

МОДЕРНИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННОГО ПЛАНЕТНОГО РАДИОЛОКАТОРА

к.т.н. С.В. Козелков

(представил д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

Рассмотрено состояние евпаторийского планетного радиолокатора. Проведен анализ особенностей решения им навигационных задач и в связи с этим направлений его модернизации.

Для обеспечения решения навигационных задач дальних космических полетов аппаратами применяется планетный радиолокатор (ПРЛ). Единственный вне США ПРЛ был создан в Евпатории, сначала в дециметровом диапазоне длин радиоволн, на базе антенны АДУ-1000, а после введения в строй антенны П-2500 – на ее основе с энергетическим потенциалом порядка 125дБ [1]. Однако, в ряде критически важных случаев, использование этого ПРЛ существенно ограничено [1]. Поэтому представляется целесообразным модернизировать ПРЛ для достижения энергетического потенциала до уровня, по крайней мере, не уступающего нынешнему потенциалу радиолокатора в Голдстоуне (США). Там на волне 3,5 см достигнута максимальная излучаемая мощность 480 кВт и суммарная шумовая температура составляет не более 20К [2]. Эффективная площадь антенны в Голдстоуне составляет 2450 м², следовательно, энергетический потенциал этого ПРЛ равен 133,4 дБ. Поэтому после модернизации Евпаторийского ПРЛ в качестве нижней границы необходимо принять именно это значение. Однако нужно учитывать, что в будущем планируется повышение мощности передатчика Голдстоунского ПРЛ до 1 МВт [1,2], поэтому, чтобы к моменту модернизации ПРЛ не успел морально устареть, желательно ориентироваться на достижение энергетического потенциала порядка 137 дБ. При этом необходимо учесть, что одним из недостатков существующего евпаторийского ПРЛ является большое время переключения из режима “Излучение” в режим “Прием”, которое сейчас составляет 2-3 минуты [1,2]. Поэтому данный ПРЛ не может автономно работать по тем астероидам и кометам, которые периодически сближаются с Землей, имея при этом время запаздывания отраженного от них сигнала от единиц до десятков секунд. Поскольку мощный передатчик всего один, то в этом случае для приема экосигналов приходится привлекать удаленные за пределы прямой ви-

димости другие антенны, которые имеют меньшую площадь. Упомянутый выше радиолокатор в Голдстоуне после модернизации затрачивает на переключение режимов не более 1 секунды [2], что обеспечивает радиолокацию практически всех околоземных объектов.

Предполагается, что после модернизации навигационный ПРЛ на волне 3,5 см будет иметь эффективную площадь антенны 2700 м² [1,2]. При суммарной шумовой температуре 20К для достижения требуемого энергетического потенциала, равного 137 дБ, передатчик должен иметь непрерывную мощность 910 кВт. Такую мощность можно получить от четырех клистронов с единичной мощностью 250 кВт., которые были специально разработаны в США фирмой “Varian” для Голдстоунского радиолокатора [3]. В будущем не исключено появление новых когерентных усилителей с единичной мощностью 500 и более киловатт [3,4].

По завершению модернизации Евпаторийского ПРЛ может иметь для диапазона 3,5 см с энергетическим потенциалом 137дБ следующие параметры [1,4]:

центральная частота	– 8510 МГц;
непрерывная излучаемая мощность не менее	– 900 кВт;
ширина полосы модуляции не менее	– 20 МГц;
тип модуляции	– ЧМ, ФМ и поляризационная;
поляризация излучаемого сигнала	– линейная и круговая;
время переключения из режима «Излучения» в режим «Прием» не более	– 2с;
эффективная площадь антенны	
- в режиме излучения	– 2700 м ² ;
- в режиме приема	– 2700 м ² ;
суммарная шумовая температура	
- по правому поляризационному каналу	– не более 20 К;
- по левому поляризационному каналу	– не более 20 К;
развязка поляризационных каналов	– не менее 40 К.

Учитывая тяжелое экономическое положение Украины, не позволяющее в ближайшие годы в достаточной мере финансировать космические программы, предлагается модернизацию навигационного ПРЛ проводить поэтапно, опираясь на уже существующие радиотехнические средства. При этом намечается два этапа:

1 этап – модернизация ПРЛ для работы в квазиимпульсном режиме со временем перехода из режима «Излучение» в режим «Прием» менее 1с;

2 этап – создание ПРЛ на базе новой перспективной антенны, имеющей $S_{эф.}=3000 \text{ м}^2$, обеспечение энергетического потенциала до 187 дБ.

При создании ПРЛ в Евпатории для получения в антенне П-2500 проектных характеристик излучаемой мощности 300 кВт предполагалось передатчик скомпоновать из двух усилителей мощности на клистронах с выходной мощностью 150 кВт от каждого. Сигналы СВЧ от двух усилителей мощности суммировать на волноводном щелевом мосте сложения

и затем суммарную мощность 300 кВт подать по волноводному тракту на облучатель антенны. Однако реализовать на практике излучение мощности 300 кВт не удалось по следующим причинам:

электрическая прочность волноводного моста сложения ограничила выходную мощность до 200 кВт;

из-за недостаточной электрической прочности керамической пластины гермосекции вывода СВЧ энергии клистрона КУ-342 не удалось получить проектную выходную мощность 150 кВт, а была реализована мощность 100 кВт;

при длительных сеансах (более 30 минут) излучения антенной мощности 200 кВт происходит сильный разогрев кварцевой пластины гермосекции облучателя, а из-за высокой температуры нарушается сварное соединение кварцевой пластины в гермоокне облучателя, что ведет к электрическому пробоему облучателя и волноводного тракта. Поэтому на практике длительность сеанса на излучение не превышает 25 минут.

Поэтому при модернизации ПРЛ представляется целесообразным реализовать следующие технические решения.

1. Повысить электрическую прочность узла выхода СВЧ энергии клистрона КУ - 342 путем замены керамической пластины гермосекции на новый, более электрически прочный радиопрозрачный материал с минимальными потерями, разработанный в ИРЭ РАН [2,3]. При этом клистрон КУ - 342М сможет обеспечить выходную мощность не менее 150 кВт.

2. Для обеспечения электрической прочности в/ч тракта функциональные узлы (мост сложения СВЧ мощности от двух усилителей мощности, волноводные тракты и облучатель антенны), предлагается заменить на лучеводную систему, где напряженность плотности электрического поля на порядок меньше, чем в волноводах.

Достаточно компактная лучеводная система может быть создана на антенне П-2500 без нарушения существующих конструкций на рабочую мощность излучаемой СВЧ энергии до 500 кВт.

В настоящее время в Евпаторийском ПРЛ в качестве малошумящего входного усилителя (МШУ) применен мазер. Собственно мазер имеет малый уровень шумов, но из-за волноводных соединений узлов мазера с облучателем антенны, шумы возрастают до 10 К. При этом суммарная шумовая температура антенны (в зените) и МШУ составляет $23 \div 24$ К. Особо требуется отметить, что эксплуатация мазера сложна и дорога, так как требует для его работы использования в кристате жидкого гелия. Один мазер потребляет за трое суток около 40 л жидкого гелия. Для приема сигналов двух поляризаций нужны два работающих мазера. При этом затраты на поддержание работоспособности мазера складываются из расходов на приобретение газообразного гелия, его сжижения, поддержания работоспособности ожижительного гелиевого завода и азотной ожижительной станции. Поэтому при модернизации ПРЛ предлагается

использование МШУ на базе НЕМТ - транзисторов. В РНИИ КП разработаны лабораторные образцы усилителей на НЕМТ - транзисторах с шумовой температурой МШУ около 9 К в см – диапазоне радиоволн [1,2,4]. В МШУ предполагается защита от просачивания мощности передатчика. Охлаждение МШУ будет производиться криогенной машиной замкнутого цикла. Для уменьшения потерь в соединительных трактах поляризатор облучателя антенны будет размещен в общем криоблоке совместно с МШУ. Такое решение позволит получить в модернизированном ПРЛ суммарных шумов антенны с приемных устройств около $19 \div 20$ К. При этом условия эксплуатации приемной системы значительно упростятся и сократятся расходы на эксплуатацию.

Таким образом указанные мероприятия, проводимые в рамках модернизации Евпаторийского ПРЛ, позволят значительно повысить эффективность решения навигационных задач за счет увеличения возможных объектов навигации и соответствия полученных характеристик, характеристикам других ПРЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиосистемы межпланетных космических аппаратов / Под ред. А.С.Виницкого, – М.: Радио и связь, 1993. – 328 с.
 2. А.Л.Зайцев. Фундаментальные космические исследования малых тел Солнечной системы с помощью радиолокации. Предложения в совет РАН по космическим исследованиям. – РАН, 1996.
 3. R.A.Cormier and A.Mizuhara. 250 – kW CW Klistron Amplifier for Planetary Radar. – IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – V.40. – 1992. – С. 1056 - 1068.
 4. Dedicated Asteroid Radar Telescope. S.I.Ostro, Proposals for Mission to the Solar System Workshop, March 1996.
-