

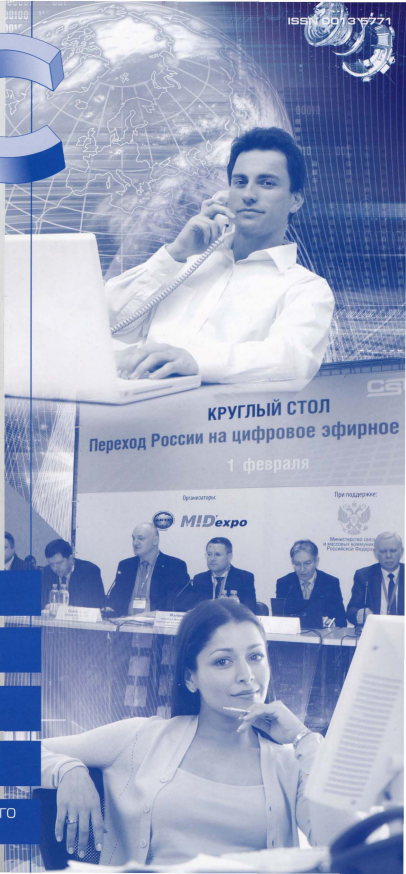


ISSN 0013-7771

ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ПО ПРОВОДНОЙ И РАДИОСВЯЗИ,
ТЕЛЕВИДЕНИЮ, РАДИОВЕЩАНИЮ

2.2011



КРУГЛЫЙ СТОЛ
Переход России на цифровое эфирное
1 февраля

Организатор:



MIDexpo

При поддержке:



Министерство связи
и массовых коммуникаций
Российской Федерации

**ЦИФРОВОЕ ТВ-ВЕЩАНИЕ В
РАКУРСЕ CSTD-2011**

**НАВСТРЕЧУ ВСЕМИРНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ РАДИОСВЯЗИ**

**ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ:
ОТ ИДЕИ ДО РЕАЛИЗАЦИИ**

**ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СОРМ В СЕТЯХ LTE**

**ПЕРЕДАТЧИКИ ДЛЯ ЦИФРОВОГО
ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ**



УЧРЕДИТЕЛИ:
РЕГИОНАЛЬНОЕ СОДРУЖЕСТВО В ОБЛАСТИ СВЯЗИ,
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ,
РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ
ИИИ А.С. ПОНОВА

ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ

ОСНОВАН В 1933 ГОДУ
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ПО РАДИОСВЯЗИ И РАДИОТЕХНИКЕ
ТЕЛЕСВЯЗИ И РАДИОСВЯЗИ

№ 2/2011

В HOMEPЕ:

CONTENTS

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

В.В. Шахматов, чл.-корр. РАН

РЕДАКЦИОННАЯ

КОЛЛЕГИЯ:

Ал-р.С. Ахмедов, к.т.н.

Арт.С. Ахмедов, д.т.н.

Е.Б. Алексеев, д.т.н.

В.А. Анисин, д.т.н.

В.И. Борисов, чл.-корр. РАН

А.Л. Бузов, д.т.н.

В.В. Бутенко, д.т.н.

М.А. Выходской, д.т.н.

В.В. Витязев, д.т.н.

П.П. Воробейко, д.т.н.

А.А. Гоголь, д.т.н.

Ю.А. Громаков, д.т.н.

В.Ф. Гуркин, к.т.н.

Ю.Б. Зубарев, чл.-корр. РАН

А.А. Иванов, д.т.н.

Л.Я. Кантор, д.т.н.

С.В. Козимова, д.т.н.

О.Э. Кисляшова, к.т.н.

И.В. Ковалева (зам. главного редактора)

К.И. Кузнецов, к.т.н.

А.Е. Кучерный, д.т.н.

С.Л. Мищенко, к.т.н.

Н.Н. Муштаков, ген. директор

Исполкома РСС

А.П. Осипов, президент МАС

Т.Г. Рязанов, к.т.н.

В.Г. Ситников, к.т.н.

В.В. Тимофеев, к.т.н.

Г.И. Хасанова, к.т.н.

В.О. Шарманов, д.т.н.

ВЕДУЩИЙ РЕДАКТОР

Н.В. Жарикова

НОМЕР ГОТОВИЛИ

ТАКЖЕ:

И.А. Богородицкая

Н.В. Ефимова

М.М. Севрюкова

Е.И. Белевская

Т.И. Марунин

КОМПЬЮТЕРНЫЕ

ДИЗАЙН, НАБОР, ВЕРСТКА

И.В. Волченкова, Ю.С. Яковлев

Подписные индексы

по каталогам:

«Роспечать» — 71107

«Пресса России» — 41411

«Почта России» — 61854

ISSN 0013-5771

ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ. 2011. № 02. 1-56

Сдано в набор 11.02.2011

Подписано в печать 21.02.2011

Печать офсетная. Формат 60×90/8

Изд. № 63. Усл. кр.-отт. 14,12

Уч.-изд. № 19,6. Уч.-изд. к. 7

Тираж 3999 экз.

Богородицкая И.А. ■ Развитие цифрового вещания идет по графику 2

НАВСТРЕЧУ ВСЕМИРНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ РАДИОСВЯЗИ

Кантор Л.Я., Береговой В.Г. ■ Анализ совместимости систем спутникового вещания с наземными станциями радиосвязи 6

К 100-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОГО ИНСТИТУТА МОЩНОГО РАДИОСТРОЕНИЯ

Ткаченко Д.А., Модель В.М., Погорьельцев Ю.Н., Симаков В.К., Павлов Б.А. ■ Передатчики и аппаратура для цифрового телерадиовещания 9
Калинин Л.Б., Луппиан Д.А. ■ Защита цифрового ТВ-передатчика от рассогласования антенны 12

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСЛУГИ

Кутуков В.А. ■ Облачные вычисления: от идеи до реализации 14
Тарнавский Г.А. ■ Облачные вычисления в Интернете 16
Будак В.П., Желтов В.С., Калакуцкий Т.К., Селиванов В.А., Хабибрахманова И.А. ■ Реализация аватар-технологии в базисе сферических гармоник 21

ПОДВИЖНАЯ СВЯЗЬ

Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Вышочин В.П. ■ Особенности обеспечения СОМ в сетях LTE 26
Савченко С.В., Смышляк М.А., Милов В.Р., Новиков Н.В. ■ Способы оценки и анализа радиопокрытия проектируемой сети технологической подвижной радиосвязи 30

СЕТИ СВЯЗИ

Мамедов Г.А., Мансуров Т.М., Мансуров Э.Т. ■ Параллельная работа xDSL-модемов сети абонентского доступа 34
Каледин В.В., Козадаева Л.А., Соловьев С.П. ■ Европейский опыт использования номеров E.164 для приложений M2M и в сетях с пакетной коммутацией 38
Попов О.Б., Рихтер С.Г. ■ Объективная оценка качества передачи сигналов в звуковом вещании 42
Башарин Г.П., Ефимовский А.В. ■ Анализ вероятностей блокировок оптического коммутатора для услуг различного качества 48

ИЗ ИСТОРИИ СВЯЗИ

Маслов О.Н., Рязанов А.В. ■ Сергей Александрович Щелкунов — выдающийся радионинженер XX века 52

ИНФОРМАЦИЯ

Решение Mitel для облачной архитектуры корпоративной сети 15
Cloud Computing: повышение эффективности бизнеса и сокращение расходов 20
Nokia Siemens Networks: Меморандум о намерениях подписан 25
К юбилею А.С. Аджемова 33
Вниманию специалистов 51

В соответствии с решением Президиума ВАК Минобрнауки России журнал «Электросвязь» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (<http://vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/vak/enumeration/2010/mits-23-03-2010.doc>).

Адрес редакции журнала: 107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/В.
Тел.: 625-84-36, 621-09-13, 624-15-92. Факс: 624-52-90.
E-mail: elsv@garnet.ru Internet: www.elsv.ru

ИЗ ИСТОРИИ СВЯЗИ

СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЩЕЛКУНОВ –
ВЫДАЮЩИЙСЯ РАДИОИНЖЕНЕР XX ВЕКА

О.Н. Маслов, заведующий кафедрой ЭИС ПГУТИ, д.т.н., профессор
А.В. Рябушкин, инженер кафедры МСИБ ПГУТИ

Один из самых ярких представителей инженерной мысли XX века в области прикладной электродинамики и антенн Сергей Александрович Щелкунов родился 27 января 1897 г. в Самаре [1]. Отец будущего ученого был надсмотрщиком Самарской почтово-телеграфной конторы. Через три месяца семья переехала на маленькую железнодорожную станцию в степи, где поезда останавливались для дозаправки, и жила в основном подобным хозяйством.

Когда Сереже пришлось время идти в школу, Щелкуновы переехали в Оренбург. Мальчик учился отлично по всем предметам, кроме арифметики и алгебры. От исключения из школы его спасала любовь учителя. В рукописных мемуарах С.А. Щелкунова [2] по этому поводу можно прочитать следующее: «Я окончил школу, эквивалент колледжа низшей ступени, в 1913 году в возрасте 16 лет. В школе было такое правило: если ученик не сдавал какой-либо предмет, ему приходилось оставаться в этом классе на второй год. А если он не сдавал его и во второй год, то его исключали из школы. Чтобы избежать этого, учителя ставили за год проходной балл «с оговорками». Но в моем случае учитель грустно качал головой и говорил: «с оговорками, оговорками, большими оговорками...».

Когда этого учителя перевели в другую школу, математику стал преподавать директор. Он обнаружил, что способный мальчик плохо учится по его предметам из-за того, что ему просто неинтересны школьные учебники. Тогда он дал Сереже почитать труды, написанные великими учеными по высшей математике и неэвклидовой геометрии. Результат превзошел все ожидания – вчерашний двоечник страстно заинтересовался математикой и вскоре достиг таких успехов, что стал успешным платным репетитором для богатых родителей, в тринадцатилетнем возрасте зарабатывая, по его словам, больше, чем много лет спустя. Закончив школу, Сергей Щелкунов поступил в политехнический институт в Москве [3],

где большую часть времени проводил в качестве волонтера на военном заводе.

Сергей Александрович вспоминал: «В начале 1917 года я поступил в военную школу в Одессе на Черном море. Вскоре после этого царь Николай II отрекся от престола, и началась революция. Позже меня направили в полк в Западной Сибири в качестве младшего лейтенанта. Ленин добился успеха со своим лозунгом «Хлеба и Мира», призавшим солдат возвращаться домой. Русская армия распалась. Я покинул полк и отправился во Владивосток, порт на Тихом океане. С тех пор я много раз пересекал Сибирь. Я стал беззаботным, беспечным странником, самодостаточным и уверенным в своих силах».

Однако можно представить, что чувствовал двадцатилетний юноша, волею обстоятельств ввергнутый в хаос братоубийственного конфликта – вне дома, без семьи и какой-либо поддержки, в пылающей огнем Гражданской войны Сибири. Когда с Белым движением было покончено, Щелкунов в 1920 г. с остатками белогвардейского воинства прибыл в Манчжурию, где собиралась такая же разношерстная и бездомная молодежь. С.А. Щелкунов писал: «В Харбин стекалось множество бывших студентов, которые были младшими офицерами в царской армии. В 1921 году начали собираться группы для эмиграции в Соединенные Штаты. Я присоединился к одной из таких групп. Моей единственной целью было выучить английский язык. Я уже свободно говорил по-французски и немного по-немецки. Я хотел путешествовать, и особенно посетить Индию – так что английский язык был мне необходим. В школе я пытался учить английский самостоятельно, купил учебник, взглянул на первую страницу и закрыл его со словами: «Я никогда не смогу выучить этот язык!» В английском языке я не видел абсолютно никакой связи между написанием и произношением. Был только единственный способ выучить его – жить среди англоговорящих людей. В конце сентября я добрался до Сентла.

Для выезда в страну мне требовалось 50 долл., а у меня было только 25, поэтому я занял еще 25 долл., выехал в страну, а затем вернул их». Таким образом, за 50 долл. Россия навсегда потеряла, а США выгодно приобрели незаурядный талант, которому впоследствии суждено было оставить заметный след в сфере американского наукоемкого бизнеса – наряду с такими его «русскими звездами», как пионер телевидения В.К. Зворыкин и авиационный магнат И.И. Сикорский.

Получив от Молодежной христианской организации (Young Men's Christian Association – YMCA) в Сентле письмо к президенту колледжа штата Вашингтон (впоследствии университет штата Вашингтон), Щелкунов в сентябре 1921 г. приступил к изучению курса математики на незнакомом английском языке. С.А. Щелкунов вспоминал: «Математические символы универсальны. Я смотрел на то, что профессор пишет на доске, и слушал, что он говорил. Это было начало. Я был окружен англоговорящими людьми и запоминал слова, как это делают дети. Когда я оставался один, я повторял слова, которые выучил, чтобы отучить себя думать по-русски. Я начал читать книгу Т. Гарди «Возвращение на Родину». После первого прочтения я не понял ничего, во второй раз уловил основной смысл, в третий раз понял всю книгу. Кроме того, я быстро записывал слова по несколько раз. Таким образом, моя правая рука механически запоминала написание слов. Через несколько недель после приезда мне уже снились сны на английском языке. К концу января я еще более усовершенствовал свой английский и записался на программу в колледже, имея 22 кредита вместо стандартных 16». В середине 20-х гг. из книги Б. Локкарта «Британский агент» Щелкунов узнал, что этот небезызвестный «неофициальный наблюдатель» за событиями в революционной России выучил русский язык за три месяца примерно таким же способом.

Во втором семестре 1922 г. русский студент выполнил все требования для

получения степени бакалавра, кроме условия проживания на территории США в течение года. Поэтому он остался в колледже еще на один учебный год и весной 1923 г. получил одновременно степени бакалавра и магистра искусств со специализацией в математике, а также был избран в почетное общество лучших выпускников университетов PhiKappa Phi.

Как писал С.А.Шелкунов, «среди учебных дисциплин, на которые я записался, был радионинженерный курс. Декан колледжа, преподававший этот курс, заинтересовался мной и в начале года спросил, иду ли я работу. Он подумал, что меня может заинтересовать работа в отделе исследований и развития Западной Электрической Компании (Western Electric Company) в Нью-Йорке. В 1925 г. она стала называться Телефонная Лаборатория Белла (Bell Telephone Laboratories, далее BTL). Одновременно декан, видимо, написал в компанию, потому что вскоре я получил от них предложение о работе и оплате моих расходов по переезду в Нью-Йорк. Я согласился. Однако почти одновременно я получил предложение от Sikorsky Aircraft Corporation купить акции по 10 долл. за штуку. У меня было 50 долл., чего не хватало для оплаты проезда в Нью-Йорк: 126 долл. плюс стоимость питания, поэтому я купил четыре акции, и это оказалось одним из лучших вложений, которые я когда-либо делал.»

После окончания учебы одноклассник, у которого был мотоцикл с коляской, отвез меня и еще одного студента в Сизтл. Это стоило мне 5 долл. В Сизтле я узнал, что на следующий день я могу поехать на молодежную конференцию YMCA на неделю за 15 долл. Я поехал. Наутро после возвращения я пошел к сухим документам, чтобы присоединиться к сотням людей, ждущим спуска корабля. Эти люди были наняты, чтобы отскрести морскую траву от корпуса корабля и красить его днище. Работу необходимо было сделать быстро. За нее платили 3,5 долл. — большая сумма по тем временам. Работа заняла всего три или четыре часа. Остаток дня я провел на причале в поисках работы на грузовом корабле, отправляющемся в Нью-Йорк (надо было ждать освобождения рабочего места, когда кто-то сойдет с корабля). Через неделю у меня было место смазчика на грузовом корабле, идущем в Новый Орлеан. Плавание заняло пять недель. Мой заработок составил 55 долл. В Новом Орлеане я купил билет на пассажирский корабль в Нью-Йорк.

Я заплатил 48 долл., и в итоге у меня осталось 7 долл. для осмотра города в те три дня, которые оставались до отплытия корабля.

Мы прибыли в гавань Нью-Йорка на рассвете. Это было прекрасное утро, панорама города выглядела потрясающе. В 8 часов мы причалили к 49 пирсу. Я сошел с корабля и узнал адрес Западной Электрической Компании. Оказалось, что она находится прямо через улицу. Я с чемоданом пересек улицу и ждал до 9 часов. В отделе персонала меня внесли в платежную ведомость и осведомились, есть ли у меня, где жить. Мой ответ был «нет», и мне дали три дня, чтобы обустраиться. На вопрос: есть ли у меня деньги, ответ также был



С.А. Шелкунов (фото 1940-х годов)

«нет». Меня отвели к кассиру и возместили стоимость железнодорожного проезда и другие расходы. Я снова был «богат».

В следующем 1924 году я начал посещать курсы для получения докторской степени по математике в Колумбийском университете. Когда летом Международный дом (International House) университета открыл свои двери для студентов, я переехал туда.

Жизненный путь Сергея Александровича Шелкунова представляет собой пример верности избранному пути, целеустремленного служения науке. Он не стремился к административным высотам власти, не был общественным деятелем или крупным бизнесменом, организатором науки. Но трудно назвать область технической электродинамики, где его разработки не получили бы высокую оценку как современников, так и последующих поколений специалистов

радиосвязи. Трудно также переоценить его вклад в развитие теории и практики преподавания математических основ электродинамики и антенной техники в вузах. И трудно понять, почему столь значимые творческие достижения не получали должной высокой оценки на Родине. Маловероятно, что двадцатилетний «белогвардеец» в чем-то успел проинформировать перед советской властью, вряд ли его последующие научно-технические успехи приносили какой-то ущерб СССР. В то же время только книгу по теории и практике антенн, переведенную на русский язык, да упоминание его имени в первых отечественных учебниках по антенной технике можно отыскать сегодня в библиотеке [4, 6, 8]. Хотя методу электрической цепи или коническим вибраторам, например, посвящены не только главы в учебниках и монографиях, но и многочисленные страницы диссертационных работ. Думается, пришло время восстановить справедливость и отдать должное вкладу нашего замечательного земляка в мировую радиотехническую науку [9, 10].

Итак, в 1925 г. Сергей Шелкунов получает место в отделе исследований и развития BTL (штат Нью-Йорк), в 1926 г. начинает преподавать математику в колледже штата Вашингтон, в 1928 г. получает степень доктора философии (Ph.D.) по математике в Колумбийском университете.

С 1929 г. доктор философии Шелкунов в составе технического персонала BTL работает в отделе математических исследований, занимаясь развитием теории распространения электромагнитных волн в атмосфере, в коаксиальных линиях передачи и микроволноводов. Он является также консультантом технического персонала в других отделах, особенно частое — в отделе радиои исследований.

В решении Института Франклина (штат Пенсильвания) о присуждении С.А. Шелкунову в 1949 г. медали Стюарта Беллантайна за работы, связанные с использованием электромагнитных волн для коммуникаций, говорится, что награда впервые присуждается не разработчику нового мощного передатчика или особого радиоприемника, а теоретика в области математики, чья выдающаяся работа в области распространения радиоволн внесла вклад в интеллектуальное использование электромагнитных колебаний, в особенности ультравысокой частоты. Его учебные и научные достижения были признаны «еще более значительными с учетом

фрагментарного характера предыдущего образования и необходимость содержать себя во время учебы и изучать английский язык».

В то время техника радиосвязи осваивала (если использовать современную терминологию) диапазоны ОВЧ, УВЧ и СВЧ. Сопутствующие этому многочисленные и сложные проблемы требовали системного подхода — с использованием знаний физика, математика и инженера. Шелкунов обладал такими уникальными знаниями, что сделало его исследование ультравысоких частот поистине выдающимся. Он преуспел как в решении чисто теоретических проблем, так и в переводе полученных результатов в практическую плоскость, чтобы ими могли воспользоваться инженеры-практики.

В письме д-ру Гарольду А. Вэйберу от 11.12.1978 г. Сергей Александрович так характеризует свой вклад в теорию и практику высокочастотных линий передачи: «Я полагаю, что являюсь не только инициатором использования концепции полного сопротивления (импеданса) в теории поля, но и популяризатором системы единиц МКС (система единиц «метр-килограмм-секунда». — *Прим. ред.*) Дж. Кэмпбелл также выступал в ее поддержку, но так ничего и не достиг. Я же не пропагандировал МКС, а постепенно создал условия для ее всеобщего признания, постоянно используя ее в своей работе и в публикациях. Это все произошло благодаря забавному стечению обстоятельств. В 1929 г. я вернулся в BTL в

качестве математика-исследователя. Незадолго до этого там был создан департамент из сорока с лишним инженеров под руководством М.Е. Стриби для работы над новым проектом — передачей телефонных сообщений на несущих частотах в миллион герц. Существующий опыт ограничивался передачей на частоте не более 60 тыс. герц. Я стал консультантом по теоретическим вопросам у этих инженеров.

Мой первым заданием было определить, пригодна ли теория линий передачи, разработанная лордом Кельвином и основанная на квазистатистических концепциях индуктивности, емкостного сопротивления и т.д., для предполагаемой области частот. Мне пришлось подходить к проблеме с точки зрения теории поля, основанной на уравнениях Максвелла. Как чистый математик я был вынужден изучить теорию цепей и теорию линий передачи, с одной стороны, и теорию поля, с другой стороны. Пришлось использовать понятия теории цепей: напряжение, ток, индуктивность, емкостное сопротивление. Также пришлось разобраться с понятиями теории поля: напряженность электрического поля, напряженность магнитного поля. Пришлось изучить систему единиц, используемую инженерами на практике, а также выбрать одну из многочисленных систем единиц — СГС («сантиметр-грамм-секунда». — *Прим. ред.*), используемую физиками. Я слышал, что у Дж. Кэмпбелла «есть идея фикс», и что он выступает за еще одну систему — МКС, предложенную ранее Джиорджи. Поначалу я даже не удосужился поискать информацию об этой системе единиц — казалось, что вполне достаточно других систем.

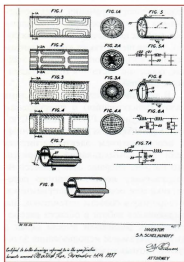
Но, когда я работал с инженерами, все, что я говорил или писал, должно было быть понято им. Так что очень скоро напряженность электрического поля E для меня стала определяться как напряжение, деленное на длину, а не сила, деленная на величину заряда. Напряженность магнитного поля H стала измеряться как сила тока, деленная на единицу длины. Отношение E/H стало полным сопротивлением (импедансом), измеряемым, конечно же, в омах. Естественно стало использовать то, что я называл «последовательной практической системой единиц» — это было просто распространение единиц, используемых в теории цепей и линий передач, на теорию поля. Единичной длины все еще был сантиметр. Неожиданно меня «озарило», что, возможно, Дж. Кэмпбелл выступал за похожую

систему единиц. Я просмотрел его служебные записки и обнаружил, что это действительно так — за исключением того, что в МКС единицей длины был метр, а единицей массы — килограмм. Плюсы использования этой системы были очевидны, и я незамедлительно стал пользоваться системой МКС.

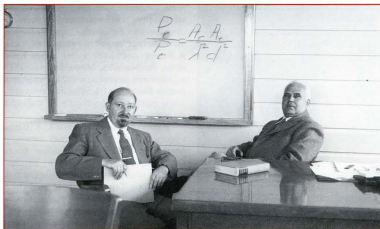
Я не помню, какой системой единиц пользовался в моей первой работе: «Электромагнитная теория коаксиальных линий передачи и цилиндрических экранов». Возможно, это все еще была «последовательная практическая система единиц» с сантиметром в качестве единицы длины. Либо это могла быть электромагнитная система, где импеданс поля выражался отношением $E/4\pi H$. Множитель 4π очень беспокоил меня в те ранние годы, поскольку я еще не знал, как избавиться от него. Но в любом случае я уже вводил понятие «радиальный импеданс» поля — например, в связи с цилиндрическими экранами.

...Когда была организована MIT Radiation Laboratory, физики, работавшие с микроволнами и антеннами, стали использовать мои разработки из Лаборатории Белла. Они также воспользовались МКС, что ускорило ее всеобщее признание. 9 декабря 1969 г. я получил Мемориальную награду Джона Т. Боллджана в Остине (штат Техас), где представил своего рода историческую работу. Она называлась «Теория Максвелла достигает зрелости» или что-то в этом роде. Работа была опубликована в научном сборнике, возможно, она тебя заинтересует».

После возвращения в BTL в 1929 г. Шелкунов работал над таким количеством аспектов электромагнитной теории, что подробный их перечень составить сегодня вряд ли возможно. Укажем лишь основные области, в которых он проводил исследования, и приведем наиболее характерные примеры достигнутых им лично результатов — со ссылкой на экспертов Института Франклина. «Первый набор проблем, которыми занимался претендент, был связан с изучением распространения радиоволн в коаксиальном кабеле. Он исследовал способы распространения радиоволн в таком кабеле, рассчитывал затухание и полное сопротивление в зависимости от функции частоты и параметров материалов, а также размеров линии. Он проанализировал, при каких условиях возможно соединение между смежными коаксиальными линиями. В последнее свое исследование он даже включил теорию экранирования. До того зна-



Фрагмент патента СА383304
С.А. Шелкунова (1937 г.)



С.А. Шелкунов и Х.Т. Фрис —
авторы монографии «Антенны: теория и практика» (фото 1950-х годов)

ния об экранировании были основаны преимущественно на эмпирических наблюдениях. Эта работа Шелкунова нашла широкое применение в области практической радионинженерии.

После 1930 г. д-р Шелкунов начал теоретическое изучение волноводных линий передачи разного типа, параллельное работам экспериментаторов Саутворта и Барроу. Его работа включала в себя определение и присваивание названий всем возможным методам передачи в волноводах различного поперечного сечения, изучение характеристик распространения и полного сопротивления, изучение эффектов неравномерности на линии, диафрагм и других неоднородностей, использования волноводов как компонентов фильтров и других элементов цепей конечной длины. Среди обширного списка достижений претендента особо интересно обнаружение свойств так называемого режима $TE_{0,1}$ (волна типа $H_{0,1}$ — Прим. авт.). Уникальное свойство данного режима в том, что с ростом частоты ее затухание не растет, как обычно, а снижается. Это открытие может сформировать основу большинства коммуникаций на большие расстояния в будущем.

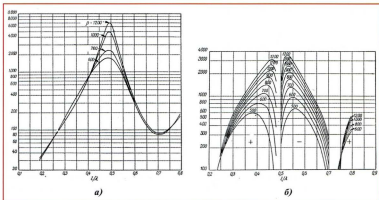
Другой областью, которая привлекала внимание Шелкунова, была теория антенн. Он разработал методы расчета полного сопротивления антенн; исследовал теоретические проблемы, связанные с развитием широкополосных антенн (таких, как двойной конус; малых по размерам направленных антенн; металлических линзовых антенн, используемых на ретрансляционных станциях при трансляции между горо-

дами (станции радиорелейной связи — Прим. авт.). Во время Второй мировой войны д-р Шелкунов, ставший натурализованным гражданином США в 1928 г., работал в качестве консультанта по распространению волн на Американской военно-морской базе в Сан-Диего. В ВТЛ он приступил к изучению магнетронов для проектирования мощных генераторов микроволн, а также особенностей распространения радиоволн в верхних слоях атмосферы. Среди разнообразных устройств СВЧ, которыми он занимался, резонаторы, аттенюаторы, излучающие рупорные антенны и т.п.).

Фундаментальным вкладом С.А. Шелкунова в теорию антенн явился принцип эквивалентности, введенный им в 1936 г. и носящий его имя [4]. В соответствии с данным принципом,

касательные (тангенциальные) составляющие магнитного и электрического поля на заданной поверхности могут быть заменены соответственно эквивалентными электрическим и магнитным поверхностными токами. Практическую значимость этой идеи, положившей начало созданию обширного класса новых антенн, трудно переоценить.

В серии работ, посвященных строгому решению внутренней задачи о симметричном вибраторе [5, 6], Шелкуновым был развит волноводный метод (в современной терминологии — метод электрической цепи), где он рассматривал биконический вибратор как отрезок конического волновода, в котором распространяется основная поперечная ТЕМ-волна, аналогичная волне в коаксиальном кабеле. Дальнейший путь решения задачи предусматривал решение системы уравнений Максвелла для конического волновода с учетом падающей и отраженной ТЕМ-волн, а также волн высших порядков. Затем следовало решение внешней задачи, аналогичное решению для сферической антенны, и «сшивание» двух этих решений на сфере вокруг вибратора с определением нормальной составляющей вектора E и тангенциальной составляющей вектора H на поверхности конусов, по значениям которых рассчитывались распределения зарядов и токов на поверхности плеч вибратора. Далее производился переход к напряжению между симметричными точками вибратора и току, текущему вдоль образующих конуса, и, наконец, вычислялось входное сопротивление вибратора. Теория Шелкунова соответствовала классическому решению задачи для эллипсоидального вибратора, однако давала более ясную и



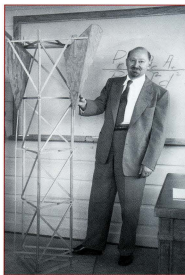
Графики зависимости входного сопротивления биконического вибратора от относительной длины его плеча l/λ при разных волновых сопротивлениях ρ , полученные С.А. Шелкуновым:
а) активная составляющая; б) реактивная составляющая

детальную картину явлений, сопровождающих процесс излучения, позволяла учесть концевые эффекты и рассчитать параметры антенн со сложной формой симметричных плеч. Эта теория подтверждала правомочность применения метода электрической цепи, основанного на теории длинных линий, для расчета тонких антенн длиной до 0,4 длины волны. Впоследствии Сергей Александрович развил данный подход в рамках метода интегро-дифференциальных уравнений [7], став одним из его авторов наряду с Е. Халленом (1938 г.), Р. Кингом и С. Гаррисоном (1943 г.), М. Леонтичем и М. Левиним (1944 г.), Д. Миддлтоном и Р. Кингом (1946 г.).

С.А. Шелкунов был автором более 50 научных работ, 15 патентов и ряда книг, в том числе «Электромагнитные волны» (1943 г.), «Введение в высшую математику» (1944 г.), увидевших свет в издательстве Van Nostrand Co. В издательстве John Wiley and Sons вышли монографии «Антенны: теория и практика» (1952 г., в соавторстве с Х.Т. Фриссом), упомянутый русский перевод которой был опубликован в 1955 г. издательством «Советское радио» [6], а также «Современная теория антенн» (1952 г.) [7]. Книга «Электромагнитные поля» (1963 г.) была издана Bladell Publishing Co.

Сергей Александрович являлся членом Американского математического общества (American Mathematical Society) и Математической ассоциации Америки (Mathematical Association of America), а также Американской ассоциации продвижения науки (American Association for Advancement of Science), Института радиоинженеров (Institution of Radio Engineers — IRE) и Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (Institution of Electrical and Electronic Engineers — IEEE). От IRE в 1942 г. С.А. Шелкунов получил Мемориальную награду Мориса Либмана (Morris Liebmann Memorial Prize) за работы в области радиопередачи и излучения, а в 1944 г. — Членскую награду (Fellow Award) как теоретик математики, чьи труды способствовали эффективному развитию прикладных исследований.

В 1956 г. С.А. Шелкунов становится заместителем директора отдела математических исследований ВТЛ, а в 1958 г. — заместителем вице-президента по связям с университетами. Из ВТЛ он уволился в 1960 г. за год и четыре



С.А. Шелкунов в лаборатории антенн

месяца до официального пенсионного возраста и стал профессором инженеринга в Колумбийском университете, откуда ушел на пенсию в 1965 г. Награды Фонда имени Джона Т. Боллджена (медальон и почетный знак) в 1969 г. С.А. Шелкунов был удостоен от IEEE за «целый ряд выдающихся достижений в приложении и практическом применении электромагнитной теории в инженерных целях, включая его концепцию волнового сопротивления и его теорию матриц».

В мае 1982 г. Шелкунову была присвоена почетная степень доктора наук в колледже Mount Holyoke, где в архиве сегодня хранятся основные документы и рукописи его воспоминаний. В решении президента колледжа отмечалось, что «член общества выпускников университетов Phi Kappa Phi, доктор философии Колумбийского университета Сергей А. Шелкунов уже в юные годы показал возможность превосходить остальных в любой выбранной сфере деятельности, преодолел в короткие сроки особенности незнакомого английского языка, проделав путь из российского города Самара через Китай в Америку. В зрелые годы он дал возможность нескольким поколениям студентов и аспирантов взглянуть на мир математики и электродинамического проектирования по-другому, поделившись с ними собственным креативным подходом к процессу обучения...

Ваш классический труд «Прикладная математика для инженеров и ученых» стал для них Библией. Оценкой Вашей личной преданности колледжу, как и Вашей покойной жены Джин Кеннеди, выпускницы Mount Holyoke 1923 г., является создание в 1975 г. кафедры имени Кеннеди—Шелкунова с присвоением звания профессора этой кафедры по математике и физике».

В сообщении о кончине С.А. Шелкунова в 1992 г. на 96-м году жизни в Медицинском центре Meadow Laces (Хайстон, штат Нью-Джерси) от сердечной недостаточности обозреватель «Нью-Йорк Таймс» Б. Ламберт назвал Сергея Александровича выдающимся изобретателем и экспертом по электромагнетизму, исследователем и разработчиком коаксиального кабеля. Были отмечены его вклад в теорию передачи и приема радиоволн, проектирования широкополосных антенн, а также разработки в области радиолокации и разведки, работа консультантом на военно-морской базе США в Сан-Диего.

После С.А. Шелкунова не осталось прямых наследников, его жена Джин Кеннеди, в браке с которой он прожил 51 год, умерла в 1979 году.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЦГАКО, ф. 32, оп. 33, л. 250.
2. «A Rare, Extraordinary Girl and Mavericks». Mount Holyoke College, South Hadley, Massachusetts. Archives and Special Collection. Schelkunoff, Jean Kennedy-Schelkunoff papers, ca. 1904 [ongoing]. Manuscript Collection: MS 0583.
3. ЦИАМ, ф. 418, оп. 330, л. 2442.
4. Фрадкин А.З. Антенно-фидерные устройства. — М.: Связь, 1977.
5. PIRE, сентябрь, 1941; PIRE, ноябрь, 1942; PIRE декабрь, 1945; Journal Ar. Phys., январь, 1946; PIRE, январь, 1946.
6. Шелкунов С.А., Фрисс Х.Т. Антенны: теория и практика. — М.: Сов. радио, 1955.
7. Schelkunoff S.A. Advanced antenna theory. — New-York, 1952; Wiley, London, Hall, 1952.
8. Надененко С.И. Антенны. — М.: Связь-издат, 1959.
9. Маслов О.Н., Рабушкин А.В. С.А. Шелкунов и его вклад в прикладную электродинамику и теорию антенн // Материалы 11-й МНТК «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций». — Уфа: Изд-во УГАТУ, 2010.
10. Маслов О.Н., Рабушкин А.В. Сергей Александрович Шелкунов — время учебы и жизни в России // Материалы РНТК ПУТИ. — Самара, 2011.