


# Промышленный электрообогрев и электроотопление

ISSN 2221-1772

№1/2017

Аналитический  
научно-технический  
журнал



**Проектирование и монтаж  
тепловой изоляции резервуаров  
Братского целлюлозно-картонного  
комбината**

стр. 36

**Электрообогрев  
дезинфекционных  
барьеров  
на предприятиях  
пищевой  
промышленности  
Республики Беларусь**

стр. 20

**Повышение  
механической  
прочности тепловой  
изоляции  
из минеральной ваты**

стр. 30

**Пакет моделирования  
физических полей  
ELCUT на выставке  
«Электро 2017»**

стр. 44

**Экологичные  
электронагреватели  
для обогрева  
помещений**

стр. 54



WWW.E-HEATING.RU







# Леонид Робертович Нейман

Дата рождения – 24 марта (6 апреля) 1902 г. Санкт-Петербург

Дата смерти – 9 февраля 1975 г. Санкт-Петербург

Основные научные труды посвящены распространению электромагнитных волн в нелинейной среде, изучению поверхностного эффекта в ферромагнитных телах, моделированию электромагнитных процессов, методов передачи электроэнергии на постоянном токе. Вел активную преподавательскую деятельность. Руководитель одной из крупнейших школ теоретической электротехники в нашей стране. Участвовал в работе международных электротехнических организаций МЭК, СИГРЭ.

Л.Р. Нейман родился 6 апреля 1902 г. в Санкт-Петербурге. Его отец – фельдшер, умер в 1911 г, мать – швея, в 1918 г. С этого года началась трудовая биография Леонида Робертовича. Он работал библиотекарем в г. Вязьма, санитаром полевого госпиталя, помощником заведующего музеем прикладных пособий и в 1919 г. окончил школу второй ступени (это примерно соответствует окончанию средней школы).

В 1921 г. Л.Р. Нейман поступил в Петроградский политехнический институт, который окончил в 1930 г. По представлению академика В.Ф. Миткевича, заведовавшего кафедрой теоретических основ электротехники, молодой инженер

был зачислен сначала аспирантом, а затем ассистентом этой кафедры.

С 1932 по 1940 г. он вел преподавательскую работу в качестве доцента, а в 1940 г. стал профессором. В 1931 – 1935 гг, параллельно с преподавательской работой, руководил группой сильных токов в Ленинградском электрофизическом институте.

В 1938 г. за ряд оригинальных исследовательских работ Л.Р. Нейману без защиты диссертации была присуждена ученая степень кандидата технических наук. В 1940 г. он успешно защитил докторскую диссертацию «Распространение электромагнитной энергии в среде с переменными параметрами».

В годы Великой Отечественной войны, находясь в Ташкенте, Нейман вел работы, связанные с наладкой крупного энергетического оборудования оборонных предприятий. С 1943 по 1946 г. он заведовал кафедрой ТОЭ ЛЭТИ им. В.И. Ленина. В 1946 г. Л.Р. Нейман стал деканом электромеханического факультета Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина (ныне Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого) и руководил факультетом до 1950 г. С 1952 г. и до конца жизни Леонид Робертович заведовал кафедрой теоретических основ электротехники ЛПИ. С первых послевоенных лет и до 1960 г. в Энергетическом

институте им. Г.М. Кржижановского Академии наук руководил исследованиями в области передачи энергии на постоянном токе. За время работы в Политехническом институте Леонид Робертович воспитал многие тысячи студентов, подготовил 70 кандидатов и 30 докторов наук. В 1953 г. Л.Р. Нейман избран членом-корреспондентом, а в 1970 г. – действительным членом Академии наук СССР.

Общественно-научная деятельность Л.Р. Неймана была тесно связана с работой Государственного комитета по науке и технике. Он принимал активное участие в работах комиссий и советов Отделения технических наук, Отделения физико-технических проблем энергетики и Комитета научно-технической терминологии Академии наук, редакций журналов «Известия АН СССР (Энергетика и транспорт)»

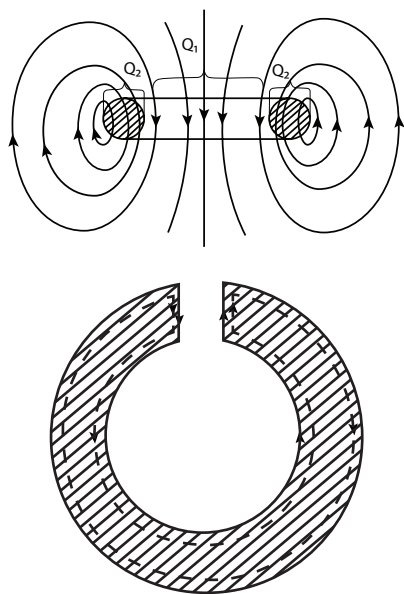


Рис. 1. Сверху – магнитные поля вокруг замкнутого сверхпроводящего кольца; снизу – токи в разомкнутом сверхпроводящем кольце.

и «Электричество», экспертных комиссий ВАК по электротехнике, секции по энергетике Комитета по Государственным и Ленинским премиям. При развертывании в СССР в конце 60-х годов 20 века работ по использованию сверхпроводимости в электротехнике Л.Р. Нейман стал руководителем научного совета АН СССР по научным основам использования сверхпроводимости в электротехнике.

Нужно отметить, что интерес к сверхпроводимости у него появился уже в самом начале его научной деятельности. Так в 1929 году, еще будучи студентом, он опубликовал доклад «Явления электромагнитной индукции в сверхпроводящих контурах». В данной работе рассмотрено поведение замкнутого сверхпроводящего контура, в котором за счет внешнего магнитного поля индуцирован постоянный незатухающий ток. При размыкании сверхпроводящего контура индуцированный ток продолжит циркулировать в нем, замыкаясь по поверхности контура.

Энергия электромагнитного поля, ранее заключенного внутри контура, при размыкании вызовет электромагнитные колебания (рис. 1)

Работа в качестве преподавателя, и забота о развитии навыков самостоятельного научного исследования студентов привели Л.Р. Неймана к созданию новой учебной лаборатории электромагнитного поля и написанию для нее «Руководства к лаборатории электромагнитного поля». Основными научными направлениями руководимых Л.Р. Нейманом научных коллективов были теорети-

ческие проблемы работы ионных и полупроводниковых преобразователей в сложных электроэнергетических системах; теория электромагнитного поля в нелинейных и анизотропных средах; теоретические проблемы, связанные с созданием нового типа электрических машин, электропередач и магнитных систем с использованием явления сверхпроводимости.

В 30-х годах 20 столетия в связи с развитием высоковольтных систем электропередачи стали применяться композиционные сталеалюминевые провода, однако не было методов точного расчета характеристик таких проводов. Алюминиевые проволоки, скрученные вокруг стального сердечника, образуют своего рода соленоид. При прохождении переменного тока по алюминиевым проволокам возникает направленный вдоль стальных проволок переменный магнитный поток, вызывающий добавочные потери в стали на гистерезис и на вихревые токи. Л.Р. Нейман взялся за решение данной проблемы и им был выполнен анализ электромагнитного процесса в скрученных сталеалюминевых проводах и разработана инженерная методика расчета электрических параметров этих проводов.

Кроме того, была применена оригинальная методика измерений характеристик сталеалюминевых проводов. Результаты, приведенные на рис. 2, показывают хорошее совпадение предложенных методов расчета с результатами измерений на реальных образцах проводов. Наиболее полно результаты работ по данной теме приведены в статье «Электрические параметры сталеалюминевых

витых проводов», опубликованной в журнале «Электричество» в 1935 году (рис 2).

Л.Р. Нейман глубоко понимал особенности и сложности расчетов электротехнических установок, содержащих ферромагнитные элементы, что связано с нелинейной зависимостью магнитных свойств от напряженности поля. Наиболее полно его взгляды представлены в монографии «Поверхностный эффект в ферромагнитных телах», изданной в 1949 году. В книге разработана теория электромагнитного поля в нелинейных ферромагнитных средах и дано решение на основе этой теории ряда важных практических задач, связанных с использованием ферромагнитных материалов в электротехнических устройствах. Определенная в этой работе, на основе измерений, зависимость относительной магнитной проницаемости низкоуглеродистой стали от напряженности магнитного поля и в настоящее время используется во многих работах и исследованиях (рис. 3).

На основе всех исследований, выполненных в данной работе, сформулировано несколько очень важных для практики рекомендаций:

- Введено понятие о сильных и слабых полях. При «сильных полях» действующее значение напряженности магнитного поля  $H_{эф}$  на поверхности электромагнитной среды больше того значения, при котором магнитная проницаемость, определяемая по кривой намагничивания, имеет максимум. Так в соответствии с рис. 3, к «сильным» следует отнести поля, имеющие место при

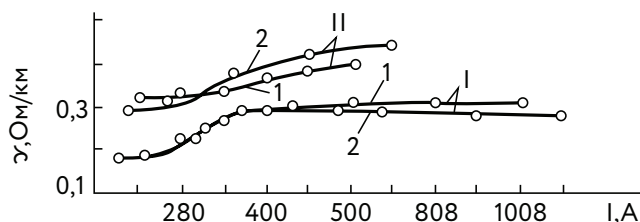


Рис. 2 Сравнение результатов измерений (1) и расчетов по предложенной методике (2) для двух видов проводов

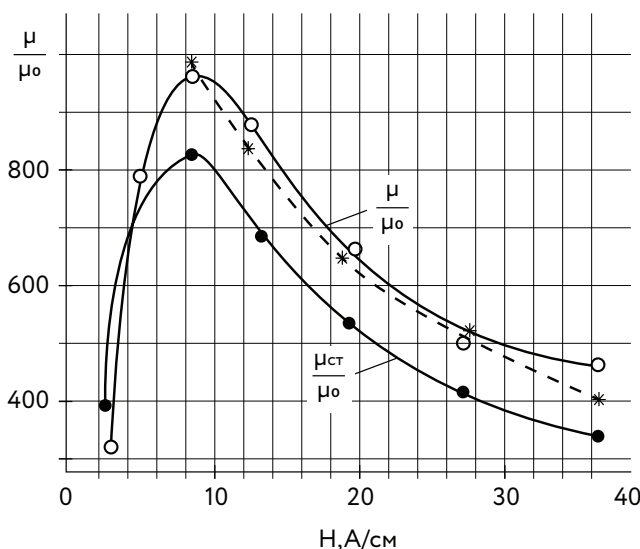


Рис. 3. Зависимости относительной магнитной проницаемости от амплитуды первой гармоники напряженности магнитного поля.

1 -  $\mu_{ст}/(\mu_0 = f(H, 1\text{м}))$  – статическая магнитная проницаемость;  
2 -  $\mu/(\mu_0 = f(H, 1\text{м}))$  3 -  $\mu/(\mu_0 = f(H, 1\text{м}))$  – пунктир – расчетная кривая, полученная аппроксимацией кривой намагничивания параболой.

В 1938 г. за ряд оригинальных исследовательских работ **Л.Р. Нейману без защиты диссертации была присуждена ученая степень кандидата технических наук**. В 1940 г. он **успешно защитил докторскую диссертацию** «Распространение электромагнитной энергии в среде с переменными параметрами»

Характеристика	При сильных полях	При слабых полях
Эквивалентная глубина проникновения электромагнитной волны в ферромагнитную среду	$z_a = \frac{1}{\sqrt{\omega \mu_e \gamma}}$	$z_a = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_e \gamma}}$
Глубина, на которой затухает 95% энергии волны, падающей на поверхность	$z_{0,05} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_e \gamma}}$	$z_{0,05} = 1,6 \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_e \gamma}}$
Активное сопротивление прямолинейного проводника из ферромагнитного материала	$r = \frac{l}{u} \sqrt{\frac{\mu_e \omega}{\gamma}}$	
Внутреннее реактивное сопротивление прямолинейного проводника из ферромагнитного материала	$x = 0,6 \frac{l}{u} \sqrt{\frac{\mu_e \omega}{\gamma}}$	
Внутреннее полное сопротивление прямолинейного проводника из ферромагнитного материала	$Z = 1,16 \frac{l}{u} \sqrt{\frac{\mu_e \omega}{\gamma}} e^{j\varphi} \quad \varphi = 31^\circ$	

Таблица 1.

Где:  $\omega$  - угловая частота;  $\gamma$  - удельная проводимость;  $l$  - длина проводника;  $u$  - периметр поперечного сечения проводника.

напряженностях более 8 А/см (800 А/м). Слабые поля при напряженностях менее 6 А/см.

- Предложены расчетные формулы для определения эквивалентной глубины проникновения электромагнитного поля; глубины, на которой электромагнитная волна практически полностью затухает, а также активного, реактивного и полного сопротивлений проводов, шин и прямолинейных проводников из ферромагнитных материалов (см. таблицу 1.)

На основе этой монографии Неймана проведены теоретические и экспериментальные исследования, связанные с определением рациональных параметров сверхмощных электрических генераторов. Проведены исследования по определению параметров мощных токопроводов сложного сечения, устанавливаемых на крупнейших электростанциях. Эта книга не потеряла актуальности и до сих пор.

Предложенные Нейманом подходы были использованы при разработке методов расчета характеристик скин-систем обогрева, выполненных в компании «Специальные системы и технологии». [2, 3]

Исключительно большой вклад сделан Л.Р. Нейманом в разработку теории электромагнитных процессов в сложных нелинейных цепях с вентильями. Основы этой теории были опубликованы в монографии «Электромагнитные процессы в системах с мощными выпрямительными установками» (1946 г.) В последующем эта теория развивалась им в применении

к практическим задачам по созданию мощных электропередач постоянного и переменного тока и была опубликована большая серия работ. На основе разработанных теоретических методов оказалось возможным изучать процессы, происходящие в основном оборудовании таких передач, и правильно проектировать элементы этого оборудования.

Преподавательская работа Л.Р. Неймана сопровождалась написанием научных и учебных трудов. Так в 1941 г. была издана книга «Физические основы электротехники». В дальнейшем в результате существенной переработки и дополнения этот материал вошел в курс «Теоретические основы электротехники», написанный совместно с П.Л. Калантаровым (1948 г.) Леониду Робертовичу принадлежали части «Физические основы электротехники» и «Теория электромагнитного поля». Этот курс выдержал 5 изданий, а также был переведен на ряд восточно-европейских языков. На этом курсе воспитаны многие поколения студентов-электриков электромеханического факультета Политехнического института (рис. 4)

Обучаясь с 1956 по 1962 год на электромеханическом факультете ЛПИ, я слушал лекции Леонида Робертовича по теории переменных токов и теории электромагнитного поля. Его учебники неоднократно помогали мне и в последующей инженерной деятельности.

Л.Р. Нейман весьма плодотворно работал в международных научных электротехнических и энергетических организациях (МЭК, СИГРЭ). Он был председателем советской

группы Комитета Международной электротехнической комиссии и неоднократно участвовал в заседаниях комитетов и рабочих групп МЭК, представляя интересы советской стороны. В 1961 подобное заседание проходило в Испании, с которой тогда у СССР не было дипломатических отношений. Вернувшись на родину Л.Р. Нейман устроил в ЛПИ встречу с сотрудниками и студентами, на которой рассказал о заседаниях и о экскурсии по Испании с показами цветных слайд. Особенно запомнился памятник всем испанцам, погибшим во время гражданской войны.

Научное наследие и труды Л.Р. Неймана во многом обогатили электротехническую науку и технику. За плодотворную научную деятельность Леонид Робертович Нейман был награжден двумя орденами Трудового Красного Знамени и орденом Ленина, а также медалями «За оборону Ленинграда» и «За доблестный труд в Великой отечественной войне».

На жилом доме, в котором жил Л.Р. Нейман, установлена мемориальная доска.

*Материалы по биографии Л.Р. Неймана и сведения об основных опубликованных работах взяты из сборника «Избранные труды» академика Л.Р. Неймана, изданного в 1988 г. издательством «Наука».*

*Составитель Н.Н. Хренков*



Рис. 4. Обложка 3 тома - «Теория электромагнитного поля», написанного Л.Р. Нейманом и входящего в состав трехтомника «Теоретические основы электротехники»

## Литература:

1. Л.Р. Нейман. Теоретическая электротехника. Избранные труды. Л.: Наука, 1988, 334 с.
- А.Б. Кувалдин, М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, В.А. Шатов Математические модели для исследования электромагнитного поля в ферромагнитных проводящих средах // Электричество, №11, 2005, с. 56–61.
2. М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин Метод определения электрофизических свойств стальных труб // Электротехника, №8, 2009, с. 15–19.