

## **СЛУЖБА ЭТАЛОННОГО ВРЕМЕНИ НАО ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ.**

*Ф.И.Бушуев*

Трудно представить жизнь цивилизации, тем более современной, без приборов для измерения времени, а попросту, элементарных часов. Тем более не представляется возможным выполнить работу по высокоточным астрономическим наблюдениям с целью определения координат небесных светил без особоточных астрономических часов.

Если телескоп для любой обсерватории - это прибор под №1, то прибором №2 всегда и во все времена были часы.

Точность часов определяла точность наблюдений звезд, в свою очередь, из наблюдений звезд определялась длительность суток и года, вычислялась, так называемая в астрометрии, поправка часов. Именно поэтому, наряду с усовершенствованием телескопов, большое внимание уделялось и уделяется совершенствованию часов.

Существует даже мнение специалистов о том, что показателем уровня технического развития страны может служить уровень телескопостроения и точного приборостроения, примером чего могут служить высокоточные приборы для хранения шкалы времени.

Навсегда вписаны в историю астрономии имена создателей высокоточных астрономических маятниковых часов. Это известные ученые, инженеры, изобретатели: Рифлер, Шорт, Федченко. Уникальные часы этих знаменитых механиков позволили создать высокоточные каталоги многих тысяч звезд, определить координаты и динамику планет, астероидов и комет, обеспечить первые успешные запуски искусственных спутников и космических зондов на поверхность небесных тел солнечной системы и др.

Честно и добросовестно отработавшие свой век механические астрономические часы покоятся ныне на своих прочных фундаментах, навечно вмурованных в массивные стены обсерватории. Защищенные от внешних воздействий вакуумированными прочными корпусами, они и сейчас предстают взорам посетителей главного корпуса НАО.

История обсерватории - это и история ее часов. Неумолимо идущее вперед время передало эстафету от механических часов электронным. Точность электронных часов, вначале кварцевых, а затем и квантово-механических на несколько порядков превосходила точность лучших механических часов. Однако высокоточные маятниковые часы, по мнению ряда специалистов, еще не исчерпали полностью возможностей своего применения - это гравиметрические и геофизические работы, сейсмология и др. Результаты исследования хода этих часов по отношению к высокоточным квантовым эталонам времени, возможно, еще дадут новую уникальную геофизическую, а возможно, и астрофизическую информацию. Это касается вопросов обнаружения гравитационных волн, аномалий силы тяжести, космологических проблем, а также более близких и актуальных для нас задач предсказания разрушительных землетрясений.

Как же оценивается точность хода часов? Погрешность часов может быть измерена по отношению к более стабильному эталону времени и частоты, как величина, характеризующаяся отношением разности частот колебаний измеряемого и эталонного генераторов или маятников часов к значению номинальной частоты за выбранный для измерения интервал времени, к примеру, сутки, час или секунду.

Погрешность лучших механических часов имеет значение  $\pm 1 \cdot 10^{-8}$  за сутки, что соответствует уходу часов на 1 сек за 1157 суток. (Принимается во внимание, что сутки состоят из 86400 сек.). Для сравнения, погрешность современных квантово-механических часов обсерватории, использующих в качестве рабочего вещества элемент **Rb87** (рубидий - элемент щелочной группы металлов таблицы Менделеева ) составляет величину  $\pm 1 \cdot 10^{-12}$ , что в 10 тысяч раз меньше. Квантово-механические часы на основе атомов водорода (**H**) и цезия (**Cs**), так называемые водородные и цезиевые стандарты частоты, имеют погрешность менее  $\pm 1 \cdot 10^{-14}$ .

Именно часы этого типа используются в Национальных первичных эталонах времени и частоты. Таковыми являются: Институт Метрологии Времени и Пространства в Москве, ГНПО «Метрология» в Харькове, Украинский Центр Стандартизации и Метрологии в Киеве, Национальное Бюро Стандартов США NBS,

Международное Бюро Времени - Париж, а также на радиостанциях служб времени и навигационных систем «Лоран-С», РНСЕ, «Омега», круглосуточно передающих эталонные сигналы.

Чем же объясняется столь высокая стабильность квантово-механических или, как их еще называют, атомных часов?

В отличие от механических часов, стабильность которых определяется постоянством формы и механических свойств маятника, пружины или подвеса, которые, к сожалению, не остаются строго постоянными из-за влияния температуры, вибрации, усталостных свойств металла и ряда других дестабилизирующих факторов квантово-механические часы используют в качестве своеобразного маятника атомную структуру избранного элемента таблицы Менделеева, энергетические параметры или, как принято говорить, возможные энергетические состояния которой строго константны и могут меняться только скачком в соответствии с законами квантовой механики, излучая или поглощая при этом кванты электромагнитных колебаний строго постоянных частот, определяемых формулой Планка

$$\Delta E = h\nu$$

где:  $\nu$  - частота кванта;

$\Delta E$  - изменение энергии атома;

$h$  - постоянная Планка.

Именно этот квантово-механический принцип константности, т.е. постоянства структурных физических свойств и строения атома вещества позволил создать на базе спектроскопических исследований внутреннего строения вещества, у истоков которых стояли известнейшие физики нашего века: Эйнштейн, Планк, Таунс, Басов, Прохоров и др., сверхвысокоточные квантовые стандарты частоты и времени, в десятки и сотни тысяч раз увеличившие точность хранения и измерения времени.

Появлению в НАО квантово-механических часов на основе атомов **Rb** и **H** в начале 70-х годов предшествовал период использования на протяжении 50-60 годов различных кварцевых часов, точность которых была выше механических, но уступала сменившим их атомным часам. Это был весьма интересный в

плане экспериментаторской работы период становления лаборатории времени и частоты НАО, основателем и руководителем которой был В.М.Ивакин. Так, в целях улучшения термостатирования эталонных кварцевых пластин, определяющих частоту электронных кварцевых генераторов, последние помещались в специально пробуренные на глубину до 40м скважины. Разработанные несколько позднее высокостабильные термостаты позволили отказаться от этого метода. Так в конце 50-х, начале 60-х годов уже была достигнута величина нестабильности температуры в двухслойных термостатах не превышающая  $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ .

В обсерватории появились два комплекса высокоточных по тем временам часов немецкой фирмы **Rode&Schwarz**, которые на протяжении десятилетия эффективно использовались для наблюдательной работы обсерватории. Используемые в часах кварцевые пластины были уникальными по своей технологичности. Кристалл кварца разрезался алмазной фрезой под строго определенными углами к осям кристалла, пластина подвергалась точнейшей обработке и полировке. Контактные площадки на кварце покрывались слоем золота для подключения пьезопотенциалов, ювелирно закреплялась на специальных подвесах, помещалась в вакуумированный баллон, проходила стадию длительного устаревания в целях снятия остаточных механических напряжений. Все эти и ряд других технических усовершенствований позволили создать кварцевые часы с погрешностью до  $\pm 1 \cdot 10^{-11}$ .

Качественный скачек в точности часов обсерватории наступил в конце 60-х, начале 70-х годов, когда в обсерватории, руководимой в те годы Я.Е.Гордоном, по решению Совета Министров о создании эталонной базы времени и частоты СССР, был установлен вторичный эталон времени и частоты производства ВНИИФТРИ Менделеево, Московской области. Он включал в себя два водородных генератора, имеющих погрешность менее  $\pm 2 \cdot 10^{-12}$ .

Приборы могли работать в реперном режиме, т.е. периодически, раз в сутки использовались для проверки и корректировки частоты трех эталонных кварцевых генераторов, имеющих суточную нестабильность  $\pm 3,5 \cdot 10^{-12}$  и незначительный

систематический дрейф частоты  $2,3 \cdot 10^{-12}$  в сутки, в целях внутреннего контроля шкалы времени эталона.

В составе эталона времени НАО были предусмотрены также приемные и регистрирующие устройства для проверки и синхронизации часов по радиосигналам радиостанций службы времени РВМ-Москва, GBR-Великобритания, DCF-ФРГ и ряда других, а также аппаратура энергопитания и энергорезервирования на случай выключения городской энергосети.

Большая часть установленного в те времена оборудования после модернизации и установки более точных и надежных приборов используется и в настоящее время в работе обсерватории. В 80-е годы на службе эталонного времени НАО начали использоваться отечественные и зарубежные рубидиевые стандарты частоты с погрешностью менее  $\pm 1 \cdot 10^{-12}$  за сутки. Рубидиевый стандарт американской фирмы **Hewlett-Packard** использовался для хранения рабочей шкалы времени обсерватории, а также в качестве перевозимых часов в радиоинтерферометрических экспериментах в Евпатории и Зеленчуке.

Сущность метода радиоинтерферометрических наблюдений заключается в организации строго синхронных (погрешность сведения часов и различие в частоте стандартов не должны превышать  $\pm 0,1$  мкс и  $\pm 1 \cdot 10^{-12}$  соответственно) одновременных наблюдений радиотелескопами одного и того же источника космического радиоизлучения из двух разнесенных на межконтинентальные расстояния (5-10 тыс. км) пунктов приема. Метод позволяет получить радиоизображение космического источника радиоизлучения с большой разрешающей способностью, превышающей разрешающую способность оптических телескопов.

В лаборатории времени и частоты НАО, при участии инженеров Э.М.Тилька, Л.А.Джижевской, Н.С.Рады, Ф.И.Бушуева в 80-е годы были созданы высокоэффективные автоматические приемники сигналов навигационных систем «Лоран-С», РНСЕ, «Омега», успешно применяемые по настоящее время для контроля шкалы времени и ионосферных исследований.

Был создан высокоточный кварцевый генератор и синтезатор звездной шкалы времени с коэффициентом преобразования частоты

1,0027379059, позволившие реализовать удобную для наблюдений звезд звездную шкалу времени. Этот момент часто вызывает вопросы и поэтому нуждается в некотором пояснении. Вследствие того, что Земля при своем движении в пространстве участвует в двух вращениях, одно вокруг своей оси - один оборот в сутки, второе вокруг Солнца - один виток за год, длительность солнечных суток, определяемых по прямому восхождению Солнца в независимой шкале времени - например, атомной, принятой в качестве эталона, оказывается длиннее звездных суток, определяемых по прямому восхождению звезд. Эта разница составляет 3 мин 56,55360 сек атомного времени за сутки, что за год в сумме ровно 24 часа, т.е. одни сутки. Таким образом, длительность года исчисляется по количеству солнечных суток, по которым и строится наш обычный 365 суточный календарь, что составляет 366 звездных суток. Поскольку весь уклад нашей жизни связан с периодичностью восхода и захода Солнца, мы пользуемся солнечной шкалой времени, к которой для удобства пользования максимально приближена атомная шкала времени, используемая в качестве абсолютной меры измерения времени. Звездное время используется в астрономии, геодезических работах и т.д. В астрономических каталогах каждая звезда имеет две строго определенные для нее координаты, одна из которых ничто иное, как звездное время. Таким образом, циферблат звездных часов оказывается как бы запечатленным на видимом нами ночном звездном небе.

В момент осеннего равноденствия циферблаты звездных и солнечных часов на нулевом меридиане Гринвичской обсерватории, находящейся в Англии недалеко от Лондона, показывают одинаковое время. Спустя полгода в момент весеннего равноденствия они расходятся ровно на 12 часов. Расхождение звездных и солнечных часов однозначно связано с таким видимым нами явлением, как перемещение Солнца на фоне звезд в течение года и сменой созвездий, которые мы видим на ночном небе в разные времена года.

Звездные часы НАО в день осеннего равноденствия расходятся с солнечными на +2 часа 07 мин 53,555 сек, что соответствует долготе нашей обсерватории, выраженной в часовой мере.

Кроме основной своей задачи - обеспечение эталонными сигналами времени и частоты астрономических инструментов обсерватории - на службе эталонного времени регулярно велись и ведутся приемы сигналов времени КВ, ДВ и СДВ радиостанций служб времени, в целях контроля правильности передаваемых сигналов излучения, и регистрации ионосферных аномалий распространения радиоволн, вызванных изменениями в активности Солнца и рядом других причин, таких как возмущение тектонической активности рентгеновскими вспышками на Солнце, антропогенными воздействиями и др.

Регулярно, в моменты передачи циферблата московской студии Останкино в НАО производится сверка часов с погрешностью менее  $\pm 0.1$  мкс.

Это стало возможным после того, как Государственная служба времени и частоты Института Метрологии Времени и Пространства в Москве, синхронизировала работу телевизионной аппаратуры своим высокоточным стандартом частоты. На сегодня это наиболее точный и простой метод сверки часов по всей территории, охваченной ТВ вещанием. Служба времени НАО регулярно поддерживает обмен информацией с первичными эталонами в Москве, Харькове, Пулкове.

В истории службы точного времени НАО был незабываемый период ее участия в работе трехгодичной астрономической экспедиции НАО на острове Шпицберген в Северном Ледовитом океане в конце 70-х начале 80-х годов, руководимой доктором физ.-мат. наук Петровым Г.М. Тогда в районе поселка Баренцбург была основана обсерватория для наблюдения прямых восхождений звезд на пассажном инструменте АПМ-10 в условиях полярной ночи. В работе экспедиции, ее снаряжении и эксплуатации мобильной службой точного времени, приняли участие инженеры Тильк Э.М., Ивакин В.М., Бушуев Ф.И., техник Аристархов А.А. Участники экспедиции на протяжении трех полярных ночей обеспечивали наблюдательную работу обсерватории. Работа была успешно завершена в 1977 году.

Годы экономической и политической перестройки страны и вызванный ею экономический кризис не минули и обсерваторию. Резко сократилось финансирование, штат сотрудников, снабжение.

Оборвались традиционные научные и хозяйственные связи, изменились принципы и задачи работы. С большим трудом служба дооснащалась современным оборудованием, устанавливала новые научные связи и контакты. Несмотря на трудности переходного периода, благодаря поддержке и пониманию руководства обсерватории, часы НАО ни разу не были остановлены. Работают они и в настоящее нелегкое время.

Удалось укомплектовать и собрать два комплекта устройств точного времени и частоты: одно для Пулковской обсерватории в рамках современного проекта **МАГИС**, другое для нового аксиального меридианного телескопа АМК, изготовленного в обсерватории.

Были установлены научные контакты с Украинским Радиотехническим Институтом (бывший НИИДАР) в Николаеве по работам, связанным с изучением ионосферы, регистрацией рентгеновских вспышек на Солнце, прогнозированию разрушительных землетрясений. По этой же тематике началось сотрудничество с Киевским госуниверситетом, Харьковским радиоастрономическим институтом, предполагается научное сотрудничество с зарубежными коллегами в рамках проекта **«Предупреждение»** Украинской космической программы.

Весьма актуальным представляется развитие в НАО радиоастрономических методов, радиоинтерферометрии (используя имеющуюся эталонную базу обсерватории), а также интеграция в международные программы по исследованию солнечно-земных взаимодействий. НАО могла бы на равных участвовать в проекте **«Функционирование»** по координатно-временному обеспечению Украины, ее южной промышленной зоны. Затраты на дооснащение не привысили бы 50 тыс. дол. При этом южный регион Украины был бы обеспечен необходимым потенциалом оборудования для координатно - временного обеспечения работ, в том числе Морской программы Украины в части высокоточных определений координат при работах на шельфе Черного моря и других применений.

Последнее относится к нашим ближайшим перспективам развития, по нашему мнению, вполне реально выполнимым, а главное полезным и нужным для развития Украины, ее научно-

технической базы, укрепления международного авторитета высокоразвитой цивилизованной страны.

В заключение хотелось бы высказать следующее: Человечество и планета Земля могут рассматриваться как огромный космический корабль, общий для всех рас и народов, с колоссальной, по земным меркам, скоростью перемещающийся в пространстве Космоса. Роль астрономии с этой точки зрения - это роль передсмотрящих, была такая должность в истории флотоводства. Уже сегодня, благодаря развитию астрономической науки, телескопостроения, есть возможность обозревать космическое пространство в радиусе до 13 млрд. световых лет, уже организован и действует международный патруль астероидной и кометной опасности, начали действовать программы по поиску внеземных цивилизаций, успешно ведутся работы по исследованию солнечно-земных энергетических взаимодействий (STEP), получены уникальные фотоснимки поверхности спутников планет-гигантов Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна, готовится экспедиция человека на Марс, постройка лунной обитаемой станции. Устремленность человечества в Космос, как подчеркивал в своих трудах великий Циолковский - это жизненно важная необходимость для сохранения и процветания человеческой цивилизации.