

Передача информации с использованием электропроводности воды и земли

Вильчинский В.Р.

Хорошо известно, что земля и вода проводит электрический ток. Но, в качестве проводника земля использовалась, и сейчас используется, только для получения нулевого потенциала, “заземления”. В отношении воды даже и такого применения не существует. В истории развития электросвязи есть примеры использования земли, в качестве одного из проводников, при передаче информации по проводам. То, что можно вообще обойтись без проводов, и использовать не электромагнитное поле, для передачи информации, а поле электрического тока, каким-то непонятным образом, осталось заблокированным во всемирном информационном пространстве. При этом понятие поля электрического тока давно используется в электротехнике при расчёте сопротивления заземления, и возникающих токов утечки, при пробое кабеля. Собственно, такое понятие из электротехники, как “шаговое напряжение” и есть пример передачи информации с помощью поля электрического тока, передачи информации о пробое изоляции в кабеле, лежащем в земле или воде.

Вокруг оголённого проводника, лежащего в земле или в воде, находящегося под напряжением, возникает поле электрического тока. Так как и земля, и вода имеют сопротивление не равное нулю, то на определённом участке, находящемся под действием этого поля, возникает падение напряжения, соответствующее силе тока и величине сопротивления данного участка.

Но дальше присвоения такому падению напряжения названия “шаговое напряжение”, дело не пошло. И очевидный факт возможности передачи информации с использованием поля электрического тока, если кем-то и рассматривался, то широкого признания не нашёл. По крайней мере, в учебниках этого найти не удастся.

Удивительно то, что этот вид связи мог бы появиться гораздо раньше, чем радиосвязь, но, что-то этому помешало, а появление радио вообще поставило крест на исследованиях в данной области. Ведь если вспомнить, то, военные даже под водой используют сверхнизкочастотную радиосвязь, очень дорогую, и крайне ограниченную по своим возможностям, но именно радиосвязь.

Всё, что связано с током, электрическими зарядами и магнитным полем, описывается уравнениями Максвелла. Возникновение поля электрического тока является частным случаем, где их можно использовать. Мало того, существуют программы, позволяющие рассчитывать данные поля для каждого конкретного случая. Остаётся правильно использовать такую программу, чтобы получить ответ на вопрос, насколько реальна передача

информации с использованием указанного поля, и какими будут её параметры.

В действительности, при проработке материала для данной статьи, такая передача уже была реализована в реальных условиях на воде. При относительно небольшой мощности передатчика, удалось получить дальность около 1.5 км. Но для прогнозной оценки этого оказалось недостаточно. Требовалось теоретическое подтверждение полученного результата, чтобы этот факт не казался случайностью.

В условиях полного отсутствия финансирования помогла возможность бесплатного использования программного комплекса ELCUT, предоставленная администрацией ООО “Тор”.

Расчёт поля электрического тока является составной частью программного комплекса. После ознакомления с возможностями программы, выяснилось, что в ней есть всё для получения ответа на интересующий вопрос, причём измерения выводятся в форме готовых к использованию таблиц, или графиков.

Оставалось только создать правильную модель, чтобы получить искомое. На Рис.1 приведено решение задачи по созданию поля электрического тока с помощью двух электродов, будем называть их передающими, находящихся под напряжением 100 Вольт. Расстояние между электродами 2 метра, диаметр модели 2500 метров.

На Рис.1 представлено поле в виде линий одинакового потенциала, и линия интегрирования, вдоль которой снимаются параметры напряжённости поля. Параметры представлены в виде таблицы 1.

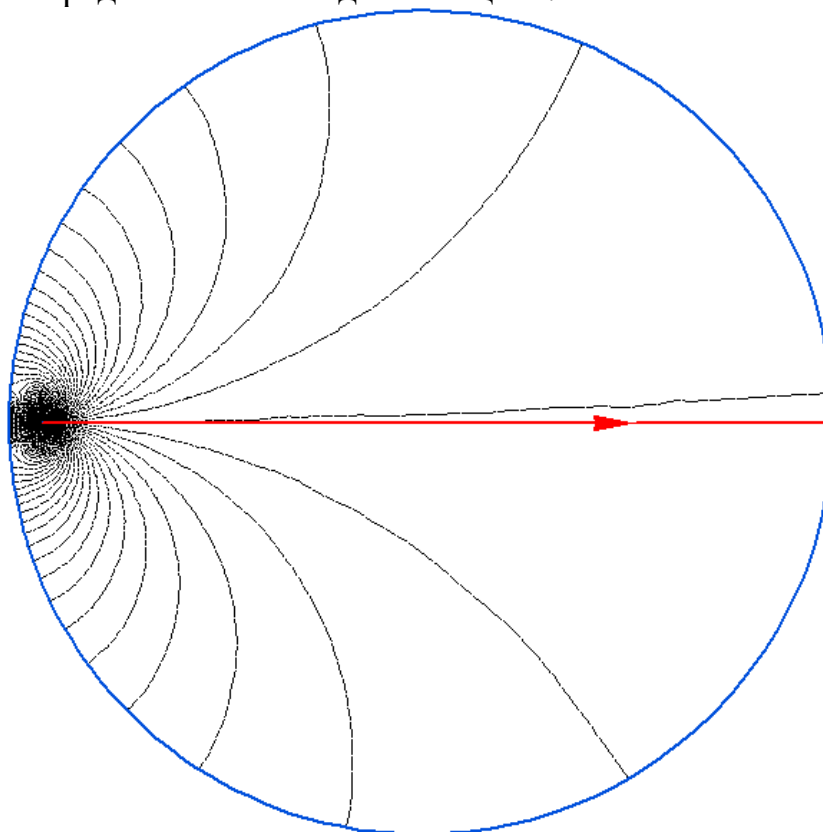


Рис.1. Контур измерения показан красным.

Таблица 1. Распределение напряженности поля вдоль контура

L, м	x, м	y, м	E, В/м	E _y , В/м	E _n , В/м
0	0	0	19.2927	-19.2924	19.2924
120	120	0	0.00154	-0.00153702	0.00154
240	240	0	0.00043	-0.00042622	0.00043
360	360	0	0.00022	-0.000221408	0.00022
480	480	0	0.00013	-0.00012567	0.00013
600	600	0	8.4E-05	-8.40284E-05	8.4E-05
720	720	0	6.1E-05	-6.08379E-05	6.1E-05
840	840	0	4.6E-05	-4.54954E-05	4.5E-05
960	960	0	3.5E-05	-3.51634E-05	3.5E-05
1080	1080	0	2.8E-05	-2.77742E-05	2.8E-05
1200	1200	0	2.4E-05	-2.41237E-05	2.4E-05
1320	1320	0	2E-05	-1.99251E-05	2E-05
1440	1440	0	1.7E-05	-1.69366E-05	1.7E-05
1560	1560	0	1.4E-05	-1.43751E-05	1.4E-05
1680	1680	0	1.3E-05	-1.26468E-05	1.3E-05
1800	1800	0	1.1E-05	-1.14946E-05	1.1E-05
1920	1920	0	9.8E-06	-9.81513E-06	9.8E-06
2040	2040	0	8.8E-06	-8.75575E-06	8.8E-06
2160	2160	0	7.8E-06	-7.81551E-06	7.8E-06
2280	2280	0	7.3E-06	-7.27548E-06	7.3E-06
2400	2400	0	6.8E-06	-6.84492E-06	6.8E-06

На Рис.2 это же поле, но параметры напряжённости поля снимаются вдоль другой оси, перпендикулярной прежней. Параметры представлены в таблице 2.

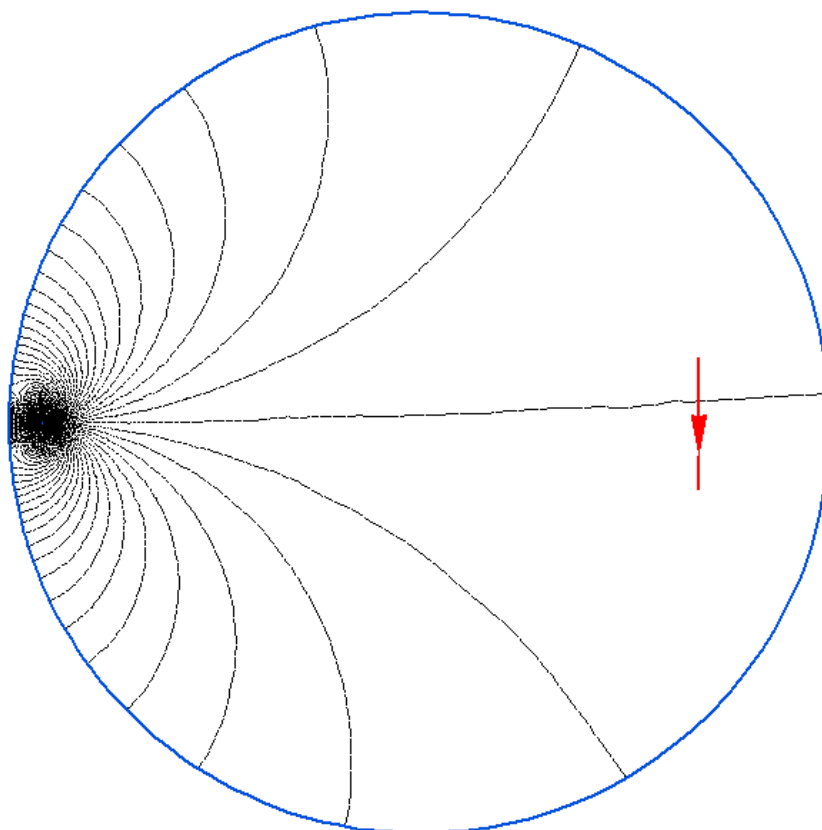


Рис.2. Контур измерения показан красным.

Таблица 2. Распределение напряженности поля вдоль контура

L, м	x, м	y, м	E_y , В/м
0	2000	200	-9.00787E-06
20	2000	180	-9.05023E-06
40	2000	160	-9.0926E-06
60	2000	140	-9.13496E-06
80	2000	120	-9.15535E-06
100	2000	100	-9.13551E-06
120	2000	80	-9.12996E-06
140	2000	60	-9.12441E-06
160	2000	40	-9.11886E-06
180	2000	20	-9.10255E-06
200	2000	0	-9.06573E-06
220	2000	-20	-9.09348E-06
240	2000	-40	-9.12146E-06
260	2000	-60	-9.1372E-06
280	2000	-80	-9.13352E-06
300	2000	-100	-9.10686E-06
320	2000	-120	-9.07888E-06
340	2000	-140	-9.0498E-06
360	2000	-160	-9.01522E-06
380	2000	-180	-8.96739E-06
400	2000	-200	-8.91955E-06

Какие выводы следуют из предоставленного материала?

Начнём с таблицы 2, в которой параметр напряжённости поля E_y , остаётся практически неизменным вдоль всей оси интегрирования. Это ось, на которой должны располагаться приёмные электроды. Так как напряжение вдоль оси не изменяется, то результирующее напряжение на приёмных электродах будет прямо пропорционально расстоянию между ними, о чём и сообщает нам эта таблица, и подтверждают измерения в реальных условиях.

Аналогичный эффект возникает и при увеличении расстояния между передающими электродами. Напряжённость поля в точке приёма линейно растёт, при увеличении расстояния между передающими электродами, при неизменном напряжении на них. Это подтверждают, сделанные программой расчёты, и реальные измерения.

Теперь переходим к определению возможной дальности связи с использованием поля электрического тока. Помимо расстояния между парами передающих и приёмных электродов, на дальность связи будет влиять напряжение на передающих электродах, и чувствительность приёмника, вход которого подключается к приёмным электродам.

С помощью таблицы 1 можно определить закон, по которому уменьшается напряжение на входе приёмника, в зависимости от расстояния между передающими и приёмными электродами. Для этого берём отсчёты напряжённости поля, сделанные для 240 метров, и соотносим их с отсчётами для 120 метров. Получаем значение 3.607, аналогично для 240 метров и 480 метров, значение 3.392 и так далее. Можно сравнить значения на 360 метров и 720 метров.

В итоге выясняем усреднённое значение этих соотношений, которое будет равно 3.55. Это значит, что при увеличении расстояния в 2 раза сигнал на входе приёмника будет уменьшаться в 3.55 раза. А могло бы быть и в 4 раза, если бы закон затухания был квадратичным, но в данном случае это приближённо $^1.8$.

Зная, что чувствительность современных радиостанций, находится на уровне 0.25 мкВ, рассмотрим значения напряжений поля в таблице 1. Минимальное значение напряжения поля в таблице 6.84 мкВ, оно соответствует расстоянию 2400 метров. Это значит, что если бы между приёмными электродами было расстояние 1 метр, и они находились бы на расстоянии 2400 метров от передающих электродов, то на входе приёмника присутствовало бы именно такое напряжение.

На каком расстоянии от передающих электродов значение напряжения будет на уровне 0.25 мкВ?

$6.84/0.25 = 27.36$ – это соотношение напряжений необходимо возвести в степень $1/1.8=0.555$, получаем 6.27. $2400 \times 6.27 = 15048$ метров.

Вспоминаем, что на передающие электроды подано напряжение 100 Вольт. Допустим, дальность связи 2400 метров, нас устраивает. До какого уровня можно снизить напряжение на передающих электродах, чтобы выйти на предельный уровень чувствительности?

$$100/27.36 = 3.65 \text{ Вольта.}$$

Параметры, которые можно достаточно просто изменить, это расстояние между передающими и приёмными электродами, а также напряжение на передающих электродах. Хотя повышение напряжения на передающих электродах автоматически приводит к повышению мощности передатчика, а она не беспредельна. Для повышения чувствительности тоже существуют возможности, но это более сложная тема, реализуемая, например, в космических аппаратах.

Принцип расчета понятен, меняя расстояние между электродами, и напряжение на передающих электродах, считая чувствительность приёмника на уровне 0.25 мкВ, находим дальность связи для полученных исходных данных.

Но можно задать дальность, и рассчитать необходимые расстояния между передающими и приёмными электродами, а также выбрать необходимое напряжение на передающих электродах.

Конечно, затухание сигнала, при использовании поля электрического тока, происходит гораздо быстрее, чем в радиосвязи, но предельные расстояния ограничиваются размерами Земли, и здесь не надо преодолевать космических расстояний.

Поэтому, из любопытства, попробуем рассчитать, что понадобится для обеспечения такой связи на расстоянии 10000 км.

$10000/2.4 = 4166.6$, во столько раз увеличится дальность. $4166.6^{1.8} = 3278081.6$, во столько раз необходимо что-то увеличить, из исходных параметров, в модели расчёта поля на Рис.1. Оставим напряжение 100 Вольт

на передающих электродах. Чувствительность, как уже рассматривалось, можно поднять в 27.36 раз.

$3278081.6/27.36 = 119812$, во столько раз нужно увеличить расстояние между передающими или приёмными электродами. Понятно, что увеличивать расстояние надо и там, и там, причём сделать это расстояние хотелось бы одинаковым.

Получаем, что искомое расстояние равно 490 метров. При этом, между передающими электродами расстояние увеличилось в 245 раз, а между приёмными в 490 раз. $245 \times 490 = 120050$ раз.

Таким образом, исходя из предпосылок модели, получаются вполне приемлемые расстояния между электродами для стационарных объектов, особенно если сравнивать с размерами антенн свернизкочастотного диапазона.

Если бы так было на самом деле, было бы, конечно, замечательно, но в реальности получалось не так красиво.

Передающие электроды находились на расстоянии 80 метров друг от друга, с поданным на них напряжением 20 Вольт, расстояние между приёмными электродами составило 5 метров, чувствительность приёмника была около 10 мкВ, дальность получалась 1500 метров.

Если эти параметры привести к модели, то получится, что она завышает дальность примерно в семь раз. Чем это объясняется, надо разбираться, возможно, размеры водоёма виноваты, слишком малы для такого расстояния между передающими электродами, ведь ширина водоёма не превышала 100 метров.

Но допустим, что модель ошибается. Тогда для дальности 10000 км, примерно в 7 раз придётся увеличить расстояния между электродами и на приёмной, и на передающей стороне. Получим 3500 метров. Наверное, для связи по всей поверхности Земли, это тоже приемлемый вариант.

Для нашей страны, более актуальным будет расстояние 5600 км, это длина Северного Морского пути. Конечно, заманчиво было бы иметь устойчивую связь, вдоль всего пути, как с надводными, так и с подводными кораблями, но пока об этом можно только мечтать.

Теперь перейдём к реальности. Насколько корректно работает программа, и можно ли ей доверять, неоднократно проверялось в процессе работы над данной статьёй. И если с дальностью связи всё достаточно туманно, и требует более масштабной проверки в реальных условиях, то некоторые измерения, результат которых оказался совершенно неожиданным, можно было сравнить с расчётами на модели.

Так, при измерении реального сопротивления воды между двумя электродами, выяснилось, что расстояние между ними практически не влияет на значение этого сопротивления. Вода ведёт себя как классический стабилизатор тока. Расстояние между электродами изменяется в 8 раз, а ток меняется всего на 20%.

А как же погонное сопротивление, погонное напряжение и ток? Они присутствуют во всех расчётах и чётко связаны с линейными размерами.

Название “погонные”, однозначно указывает на линейную связь размеров и параметров.

Модель в ELCUT должна была разъяснить ситуацию. Только хорошо зная, что должно получиться в результате, удалось правильно построить математическую модель.

Больше всего времени ушло на настройку точности работы программы. В итоге задачу удалось решить правильно. Что имеет, хоть и не очевидное, но очень большое практическое значение.

Ниже приводится пример получаемых, в процессе работы программы, результатов:

Расстояние между электродами, м	Ток через электроды, А	
	диаметр 100м	диаметр 200м
2*0.5	3.1743	
2*1	2.8352	
2*2	2.431	2.4173
2*4	2.1957	2.1789
2*8	1.9779	
2*16	1.7646	

В дальнейшем использовалась модель диаметром 300 метров, для получения более точных результатов.

Как видно из примера, расстояние между электродами, в каждом замере, увеличивается в два раза. В итоге можно найти отношение значения тока предыдущего отчёта, к последующему. Оно равно 1.11, в среднем. То есть ток меняется по закону степени 0.151, или 6.62, в зависимости от уменьшения, или увеличения тока.

Этот закон и является результатом проведённых измерений. Он, в частности, показывает, что для уменьшения тока между электродами в 2 раза, расстояние между ними придётся увеличить в 100 раз.

Результат явно не укладывается в привычные нам рамки, и при этом строго научно обоснован, используемыми программой формулами.

Заметно труднее удалось получить результат при изменении диаметра электродов. Соотношение размеров модели и диаметра электрода получается очень большим. Поэтому, даже двойное улучшение точности, не давало уверенности в правильности получаемого результата.

Но, получаемые результаты, достаточно просто проверить в реальных условиях, что и было сделано в ближайшем водоёме. Электроды длиной 0.5 метров помещались в воду, на расстоянии около метра между ними. Диаметр одной пары электродов был 1 мм, другой 0.25 мм. Источником тока являлся аккумулятор 12 вольт. Результат, ток 0.2 А у одной пары, и 0.15А у другой, явился контрольным параметром, дающим возможность проверить правильность работы программы. В конце концов, удалось настроить точность её работы, которая соответствовала результату, полученному в реальных условиях.

Как видно из приведённых результатов, изменение диаметра электродов так же мало влияет на изменение тока между ними, как и расстояние. Нужно

учесть, что изменение диаметра электрода в 2 раза, приводит к изменению площади его поверхности в 4 раза.

Осталось проверить, как влияет на силу тока длина электродов. Для этого в реальных условиях были проведены замеры, которые показали следующее. При изменении длины электродов от 0.5 метров, до 2 метров, ток меняется от 0.2 А, до 0.66 А.

Нельзя сказать, что результат явился чем-то ожидаемым, после того, что уже было получено ранее. Ток между электродами или вообще практически не меняется, или он меняется почти линейно с увеличением линейных размеров. Как с этим справится теория?

На плоской модели получить такую зависимость не удавалось. Поэтому пришлось использовать объёмную модель, изменяя длину электродов добавлением и изменением уровней. То есть длина электродов менялась по оси Z.

Первая удачная попытка дала практически идеальное совпадение с реальностью. Но затем выяснилось, что результат меняется от одного решения к другому. Ток на двух электродах сильно отличался, то есть программа работала с низкой точностью, но в среднем всё же получилось удовлетворительно, особенно по значениям уровней напряжённости поля. Напряжённость поля увеличивалась пропорционально увеличению тока между электродами, что закономерно, ведь электроды создают поле электрического тока, а напряжённость его производная.

Эти, по сути, простые задачи, решение которых дало совсем не ожидаемый результат, позволило убедиться в правильности работы заложенных в программу теоретических предпосылок. Это значит, что программу можно использовать и для более серьёзных расчётов, не сомневаясь в справедливости полученных результатов, естественно при грамотном её использовании.

Плоская модель на Рис.1 может не давать точных абсолютных значений напряжений, из-за очевидных ограничений, но закон их изменения прослеживается достаточно чётко, что позволит, в перспективе, использовать его для расчёта реальной дальности связи.

Получив хорошие результаты на 3D модели, решено было проверить на ней и возможность расчёта дальности связи. Таких же размеров, как у плоской модели, получить не удалось, но при максимальном размере 500 метров, решение задачи определения уровня напряжённости поля, дало те же абсолютные значения и такой же закон снижения напряжённости.

То есть потребуются более масштабные эксперименты, чтобы выявить соответствие модели и реальности. Это обычное дело в научной работе, когда приходится вводить специальные коэффициенты, позволяющие приводить теоретически полученные данные к реальности.

Следует отметить, что реализация данного вида связи потребует решить достаточно сложные инженерные задачи при передаче сигнала высокой частоты, и большом разnose передающих электродов, из-за индуктивного сопротивления проводов. Это будет ещё труднее преодолеть в солёной

морской воде. Здесь даже на низкой частоте будет трудно работать, так как сопротивление нагрузки будет очень низким, менее 1 Ома.

В статье рассматривается, по сути, лишь один аспект темы передачи информации с использованием поля электрического тока. Без внимания остались темы диаграмм направленности, прохождение сигнала сквозь землю, и возможность исследования, в связи с этим, её строения, скорость передачи информации, и связанные с этим диапазоны частот, возможность контроля водного пространства и создание систем подводного позиционирования с помощью этого поля, а также выявление других скрытых возможностей.

Без серьёзного, заинтересованного подхода к данной теме, это всё останется белым пятном, на которое, каким-то странным образом, никто не обращает внимание.

Понятно, что эта связь не для бытового использования, но, хотя бы в научных целях, следовало начать работы в этом направлении. Ведь сейчас с Марсом проще наладить связь, и получить от него снимки поверхности, чем с аппаратом, опустившимся на дно Марианской впадины. Про передачу изображения, и управления в режиме реального времени, без задержки сигнала, такого аппарата, даже никто не мечтает.

Сложность заключается в том, что если нигде нет упоминаний о возможности связи с помощью поля электрического тока, то и такой научной темы, финансируемой в плановом порядке, открыть невозможно.

Сломать вековой информационный барьер, с помощью данной статьи, вряд ли удастся, но без первой капли, всё равно не обойтись. Как показывает опыт, такие барьеры легко не ломаются, и многое зависит от попадания информации в нужное место, вернее туда, где она действительно нужна и способна помочь решить существующие проблемы.

Со временем станет ясно, существует ли такое место.