

Секция №6, устный

УДК 550.837

РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ПЕТЛЕ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ЗСБ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЫСОКООМНЫХ РАЗРЕЗОВ

Павлов А.Т.

Научно Производственное Предприятие «Интер», г. Саратов.

Приведён расчёт ёмкости незаземлённой горизонтальной петли при возбуждении первичного и измерении вторичного электромагнитных полей в импульсной индукционной геоэлектроразведке. Горизонтальная петля рассматривается как распределённая система с линейным распределением напряжения по контуру. Установлено, что при динамическом режиме собственная ёмкость составляет одну треть от статической ёмкости петли. Приведена эмпирическая формула для оценки собственной динамической ёмкости петли, учитывающая паразитную ёмкость оборудования и оператора. Это позволяет теоретически обосновать возможность зондирования высокоомных разрезов в криолитозоне. Приведено сопоставление экспериментальных результатов измерения суперпозиции переходного процесса и сигналов становления поля при ЗСБ в криолитозоне Якутии, с теоретически рассчитанными переходными процессами петли и полезными сигналами для рамок радиусами 6, 12 и 30 метров. Показано, что слой оттайки в летнее время в криолитозоне поднимает полезный сигнал становления поля на порядок.

Ключевые слова: электромагнитные зондирования, импульсная индукционная электроразведка, криолитозона, ЗСБ, переходный процесс, Якутия.

Мнения экспертов о зондировании ВЧР для высокоомных и слабоконтрастных объектов, где больше всего проявляется переходный процесс в генераторной и приёмной петле, изменились от «это невозможно» в конце семидесятых годов – до пессимистичного «едва ли возможно» [Кожевников, 2004], что конечно нельзя считать серьёзным прогрессом за 35 лет в области геофизики.

На высокоомных геологических разрезах (>50-100 Ом*м), большинство геофизиков приходят к выводу, что сигнала становления поля нет, а только собственные переходные процессы контуров и аппаратуры. Картировать высокоомные разрезы в криолитозоне нельзя. Либо в отдельных случаях в криолитозоне выделять эффекты вызванной поляризации и по ВП пытаться определять параметры разреза. Причина таких заблуждений и по сей день кроется в несовершенстве оборудования, технологии проведения работ и интерпретации на высокоомных объектах и при зондировании ВЧР.

Одна из главных причин заблуждения - приводятся в обоснование ошибочные теоретические оценки собственных переходных процессов в контурах возбуждения и приёма в системе «провод петли – ВЧР». В последние годы некоторые авторы также стали замечать [Кожевников, 2006], что теоретические оценки переходных процессов системы «провод – ВЧР» имеют многократное расхождение с практическими результатами.

Ещё в 1977 году обратил внимание, при сопоставлении теоретических оценок переходных процессов, собственных ёмкости и индуктивности контура - с экспериментами над различными геологическими объектами, что период собственных колебаний распределённого контура в некоторых случаях имеет величину намного меньшую, чем теоретически возможная для уединённой рамки в стационарном режиме. Ниже, все оценки и эксперименты, для упрощения, проведены для однопетлевого варианта зондирования (когда генераторная рамка является и приёмной). При анализе предлагается замена рамки общепринятой эквивалентной моделью. Для сопоставления распределённой системы в динамическом режиме и системы с сосредоточенными параметрами, исходим из представления о частичных ёмкостях рамки, расположенной над средой. Критерием эквивалентности систем будем считать совпадение переходных процессов в рамке и замещающей модели при возбуждении импульсом тока. В этом случае могут быть определены значения элементов схемы замещения. Для получения практических оценок параметров рамки и качественного описания переходных процессов в ней, необходим учёт паразитного влияния ёмкости оператора и системы генерации и приёма ЭМ импульса. Приведём расчёт энергии, накопленной в частичных ёмкостях распределённого контура в динамическом режиме, при предположении линейного распределения величины напряжения по контуру (рис.1б).

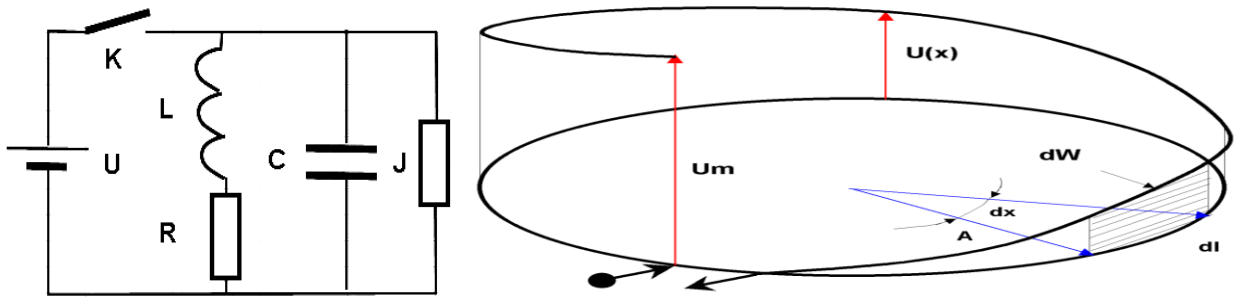


Рис. 1а) Эквивалентная схема, 1б) Оценка ёмкости распределённого контура в динамическом режиме.

$$dW = \frac{C_{cm} * dl}{2\pi A} * \frac{U^2(x)}{2} \quad \text{отсюда} \quad W = \frac{C_{cm}}{3} * \frac{Um^2}{2} \quad (1)$$

Эта запасённая энергия в «динамической ёмкости» C_d распределённой системы имеет величину $1/3$ от ожидаемой величины энергии, запасаемой в ёмкости рамки над средой в стационарном режиме. Если рассматривать переходный процесс в контуре, интересуясь только его «выходными» параметрами, то аналогичную энергию при напряжении U_{max} может запасти контур с ёмкостью равной $1/3$ статической ёмкости ($C_{ст}$), заряженной до напряжения U_{max} без распределения потенциала по периметру. Несмотря на некоторые допущения в приведённых оценках, можно сделать вывод о возможности замены в эквивалентной модели рамки её собственной ёмкости на величину $C_d = C_{ст} / 3$, заряженной до напряжения U_{max} . Сопоставление теоретических расчётов ёмкости и экспериментальных результатов для различных размеров рамок над водой ($\epsilon = 81$) на Волге и в криолитозоне в Якутии на траппах (рис.2). Для периодов колебаний вид графиков аналогичен.

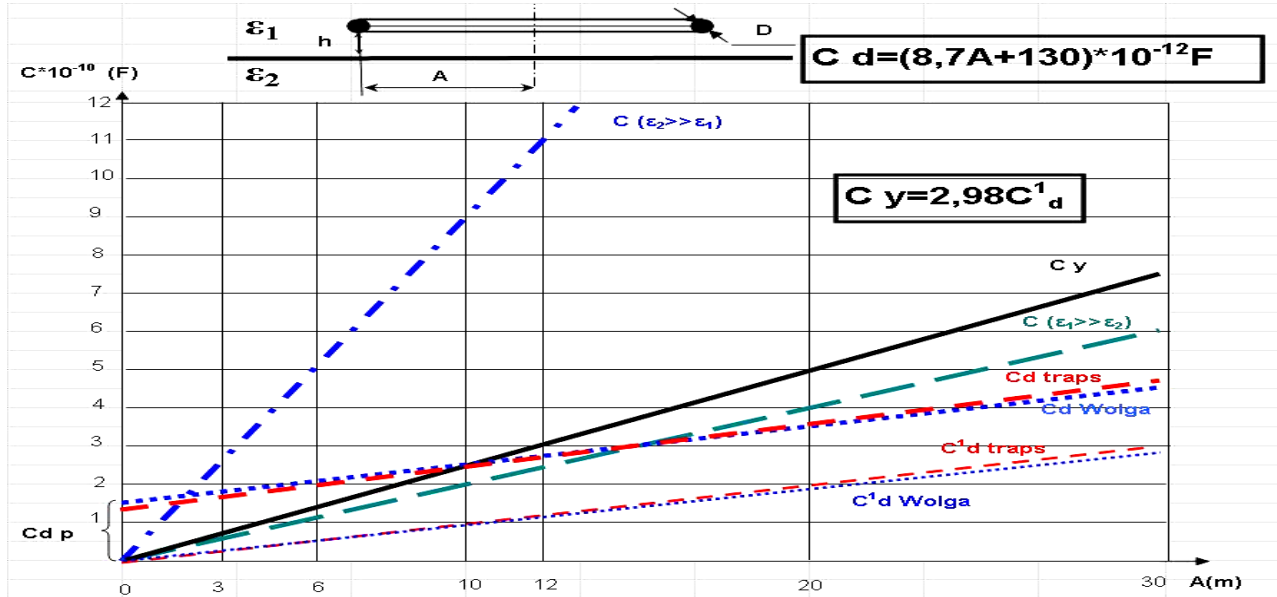


Рис 2. Сопоставление теоретических и экспериментальных значений ёмкости рамки.

Получена оценка отношения периодов колебаний в уединённой рамке и экспериментальных, равная 1,72, что для отношения емкостей данных рамок составляет величину 2,98. Измерения в Якутии проводились в августе 1978 года и практическое совпадение результатов над водой на Волге и на траппах можно объяснить наличием слоя оттайки. Получена эмпирическая зависимость собственной «динамической ёмкости» C_d от радиуса рамки и с учётом паразитной ёмкости данной зондирующей системы $C_d = (8,7A + 130) * 10^{-12}$ Фарад.

Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими предположениями при линейном распределении потенциала по контуру даёт основания полагать, что в модели с сосредоточенными параметрами можно представить как уменьшение её эквивалентной ёмкости.

Для оценки возможности зондирования высокоомных разрезов была решена система уравнений переходного процесса в модели петли (рис.1а) при критическом режиме, достигаемом шунтированием петли сопротивлением $J=J_{кр}$. по известным соотношениям:

$$\left(\frac{L}{J} - RC\right)^2 - 4LC = 0, \text{ получаем решение } U(t) = I \left[G + \left(G\alpha - \frac{1}{C} \right) * t \right] * \exp(-\alpha t), \text{ где } G = \frac{RJ}{R+J}, \alpha = \frac{L/J + RC}{2LC}, \quad (2)$$

и процесса становления поля в ближней зоне по Сидорову В.А..

Совместный анализ параметров критического режима и сигналов становления поля позволяет сформулировать требования к быстродействию генератора зондирующих импульсов (t фронта $\ll T$ (U_{max})), допустимому максимальному напряжению U_{max} , к величине выходного сопротивления генератора, к величине $J_{кр}$, а также оценить период колебаний T , величину и диапазон напряжения полезного сигнала, поступающего на приёмную аппаратуру и её необходимое быстродействие. Эти требования легко увязать с необходимой глубиной исследования, определяемой током в петле и её площадью.

Результаты сопоставления теоретически посчитанных и экспериментально полученных для рамок радиуса $A=6$ и 12 метров приведены на рис.3. В соответствии с рекомендациями Сидорова В.А.- при сравнении с теорией, измеренные сигналы становления поля смещались на Δt_m , при котором всплеск напряжения $E(t)$ на рамке при выключении тока достигает максимума.

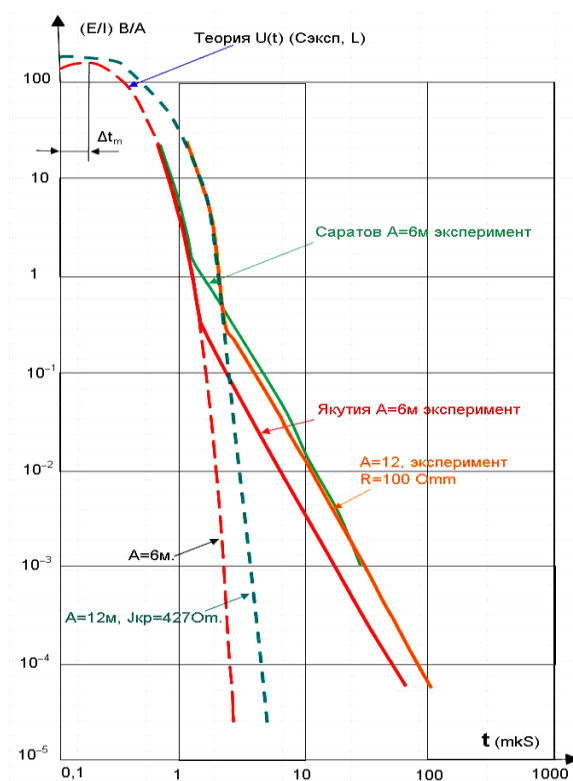


Рис.3 Теория и эксперимент $A=6$ и 12 м.

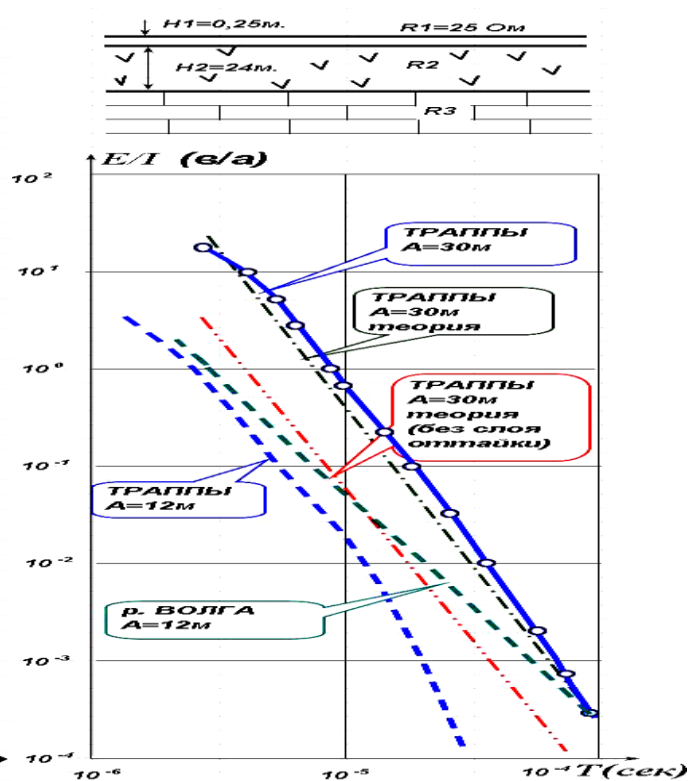


Рис.4 Влияние слоя оттайки $A=12$ и 30 м.

Как следует из результатов зондирования в криолитозоне Якутии, значения емкости и периода колебаний близки к экспериментально измеренным над водой ($\epsilon=81$) по льду. В условиях Якутии особенность работ в летнее время – появление слоя оттайки. И если, например, для георадара - оттаявший слой многолетнемерзлых пород является непреодолимым экраном, в котором гасится энергия зондирующего импульса, то для ЗСБ, как показали наши исследования и расчёты, этот оттаявший слой поднимает уровень измеряемого сигнала на порядок и облегчает измерения сигнала становления поля. Благодаря особенностям применяемой интерпретации (по Сидорову В.А.), верхний

тонкий проводящий слой не искажает геоэлектрическую модель объекта исследования. На рис.4 приведены теоретические и экспериментальные значения сигнала становления поля для рамок радиусом 12 и 30 метров и сопоставление при наличии и без слоя оттайки. Приведено сопоставление сигналов над пресноводным водоёмом для рамок радиусом $A=12$ м. и над траппами в криолитозоне Якутии. Уровень полезного сигнала на высокоомном разрезе на ранних временах составляет единицы Вольт для $A=12$ м, и достигает 30 Вольт для $A=30$ м, при токе в импульсе 2,5 Ампера.

В 1978 г. были проведены расчёты и сопоставления с экспериментальными результатами для переходных процессов, периодов колебания, собственных ёмкостей и индуктивностей, а также амплитуды максимального всплеска и величины шунтирующего сопротивления в критическом режиме, для прямоугольных, квадратных и многовитковых рамок различных размеров, расположенных на различной высоте от поверхности. Зная паразитную ёмкость системы (определяется, например, по параметрам переходного процесса) и эмпирическую зависимость ёмкости распределённого контура в динамическом режиме от радиуса $C_d(A)$, можно проводить расчёты переходных процессов системы ЭМ возбуждения для различных геологических объектов. На объекте с неизвестными геоэлектрическими характеристиками можно измерить параметры переходного процесса для рамки любого радиуса, затем, по полученным данным, оценить возможности зондирования и измерения геоэлектрических характеристик разреза рамками любых произвольных размеров.