

«ГЛАЗ НЕБЕСНЫЙ»

ЛИСОВ Игорь Анатольевич

DOI: 10.7868/50044394820030056

Китайский 500-метровый радиотелескоп принят в эксплуатацию

11 января 2020 года был принят государственной комиссией и вступил в строй крупнейший в мире однозеркальный радиотелескоп в китайской провинции Гуйчжоу. Диаметр его зеркала в 1,6 раза больше, чем у американского радиотелескопа Аресибо, чувствительность в 2,3 раза выше, доступная для наблюдений площадь неба – вчетверо больше.

История этого проекта восходит к идее создания многозеркального радиотелескопа SKA эффективной площадью 1 км², которая была выдвинута в 1993 г. представителями 10 стран на 24-й сессии Генеральной ассамблеи Международного союза радиоастрономии. Китайские ученые предложили тогда собрать километровый радиотелескоп из 30 антенн диаметром по 200 м, смонтированных в естественных

Радиотелескоп FAST. Общий вид. Фотография на сайте проекта <http://fast.bao.ac.cn/en>



карстовых полостях провинции Гуйчжоу. Для этого проекта даже подобрали имя KARST, что расшифровывалось как Kilometer-square Area Radio Synthesis Telescope – «синтетический радиотелескоп площадью 1 км²».

В 1994 г. появилась идея еще до создания KARST реализовать предварительный, но не менее амбициозный проект с одним 500-метровым зеркалом изменяемой кривизны. Он получил наименование FAST, в буквальном переводе «быстрый», а на самом деле Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope, то есть «телескоп с 500-метровой сферической апертурой». Разумеется, существует и китайский перевод официального названия, но более популярно поэтическое имя «Тяньянь» (天眼), буквально – «Глаз небесный».

В 2000 г. исследователи Пэн Бо, Нань Жэндун и Су Янь опубликовали основные положения проекта FAST. В октябре 2001 г. он получил поддержку Китайской академии наук и Министерства науки и технологий как один из потенциальных научных мегапроектов. После демонстрации на макетах ряда критических технологий Национальная комиссия по развитию и реформам в июле 2007 г. утвердила FAST в качестве одного из крупных научных инструментов в плане 11-й пятилетки, а в октябре 2008 г. одобрила представленное обоснование и утвердила проект к реализации.

Среди целого ряда карстовых объектов провинции Гуйчжоу была выбрана воронка примерно 800 метров в диаметре в точке с координатами 25,647° с.ш., 106,856° в.д., вблизи деревни Даводан (大窝凼) уезда Пинтан автономного округа Цяньнань-Буи-Мяо. Она располагается в 100 километрах к югу от города Гуйян, административного центра провинции, а если измерять расстояние не по прямой, а по имеющимся дорогам – в 170 км.

26 декабря 2008 г. состоялась торжественная закладка радиотелескопа, но только в марте 2011 г. закончилось переселение из зоны строительства. Под него попали 65 человек из деревушки в самой воронке Даводан, и еще 2029 семей – 9110 жителей восьми деревень в границах пятикилометровой зоны полной радиотишины. Не обошлось без протестов и судебных исков; правительство потратило 1,8 млрд юаней (270 млн \$) на компенсации переселенцам, в то время как собственно на строительство пошло лишь 1,2 млрд юаней (180 млн \$) – на 0,5 млрд больше первоначально выделенной суммы.

25 марта 2011 г. начался этап земляных работ общим объемом около 1 млн м³ – вплоть до декабря 2012 г. рабочие выравнивали дно воронки, бетонировали кольцевые галереи и организовывали дренаж. В течение 2013 г. по окружности радиусом 500 метров были выстроены опоры, на которых монтировалась кольцевая ферма зеркала, а к 4 февраля 2015 г. закончилась провеска опорной кабельной сетки. Немного раньше, 30 ноября 2014 г., завершилось сооружение шести мачт подвеса кабины облучателей и приемников, а 21 ноября 2015 г. на шести тросах подвесили кабину.

Первая панель рефлектора была смонтирована на узлах кабельной сетки 2 августа 2015 г., а последняя – 3 июля 2016 г. Три месяца спустя, 25 сентября 2016 г., состоялся первый сеанс приема радиоизлучения из зенитной области и было объявлено о начале опытной эксплуатации уникальной обсерватории.

Для обеспечения работы FAST 16 августа 2017 г. была объявлена запретная зона для полетов в виде круга радиусом 30 км с центром в точке установки радиотелескопа. В пределах этой зоны также наложены жесткие ограничения на использование радиотехнических средств.

Руководителем проекта FAST от идеи и до «первого света» был Нань Жэндун (南仁东). Он родился 19 февраля 1945 г. в Маньчжурии, в уезде Сиань провинции Ляонин. В 1963 г., сдав выпускные экзамены, юноша подал документы на архитектурный факультет университета Цинхуа. Однако его результаты были более чем на 50 пунктов выше проходного балла, блестящий выпускник был зачислен «туда, где нужнее стране» – на радиотехнический факультет.

В ноябре 1968 г. Нань Жэндун был направлен на радиозавод Тунхуа в провинции Цзилинь. Будучи талантливым художником, он выполнил для завода большой портрет Мао Цзэдуна и стал автором дизайна переносного радиоприемника, который в то время готовился к выпуску. Уже в 1970 г. он стал ведущим конструктором 10-киловаттного телевизионного передатчика, а в 1973 г. совместно со специалистами Цзилиньского университета разработал настольный компьютер и добился решения о его серийном производстве.

Жизнь Нань Жэндуна сделала крутой поворот в 1978 г., когда его пригласили в Пекинскую астрономическую обсерваторию для подготовки магистерской, а затем и докторской работы. После защиты в 1985 г. он был направлен на двухлетнюю стажировку в радиообсерваторию Двингелоо в Нидерландах, где продвигал совместный проект по радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой, а после возвращения был принят исследователем в Национальную астрономическую обсерваторию Китая.

В 1994 г. Нань Жэндун возглавил команду по подготовке проекта телескопа FAST в должности научного руководителя и главного инженера. Он увидел «первый свет» и начало испытаний телескопа, но не успел стать членом Китайской АН, потому что умер от рака легких 15 сентября 2017 г. У административного здания новой обсерватории в Даводане ему установлен памятник.

Основной частью FAST является зеркало в виде сегмента сферы радиусом 300 метров и диаметром по верхнему срезу 500 метров, набранное из элементов треугольной формы из перфорированного алюминиевого листа. Два комплекта металлических тросов, провешенных от кольцевой фермы в ортогональных направлениях, обеспечивают натяжение полотна антенны. Точки их пересечения являются опорными узлами для треугольных элементов. Узлы фиксируются оттяжками регулируемой длины, заведенными на железобетонные якоря. В центральной части зеркала проходит над дном воронки на высоте всего 4 м. Снаружи рефлектор окружают шумозащитная и ветрозащитная стены.

Форма каждого элемента антенны задается собранной под ним легкой ферменной конструкцией. Размер листа составляет от 10,4 до 12,4 м, радиус кривизны – 318,5 м, толщина полотна – 1,3 мм, масса – от 427 до 482,5 кг.

Так как в каждом узле сходятся концы шести треугольных элементов, количество узлов вдвое меньше, чем листов антенного полотна, а число тросовых элементов втрое больше количества узлов. Китайская пресса пишет, что антенна имеет в своем составе 4450 элементов (4273 стандартных и 177 специальных) и 2225 узлов, а тросов в системе около 7000. На фотографиях можно видеть, что рефлектор состоит из пяти треугольных секций, в каждой из которых по 863 пол-

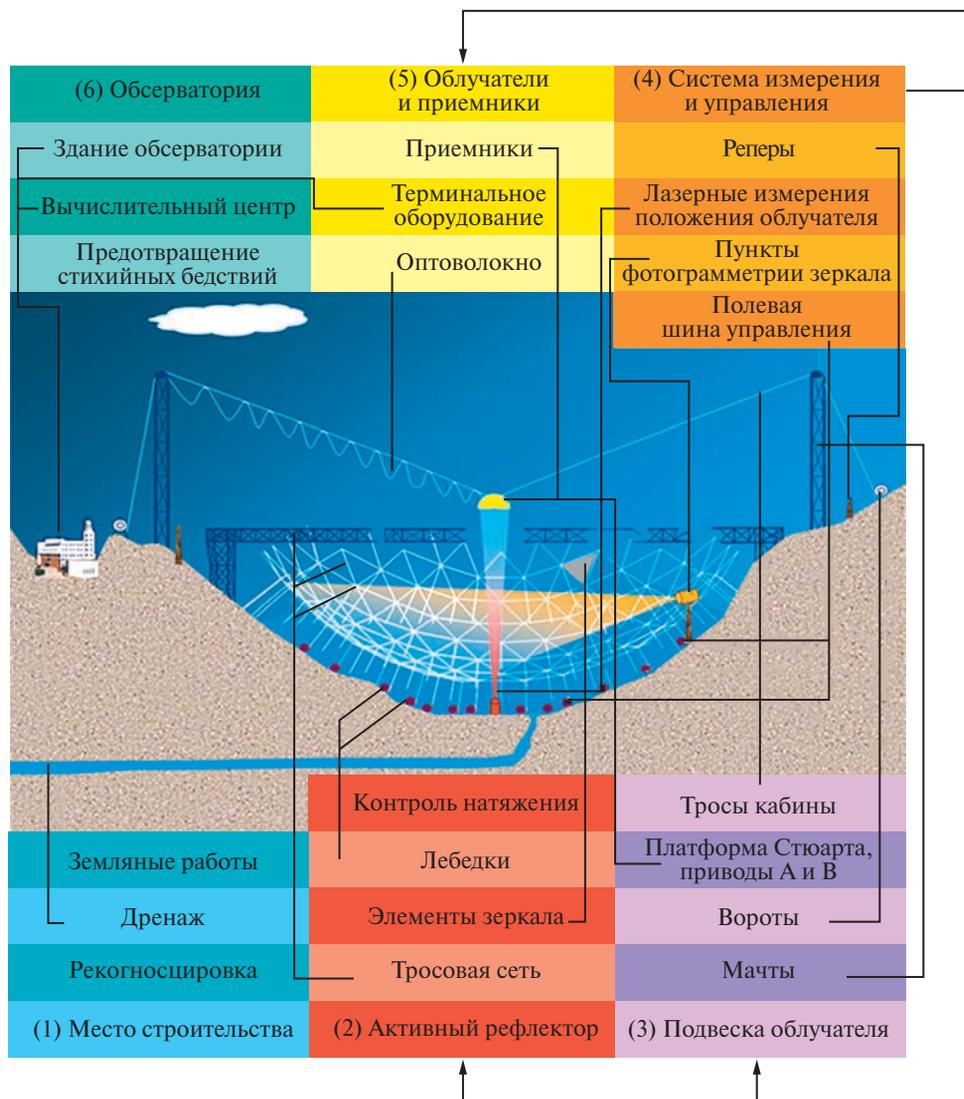
ных элемента. Очевидно, в официальном подсчете учтены и неполные треугольники в области примыкания зеркала антенны к кольцевой ферме, а к числу нестандартных отнесены среди прочих листы с проемами для стоек измерительной аппаратуры. Суммарная площадь антенны – около 260 000 м².

Рефлектор FAST в 1,6 раза больше аналогичного зеркала американского радиотелескопа Аресибо, диаметр которого 305 м. Но главное отличие состоит не в размере, а в том, что форма зеркала китайского радиотелескопа настраивается в режиме реального времени с устранением сферической aberrации. Участок диаметром 300 м вдоль оси, нацеленной на наблюдаемый небесный объект, превращается из сферического в параболический за счет точно рассчитанной подстройки длин примерно 1000 оттяжек, находящихся под ним, причем пределы изменения длины оттяжки составляют всего 95 см, а погрешность – 2 мм. Фокус параболы строится на расстоянии 0,4665 от радиуса сферы, то есть в 140 м от поверхности зеркала. Подвешенный на этом расстоянии и должным образом наклоненный облучатель «видит» рефлектор в пределах угла 120°, что и определяет фактический диаметр актуального параболического зеркала. Для измерения фактической формы зеркала исполь-



зуются лазерная станция и фотограмметрические камеры, установленные над его поверхностью.

Кабина облучателей и приемников диаметром около 10 м и массой 30 т подвешена на шести тросах и перемещается при помощи кабельного робота с сервомеханизмами на шести мачтах высотой около 100 м. Они обеспечивают грубую выставку приемной аппаратуры с ошибкой до 100 мм. Нижняя часть кабины – собственно платформа Стюарта с приемниками разных типов – имеет собственные приводы направленного перемещения («параллельный робот») и наклона для установки в фокус с ошибкой не более 10 мм. Кабина может опускаться для



Устройство радиотелескопа FAST. Схема на сайте проекта <http://fast.bao.ac.cn/en>

обслуживания в центральный проем зеркала.

Регистрирующая часть пока имеет в своем составе девять приемников с малошумящими усилителями на диапазоны 70–140, 140–280, 280–560, 560–1020, 320–334, 550–640, 1150–1720, 1230–1530 и 2000–3000 МГц. Она создана при участии ряда иностранных научных учреждений; в частности, уни-

кальный 19-лучевой приемник на диапазон 1230–1530 МГц, содержащий линию водорода 21 см, изготовлен Организацией научных и промышленных исследований Содружества в Австралии в рамках кооперации между академиями наук двух стран.

Приемная аппаратура охлаждается гелиевыми рефрижераторами и сосудами Дьюара с целью снижения шумовой



Кабина облучателей и приемников опущена в центральный проем.
Фотография новостного портала www.news.cn

температуры. Радиосигнал, смещенный до промежуточной частоты, преобразуется в оптический (световой) и по оптоволоконному кабелю, проведенному через одну из мачт, передается на расстояние около 3 км в отдельное здание радиообсерватории, где вновь преобразуется в радиосигнал для обработки на компьютере, соответствующем той или иной исследовательской задаче.

При выборе объекта наблюдения в пределах 30° от зенита формируется актуальное зеркало полной площади. Поскольку FAST построен в точке с широтой $25,6^\circ$, ему доступна полоса неба примерно от -5° до $+55^\circ$ по склонению. Возможны наблюдения и с большим отклонением от зенита, но за счет сокращения рабочей площади зеркала. Заявленная точность наведения телескопа на объект – $8''$, время перенацеливания – 10 минут, продолжитель-

ность сопровождения объекта может составлять 4–6 часов.

Верхний предел по частоте приема определяется в основном точностью выдерживания формы параболы (5 мм), а также ограничивается высокой влажностью в районе размещения обсерватории. В перспективе он может быть поднят примерно до 5 ГГц. Телескоп может использовать приемники как с круговой, так и с линейной поляризацией. Угловое разрешение в L-диапазоне составляет $3'$. Заявленная чувствительность – $2000 \text{ м}^2/\text{К}$.

Система архивирования научной информации для FAST создается Международным центром радиоастрономии в Перте (Австралия) совместно с Европейской южной обсерваторией в расчете на сбор, хранение и распределение примерно 3000 Тбайт информации ежегодно.

В число основных научных целей проекта входят:

- обзор межзвездной среды в Галактике в линии нейтрального водорода HI с разрешением на уровне крупномасштабных обзоров в линии CO;

- обнаружение примерно 4000 новых пульсаров в Галактике и поиск первых внегалактических пульсаров;

- обнаружение десятков тысяч галактик с водородными облаками и отдельных массивных галактик на расстояниях, соответствующих красному смещению $z = 1$;

- спектроскопический обзор радиоспектра богатых галактических источников в диапазоне от 70 МГц до 3 ГГц;

- поиск радиосигналов от экзопланет, включая возможные сигналы внеземных цивилизаций.

Кроме того, FAST может использоваться для совместных наблюдений с другими обсерваториями в режиме радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой.

За время от начала опытных наблюдений и до ввода в постоянную эксплуатацию основные достижения FAST были связаны с поиском пульсаров. Два первых с обозначениями PSR J1859-01 и PSR J1931-02 были найдены в августе 2017 г. К сентябрю 2018 г. FAST нашел 44 пульсара, подтвержденных наблюдениями других обсерваторий. К январю 2020 г. их насчитывалось уже 102, причем точность временных засечек удалось улучшить в 50 раз.

Одним из наиболее интересных в этой коллекции оказался миллисекундный пульсар PSR J0318+0253 с периодом 5,19 мсек, совпадающий по положению с источником гамма-лучей 3FGL J0318.1+0252 в каталоге космического гамма-телескопа *Fermi*. Китайский радиотелескоп «услышал» его 27 февраля 2018 г. после часового сеанса наблюдений. Ранее при радионаблюдениях из Аресибо этот слабый источник найти не удавалось.

В конце августа и начале сентября 2019 г. на FAST было получено более

100 быстрых всплесков от радиоисточника FRB121102. Природа этого источника, находящегося в 3 млрд световых лет от Земли, и ему подобных – остается неизвестной.

24 января 2019 г. были проведены первые интерферометрические наблюдения совместно с 65-метровым радиолокатором «Тяньма» Шанхайской астрономической обсерватории.

6 февраля 2020 г. группа исследователей во главе с Чжан Чжисунгом отчиталась о первых наблюдениях с целью поиска внеземных цивилизаций. Понятно, что результат был отрицательным, но технология работы на 19-лучевом приемнике со спектрометром SERENDIP VI была опробована успешно.

22 апреля 2019 г. радиотелескоп «Тяньянь» прошел приемку, которая зафиксировала выполнение всех строительных работ и соответствие объекта проектным характеристикам. Четырьмя днями ранее был открыт прием заявок от китайских ученых, которые немедленно затребовали 2200 часов наблюдательного времени при 360 доступных часах опытного цикла наблюдений.

11 января 2020 г. инструмент был официально принят в эксплуатацию. Телескоп функционирует как подразделение Национальной астрономической обсерватории Китайской АН. Главным инженером FAST после смерти Нань Жэньдуна был назначен Цзян Пэн, а научным руководителем – Ли Ди.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт проекта FAST <http://fast.bao.ac.cn/en/site.html>
2. Evan Gough. China's 500-Meter FAST Radio Telescope is Now Operational, **Universe Today**, 20.01.2020 <https://www.universetoday.com/144669/chinas-500-meter-fast-radio-telescope-is-now-operational/>
3. Elizabeth Gibney. Gigantic Chinese telescope opens to astronomers worldwide, **Nature**, 24.09.2019 <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02790-3>