со сложным профилем трассы.

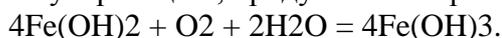
Результаты анализа и их обсуждение

Известно, что деполяризатором катодного процесса преимущественно является кислород, растворенный в воде [13], скорость поступления которого при прокладке трубопровода через водную преграду остается практически неизменной на глубинах 2...20 м [17].

Катодный и анодный процессы проходят по следующим схемам:

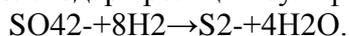


Образованный гидроксид железа (2) в присутствии кислорода вступает в дальнейшую реакцию, продуктом которой является гидроксид железа (3):



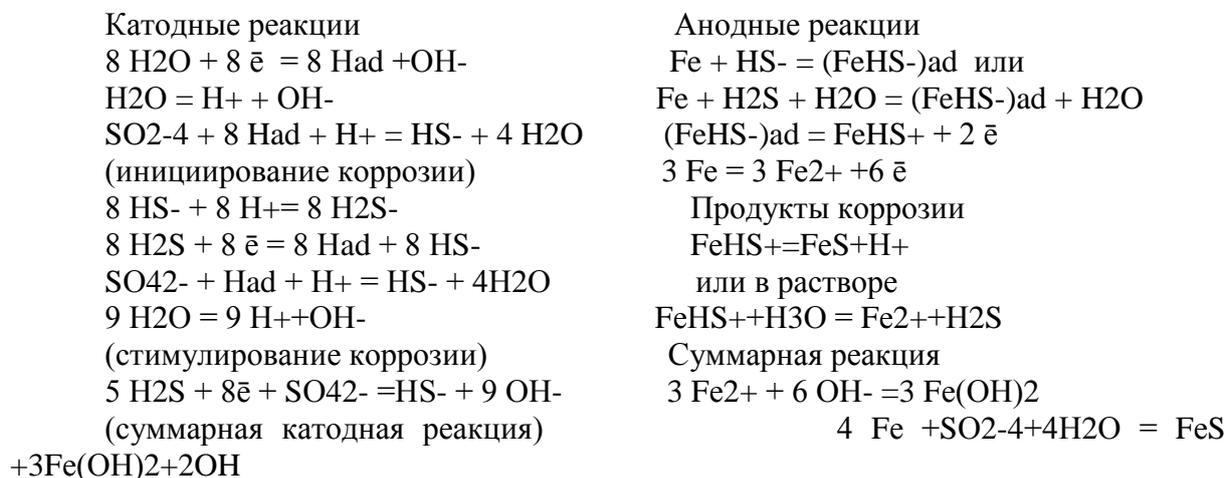
В последние годы в связи с высокой обводненностью скважин дополнительным фактором, существенно усиливающим коррозию трубопроводов, является присутствие в транспортируемой водонефтегазовой среде сульфатвосстанавливающих бактерий.

Микробно-индуцированная коррозия (МИК) железа и сталей в присутствии сульфатредуцирующих бактерий (СРБ), согласно нашим представлениям, может рассматриваться как сложный многостадийный электрохимический процесс, инициируемый и катализируемый бактериями. Бактерии инициируют МИК железа и стали благодаря реакции сульфатредукции



Они стимулируют ее за счет вторичного влияния на коррозию продуктов своей жизнедеятельности (H_2S , HS^- , S^{2-}). Это приводит к образованию на поверхности металла гальванической пары «сульфид железа — железо», значительно увеличивающей скорость коррозии и вызывающей питтингование. Такой механизм подтверждается кинетикой скорости коррозии и роста клеток бактерий, снижением со временем окислительно-восстановительного потенциала системы, уменьшением содержания в ней сульфатов и накоплением сероводорода, появлением сульфидов железа биогенного происхождения. Прямое и косвенное участие бактерий в МИК углеродистых сталей подтверждают также результаты электрохимических исследований в присутствии СРБ.

Таким образом, процесс МИК железа и сталей, вызываемые СРБ, может быть представлен реакциями:



Эти уравнения характеризуют инициирующее и катализирующее влияние, СРБ на МИК железа и сталей. Однако в отличие от последних, они учитывают влияние на их коррозию не S^{2-} ионов, а молекул H_2S и ионов HS^- , являющихся основными коррозионными агентами в средах нефтяного месторождения [16].

Для проявления сквозной (питтинговой) коррозии необходимо присутствие окислителя и вещества, которые поражают оксидные пленки или покрытия. В этом плане чрезвычайно активными являются галогениды – ионы (за исключением фтора – F-). Для Fe предельное значение концентрации ионов Cl^- составляет $3 \cdot 10^{-4}$ моль/л [14]. Присутствие в речной и озерной воде относительно большого количества растворенного кислорода и суммарной концентрации галогенид – ионов $6 \dots 8 \cdot 10^{-2}$

моль/л создает благоприятные условия для развития глубоких коррозионных повреждений [33].

Поэтому можно отметить, что доступ кислорода к поверхности трубы является одним из контролирующих факторов электрохимического коррозионного процесса. Однако, из этого не следует, что участки трубы, покрытые грунтом, т.е. доступ к которым кислороду усложнен, лучше защищены от коррозии.

Характерным примером может служить аэрационная макрогальваническая пара, в которой участки поверхности с облегченным доступом кислорода, вследствие пассивации и образования оксидных пленок, становится катодом, а другая, доступ к которой кислороду усложнен (например, нижняя часть трубопровода) – анодом, на котором концентрируются коррозионные повреждения.

Известно [7,9,16], что сварные швы наиболее склонны к местной (локальной) коррозии, чем основной металл, вследствие неоднородности химического состава и структуры, присутствия различных неметаллических включений и др.

Исследования коррозии сварных швов показали, что шов и околошовная зона играют роль анода, подвергающегося при этом интенсивному разрушению. Большая разница между площадями катода (основной металл) и анода (сварное соединение) интенсифицирует процесс деполяризации даже при незначительных концентрациях кислорода, что усиливает таким образом локальную коррозию с небезопасными последствиями. Глубина коррозионных язв в зоне сварных соединений может достигать 1,5...1,7 мм/год и более значений [17,37].

Влияние статических напряжений (изгиб) проявляется в значительном ускорении местной коррозии при небольшом значении общей (см. таблицу 1).

Таблица 1

Зависимость скоростей общей и местной коррозии от напряженно-деформированного состояния стенки трубопровода [17].

Характеристика образцов	Коррозия	
	Общая, вычисленная по потере веса, мм/год	Максимальная глубина каверн, мм/год
Нагруженные образцы	0,037	0,23
Контрольные (ненагруженные образцы)	0,028	0,09

В условиях эксплуатации элементы конструкции трубопровода, проложенного по дну рек и болот, т.е. со сложным пересеченным профилем трассы, подвергаются малоцикловой и многоцикловой низкочастотной коррозионной усталости. При этом чем меньше частота, тем ниже коррозионно-усталостная прочность [12], поскольку увеличивается время влияния среды при заданном количестве циклов нагружения.

Агрессивное действие среды усиливается в половине цикла раскрытия трещины, когда разрушаются пассивирующие пленки и становится возможным непосредственный контакт среды с новообразованной ювенильной поверхностью металла в зоне вершины трещины [26]. Допускают, что в трещине функционирует гальванический элемент (ГЭ) с электродами: вершина трещины под напряжением – анод, берега трещины, свободные от напряжения, - катод [12].

Работа данного ГЭ, экстроразрушающая сила которого зависит от напряжений (деформаций), является, по мнению ряда авторов, основной причиной интенсивного протекания в трещине коррозии [23].

Экспериментально установлено [34], что скорость распространения трещины в низкоуглеродистой стали ($\sigma_T = 256$ МПа, $\sigma_B = 390$ МПа) в соленой воде (3 % раствор NaCl) при частоте 1 Гц оказалась выше, нежели при частоте 10 Гц, что хорошо объясняется с позиции теории соединения (сращивания) трещины. Соленая вода, в

сравнении с воздухом, практически не влияет на скорость распространения трещины при высоких и средних значениях размаха коэффициента интенсивности напряжений ΔK и несколько снижает ее при низких значениях ΔK , что можно связать с эффектом коррозионного притупления вершины трещины [25].

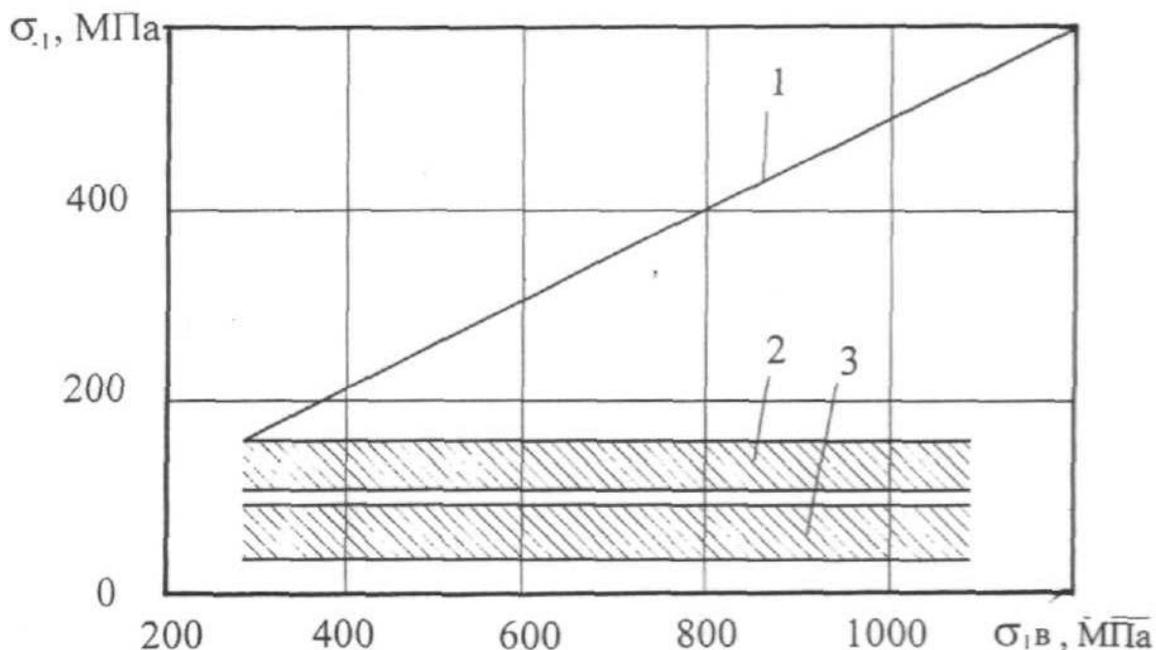


Рис. 1. Корреляционная связь между пределами прочности и выносливости сталей на воздухе (1), в пресной (2) и морской (3) воде [21].

Прямой связи между сопротивлением коррозионной усталости и границей прочности при растяжении не существует (рис.1). Из данных рис.1 видно, что более прочностные стали в большей степени подвержены коррозионной усталости, термообработка не дает повышения коррозионно–усталостной прочности, а поэтому у сталей с наибольшей термодинамической стойкостью условный предел коррозионной выносливости σ_{-1} кор на базе $2 \cdot 10^7 \dots 5 \cdot 10^7$ циклов, выбор которой продиктован целью испытаний [28], будет наиболее высокий. Так, для стали с $\sigma_{-1} = 150 \dots 520$ МПа, при указанной выше базе исследований в синтетической испытательной среде (5 % NaCl + 0,5 % СНЗСООН, pH3,5), σ_{-1} кор = 40...80 МПа в диапазоне частот 25...50 Гц [11].

Снижение предела выносливости вследствие наложения коррозионного фактора на переменные напряжения характеризуется коэффициентом влияния коррозионной

$$\beta_N = \frac{\sigma_{N \text{ кор}}}{\sigma_N},$$

среды

где $\sigma_{N \text{ кор}}$ – условный предел коррозионной выносливости на базе N циклов;

σ_N - предел выносливости или ограниченной выносливости на воздухе при той же самой базе циклов испытаний.

Известно, что стальные трубопроводы, проложенные по дну рек и озер, имеют изоляционные покрытия, которые по-разному противодействуют нагрузкам, особенно сварные стыки труб [38]. Поэтому актуальным является исследование работоспособности трубопровода, находящегося под водой, с концентраторами напряжений.

Исследованиями установлено, что при циклическом нагружении возле вершины концентратора напряжений возникает и формируется зона предразрушения (process sona) с максимумом упругопластических деформаций и напряжений на расстоянии d^* от вершины выреза с радиусом кривизны ρ [21, 36]. Эта зона, характеризующаяся параметром d^* , является своеобразным физическим барьером для развития микротрещин. Только выйдя за ее пределы, трещина приобретает свойства макротрещины (около ее вершины формируется автомодельная пластическая зона), т.е. зарождается начальная макротрещина длиной $a_i = d^*$ [20]. Именно при такой длине начинает проявляться эффект закрытия трещины, а ее кинетика отвечать стандартной диаграмме $da / dN - \Delta K$, полученной для долгих макротрещин. Таким образом, зарождение усталостной трещины в концентраторе является двопараметричным процессом, который описывается размахом локальных напряжений (деформаций) и линейным (структурным) параметром d^* [20, 21]. Скорость роста доминантной микротрещины как на воздухе, так и в коррозионной среде резко возрастает, когда ее длина $a \geq d^*$ [39]. Экспериментально установлено, что в синтетической испытательной среде для трубных сталей исчезает предел выносливости, что следует из данных рис.2, где рост трещины при напряжениях ниже σ_R изображено сплошными линиями. На отрезке АВ короткая трещина ($a < d$) сначала развивается быстро, а при достижении барьера d (граница зерна) останавливается, т.е. не может продолжать расти при этих напряжениях, что обуславливают предел выносливости. Если длина трещины превышает размер a_{th} , что отвечает пороговому размаху коэффициента интенсивности напряжений ΔK_{th} , то такая трещина может распространяться дальше (отрезок СД).



Рис.2. Скорость роста микроструктурно короткой и физически малой усталостной трещины при напряжениях меньше σ_R [11].

Авторы работы [35] проводили исследования роста коротких трещин на воздухе, а также в агрессивной среде в течение времени, достаточного для того, чтобы вызвать подрастание трещины от d до a_{th} (отрезок ВС). Такое подрастание является следствием

преодоления микроструктурного барьера за счет совместного действия физико-химических факторов. Следует отметить, что скорость этого процесса зависит от химической активности среды (его состава, значения рН и др.), а также от уровня напряжений, длины трещины и микроструктуры материала [3]. Однако главный результат влияния агрессивной среды состоит в преодолении характерного для испытаний на воздухе разрыва между неспособными распространяться микроструктурно короткими и способными к расширению физически малыми трещинами.

Механическую активацию коррозионно-усталостных процессов иллюстрируют кинетические кривые электродного потенциала (рис.3). Как видно из графических зависимостей, в процессе циклического нагружения электродный потенциал смещается в сторону отрицательных значений. Это смещение тем больше, чем выше напряжения или чем больше время их действия, что неминуемо приводит к интенсификации физико-химических процессов коррозионного повреждения [27].

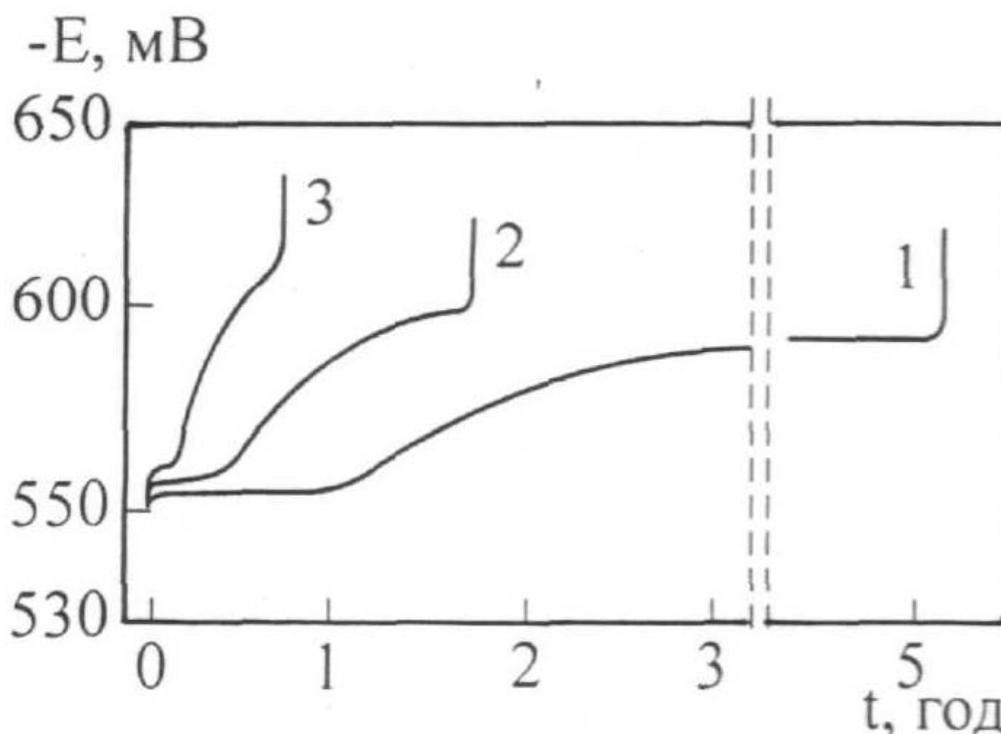


Рис. 3. Кинетика общего электродного потенциала образцов стали 20 в 3 % растворе NaCl при 160 (1), 240 (2) и 320 МПа (3); $f = 50$ Гц [10].

Следует отметить, что большинство исследователей экспериментировали с трубными сталями в среде, представляющей собой соляной раствор или синтетическую морскую воду, в области малоциклового низкочастотной [1,10,12,7,22,] и многоциклового (с частотами 25 и 50 Гц) коррозионной усталости [2,11,13,15,18,19,29,31]. Низкочастотная многоциклового коррозионная усталость остается до настоящего времени еще не достаточно исследованной, нежели низкочастотная многоциклового усталость на воздухе, что, в частности, сказывается на оценке работоспособности линейной части трубопровода [8].

Таким образом, краткий литературный обзор показывает перспективность строительства нефтепроводов с пресеченным профилем трассы, в связи с чем возникает

потребность всестороннего и глубокого изучения и анализа закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния несущих элементов трубопроводов с учетом специфики влияния коррозионно-активной среды рек и болот.

Список используемых источников информации

1. Абдуллин И. Г., Гареев А. Г., Худяков М. А. Анализ стадий зарождения и развития малоциклового коррозионной усталости металла магистральных нефтепроводов // Трубопров. трансп. нефти.-1999, -№ 6.-С. 31-34
2. Бабей Ю. И., Сопрунок Н. Г. Защита стали от коррозионно-механического разрушения. - К.: Техніка, 1981.- 126 с.
3. Бузовкина Т. В., Софронков А. Н., Короленко Л. И., Ляковский С. А., Кузнецова И. А. Зависимость свойств морской воды в трещине и ее модели от биологических факторов и напряжений // Физ.-хим. механика материалов.- 1992.- № 4.- С. 35-40
4. Герасименко А. А. и др. Исследование микробной коррозии металлоконструкций нефтедобывающей промышленности // Защита металлов. – 1998. – Т. 34. - № 1. – С. 51 – 58
5. Гоник А.А. Динамика и предупреждение нарастания коррозионности сульфатсодержащей пластовой жидкости в ходе разработки нефтяных месторождений // Защита металлов. – 1998. – Т. 34. - № 6. – С. 656 – 660
6. Гоник А. А., Корнилов Г. Г. Причины и механизм локальной коррозии внутренней поверхности нефтесборных трубопроводов на месторождениях Западной Сибири // Защита металлов. – 1999. – Т. 35. – № 1. – С. 83-87
7. Гутман Э. М. Механохимия металлов и защита от коррозии.- М.: Металлургия, 1981.- 269 с.
8. Есаян А. Э. Оценка работоспособности линейной части трубопровода с учетом его коррозии по критерию конструктивной надежности: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.13 / Моск. ин-т нефти и газа им. Губкина.- М., 1991.- 24 с.
9. Искандеров И. А. Вопросы проектирования и строительства морских трубопроводов. – Баку: Азернешр, 1970. – 300 с.
10. Капустин К. Я., Камышев М. А. Строительство морских трубопроводов. – М: Недра, 1982. – 207 с.
11. Карпенко Г. В. Влияние среды на прочность и долговечность металлов.- К.: Наук, думка, 1976.- 128 с.
12. Карпенко Г. В., Капов К. Б., Кокотайло И. В., Руденко В. П. Малоцикловая усталость стали в рабочих средах // - К.: Наук, думка, 1977.-1 12 с.
13. Карпенко Г. В. Физико-химическая механика конструкционных материалов. - К.: Наук, думка, 1985. - Т. 1.- 228 с.
14. Коррозия: Справочник / Под ред. Л. Л. Шрайера: Сокращ. пер. с англ. - М.: Металлургия, 1981.- 632 с.
15. Крохмальный А. М., Зинь И. Н., Нагиева Я. М., Курбанова Р. А. Влияние полистирольных покрытий на сопротивление коррозионной усталости стали 09Г2С в морской среде // Физ.-хим. механика материалов. - 1990, - № 5. - С. 114-115
16. Макаренко В. Д. Надежность нефтегазовых систем. – Челябинск: изд-во ЦНТИ. – 2006. – 826 с.
17. Мехмандаров С. А., Негреев В. Ф., Трифель М. С. Защита подводных трубопроводов от коррозии. – Баку: Азернефткешр, 1960. – 324 с.
18. Міллер К. Дж. Вдома металів: минуле, сучасне та майбутнє // Фіз.-хім. механіка матеріалів.- 1991.- № 5.- С. 9-26
19. Олейник Н. В., Магденко А. Н., Скляр С. П. Сопротивление усталости материалов и деталей машин в коррозионных средах. - К.: Наук. думка, 1987.-200 с.
20. Осташ О. П., Панасюк В. В., Костик Є. М. Уніфікована модель зародження та росту втомних макротріщин. Ч. 1: Застосування силових параметрів механіки руйнування матеріалів на стадії зародження тріщини // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 1998. - № 1.- С. 7-21
21. Осташ О. П. Роль зони передруйнування у визначенні концентрації напружень в циклічно деформованих матеріалах // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 2001.- № 3.- С. 47-58
22. Петров Л. Н., Сопрунок Н. Г. Коррозионно-механическое разрушение металлов и сплавов.- К.: Наук, думка, 1991.- 216 с.
23. Петров Л. М. Фізико-хімічні аспекти механіки корозійного руйнування // Фіз.-хім. механіка матеріалів.- 2001.- № 3.- С. 127-129
24. Петров Л. Н. Коррозия под напряжением.- К.: Вища школа, 1986. - 142с.
25. Полутранко И. Б., Ярема С. Я., Дурагин В. А. Исследование влияния воды и ее ингибирования на кинетику усталостных трещин в сплаве В95 и стали 65Г // Физ.-хим. механика материалов.- 1981.- № 2. - С. 10-15
26. Похмурський В. І., Білий Л. М., Хома М. С. Корозійно-механічні властивості корпусних матеріалів реакторів // Фіз.-хім. механіка матеріалів.-2001.-№ 3.-С. 111-118
27. Похмурский В. И. Коррозионная усталость металлов.- М.: Металлургия, 1985.-207 с.
28. Похмурский В. И. Общие аспекты коррозионной усталости металлов и сплавов // Физ.-хим. механика материалов.- 1979. - № 4.- С. 3-13
29. Ратыч Л. В. Методы оценки трещиностойкости металлов в коррозионных средах: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 01.02.04:05.17.14 / АН УССР, Физ.-мех. ин-т им. Г. В. Карпенко.- Львов, 1991.-33 с.

30. Розанова Е. П., Кузнецов С. И. Микрофлора нефтяных месторождений. – М.: Наука, 1974.
31. Скотт П. М. Влияние морской воды на коррозионную усталость конструкционных сталей // Коррозионная усталость металлов. Под ред. акад. Я. М. Колотыркина.- К.: Наук. думка, 1982.- С. 180-206
32. Сосновский Л. А., Махутов Н. А. Коррозионно-механическая усталость: прямой и обратный эффекты (Обобщающая статья) // Заводская лаборатория. - 1993, - 59.- № 7. - С. 33-44
33. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии: Пер. с нем. - М.: - Л.: Химия, 1966.-847 с.
34. Токадзи К., Андо З., Кодзима Т. Замедление роста усталостной трещины в малоуглеродистой стали в соленой воде // Тр. Амер. об-ва инж.-мех. Теорет. основы инж. расчетов.- 1984, - 106. - № 1.- С. 44-49
35. Akid R., Miller K. J. The initiation and growth of short fatigue cracks in an aqueous saline environment. In environment assisted fatigue // EGF publication 7. - London: Mechanical Engineering Publications, 1990. - P. 415-434
36. Angot G., Pluvinage G. About notch fracture mechanics // Proc. 2nd Copernicus Workshop Influence of Local Stress and Strain Concentrators on the Reliability and Safety of Structures.- 1996.- P. 37-47
37. Erdogan F., Wei R. P. Fracture analysis and corrosion fatigue in pipelines // Annual report. – October 1982 – August 1985, Lehigh University, Bethlehem Pennsylvania, August 1985. – 447 p.
38. Ness O. B., Verley R. Strain concentration in pipelines with concrete coating // Trans. ASME J. Offshore Mech. and Arct. Eng. - 1996. - 118.- № 3.- P. 225-231
39. Panasyuk V. V., Dmytrakh I. M., Pluvinage G., Qylafku G. On corrosion fatigue crack emanating from notches: stress field and electrochemistry // Proc. ESIS TC – 10 Workshop. – Lviv, 1999. – P. 1-13

Научное издание

**Научный диалог:
Вопросы точных и технических наук**

Сборник научных трудов, по материалам
международной научно-практической конференции
12 марта 2017 г.



SPLN 001-000001-0113-RF

Подписано в печать 30.03.2017. Тираж 400 экз.
Формат 60x841/16. Объем уч.-изд. л.1,6
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович