Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LXII, вып. 1, 1972 г.

О ВХОДНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ СВЧ АНТЕННЫ, РАЗМЕЩЕННОЙ В СКВАЖИНЕ

Ю. М. Мисник, Л. Б. Некрасов, О. Б. Шонин

Поведение антенны в скважине с точки зрения ее входного сопротивления представляет интерес в связи с исследованием возможности расширения скважин в мерзлых породах до больших диаметров с применением СВЧ энергии [4].

Известно, что мощность, выделяющаяся в некотором объеме диэлектрика с потерями при распространении в нем электромагнитной волны, определяется выражением [5]

$$P = \int_V 0{,}555\,\varepsilon'' f E^2\,dV, \qquad (1)$$

где ε'' — фактор потерь; E — напряженность электрического поля, *кв/см*; f — частота, *мгц*; dV — элемент объема.

Отсюда следует, что наиболее результативный путь повышения выделения энергии в мерзлой породе — увеличение напряженности электрического поля. При заданной мощности генератора СВЧ колебаний этого можно добиться обеспечением оптимального согласования антенны и фидера. При неполном согласовании теряемая в породе мощность, которая определяется напряженностью поля в породе, будет меньше той же величины в режиме согласования в $(1-|p|)^2$ раз. Модуль коэффициента отражения

$$|p| = \left[\frac{(R_A - Z_0)^2 + X_A^2}{(R_A + Z_0)^2 + X_A^2}\right]^{1/2},$$

где R_A, X_A — активная и реактивная составляющие входного сопротивления антенны соответственно; Z_0 — волновое сопротивление фидера.

Таким образом, необходимо определить реакцию полупроводящих стенок скважины на входное сопротивление антенны. Особый интерес для практики представляет исследование входного сопротивления антенны в процессе расширения скважины, т. е. при удалении стенок скважины от излучателя.

Входное сопротивление антенны, работающей в диапазоне СВЧ вблизи полупроводящей среды, граница которой представляет собой цилин-

дрическую поверхность, рассматривалось лишь для случая, когда диаметр скважины мал по сравнению с длиной волны [3].

В настоящей работе задача определения влияния стенок скважины на входное сопротивление антенны решается экспериментальным путем. Объектом исследования была антенна в виде вертикального вибратора над диском ограниченного размера при диаметре экрана и вибратора соответственно 90 и 4 *мм* и поперечном сечении возбуждающего кабеля 16×6,95 *мм*. Измерения проводили на частоте 2375 *мгц* (разрешенной частоте для промышленных СВЧ установок [7]) с помощью генератора Г4-9 и измерительной линии Р1-2. Для уменьшения связи нагрузки с генератором в схеме использован элемент развязки — ферритовый вентиль Э8-14. С помощью детекторной секции снимали распределение поля в линии, по которому определяли характер исследуемой нагрузки. Входное сопротивление антенны находили по данным измерения с помощью диаграммы Вольперта-Смита. Антенну подключали к измерительной линии посредством кабеля РК-29. На рабочей частоте этот кабель имеет затухание 0,08 *неп*, что вносит существенную погрешность в определение КСВ. Эта погрешность учтена выражением [2]

$$r = \operatorname{cth}\left[\operatorname{Arth}\left(\frac{1}{r_m}\right) - \alpha l\right],$$

где r и r_m — соответственно истинный и измеренный КСВ;

αl — затухание кабеля, *неп*.

Измеренные значения КСВ не превышали 5, поэтому детектор калибровали в соответствии с выражением [2]

$$n = \frac{\lg\left(\frac{1}{2}\right)}{\lg\cos\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{2L}{\lambda}\right)}, \qquad (2)$$

где n — показатель степени, определяющий закон характеристики детектора, в нашем случае равный 1,94; L — расстояние между точками половинного значения величины максимального показания индикатора; λ — длина волны в измерительной линии.

Положение узла определяли усреднением двух позиций, соответствующих удвоенному минимальному показанию индикатора, по обе стороны от минимума.

Приведенная методика измерений позволяет избежать больших погрешностей при определении входного сопротивления антенны.

Лабораторные исследования антенны в скважине проводили в условиях, близких к реальным. Конечная глубина скважины ($h=1200$ *мм*) не влияла на результаты измерений, что было проверено с помощью металлической пластины, которую помещали на дно скважины. Входное сопротивление при этом не менялось. Оно измерялось в диапазоне $\frac{l}{\lambda}=0{,}19\div0{,}77$. Длина волны оставалась постоянной и равной 12,6 *см*. Изменяли длину вибратора l.

По результатам измерений установлено (рис. 1), что антенна в свободном пространстве ведет себя с точки зрения входного сопротивления подобно цилиндрическим антеннам [6]. Входное сопротивление при первом резонансе равно 33 *ом*, что совпадает с теоретическими и экспериментальными данными о входном сопротивлении вибратора резонансной длины над экраном при $\kappa R=4{,}5$ ($\kappa=\frac{2\pi}{\lambda}$; R — радиус диска [1]).

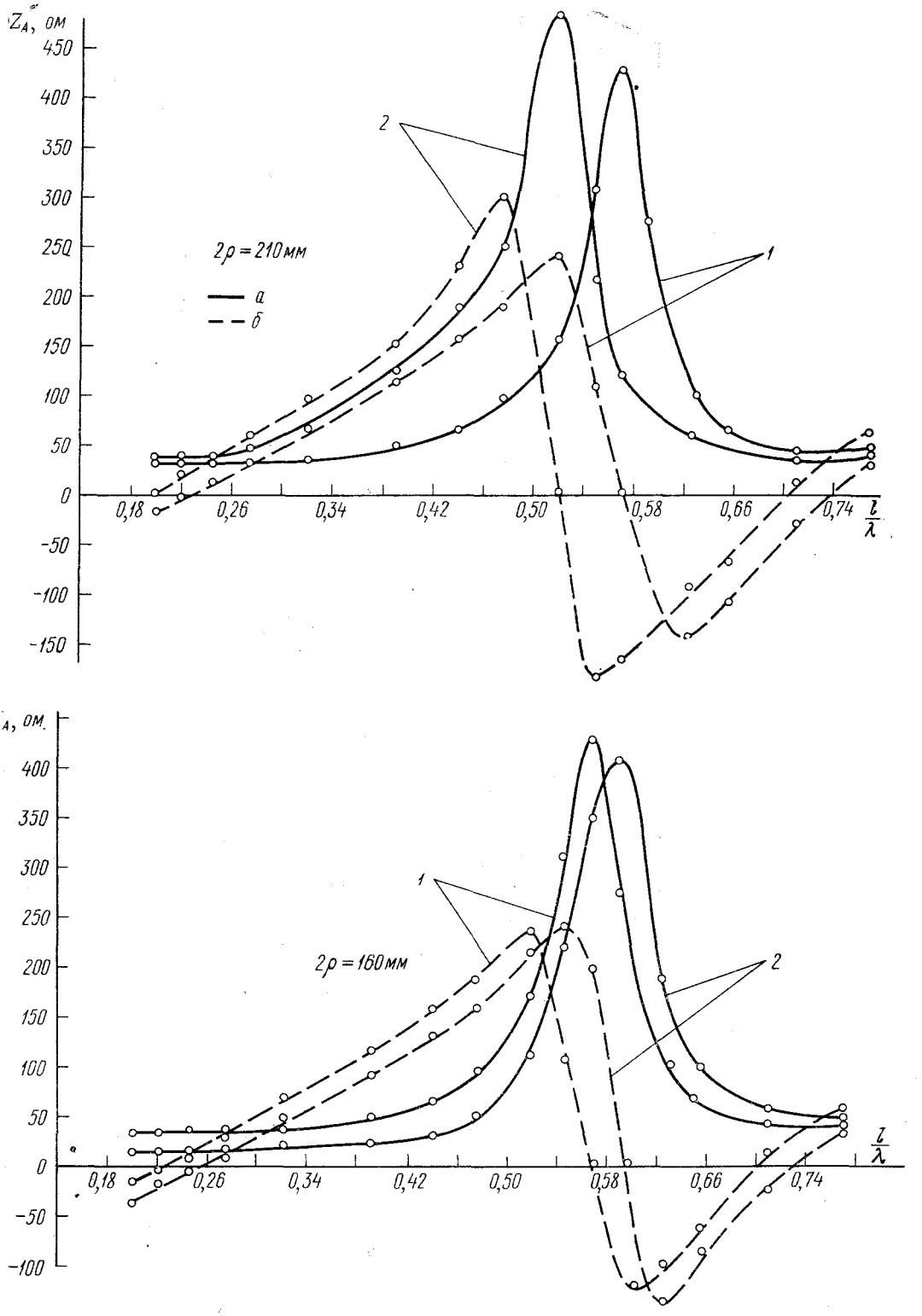


Рис. 1. Кривые активной и реактивной составляющих входного сопротивления антенны:

1 — антенна в свободном пространстве; *2* — антенна в скважине

Когда антенну помещали в скважину диаметром 210 *мм* (см. кривую *2*), резонансная длина вибратора укорачивалась, а в скважине диаметров до 160 *мм* — удлинялась. Наибольшее изменение в зависимости от радиуса скважины входное сопротивление претерпевает в области второго резонанса. При первом и третьем резонансах изменения входного сопротивления невелики. Следовательно, при проектировании вибраторной антенны для работы в скважине следует выбирать длину вибратора, исходя из соотношения $\frac{l}{\lambda}$, равного 0,2 или 0,705. Для длины вибратора, соответствующей третьему резонансу (0,705), более подробно исследована зависимость входного сопротивления от диаметра скважины. Как видно из графиков рис. 2, активная и реактивная составляющие входного

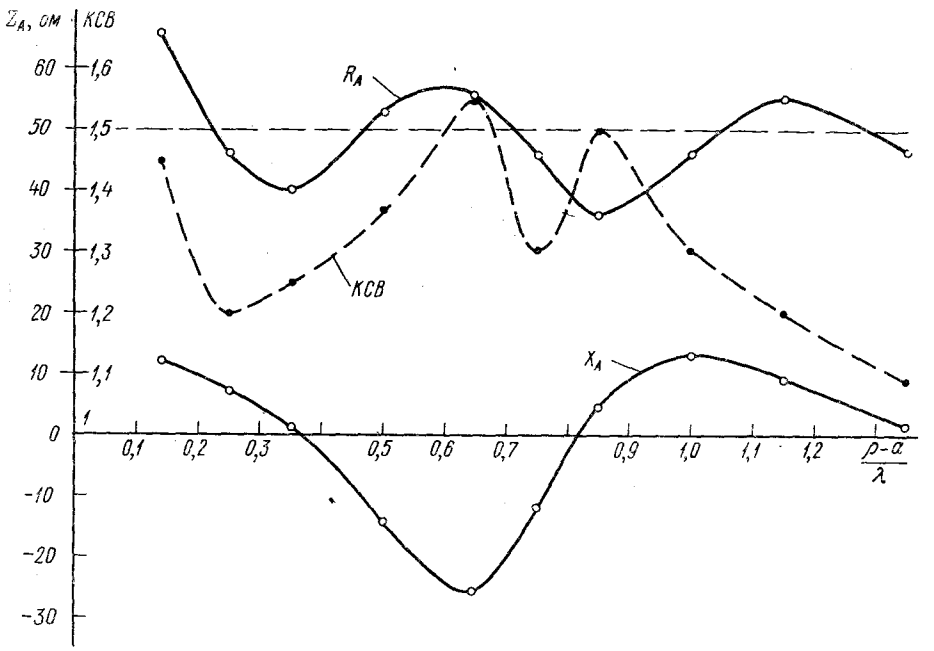


Рис. 2. Кривые входного сопротивления антенны

$$Z_A = \varphi\left(\frac{\rho - a}{\lambda}\right) \text{ и}$$

$$КСВ = \psi\left(\frac{\rho - a}{\lambda}\right),$$

где ρ — радиус скважины; a — радиус вибратора

сопротивления изменяются в небольших пределах около значения, соответствующего расположению антенны в свободном пространстве. При этом КСВ не превышает 2, что очень важно не только с точки зрения излучения максимальной мощности, но и устойчивой работы магнетронного генератора, максимально допустимая величина КСВ для которого обычно не больше 3.

Таким образом, рассмотренный тип антенны может быть положен в основу при проектировании излучателя для СВЧ устройства расширения скважин. В реальной конструкции для уменьшения влияния изменяющегося диаметра скважины на входное сопротивление антенны следует перейти от рассмотренного в настоящей статье сравнительно тонкого вибратора ($\frac{2a}{\lambda} = 0{,}032$) к вибраторам большего диаметра или коническим вибраторам как более широкополосным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Г. З. Антенны ультракоротких волн. Связьиздат, 1957.
2. Гинзтон Э. Л. Измерения на сантиметровых волнах. ИЛ, 1960.
3. Лавров Г. А., Князев А. С. Приземные и подземные антенны. Сов. радио, 1965.
4. Некрасов Л. Б., Мисник Ю. М., Лейбин Ю. В. Устройство для разрушения горных пород. Бюлл. изобр. 1970, № 20, № 281357.
5. Пюшнер Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот. Энергия, 1968.
6. Техника сверхвысоких частот, т. I. Сов. радио, 1952.
7. Общесоюзные нормы допускаемых индустриальных радиопомех. Связьиздат, 1963.