

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ*

С.И. Грызулин (1938–2020)

В 1959 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-геодезист». После окончания института работал в Якутском аэрогеодезическом предприятии ГУГК при СМ СССР, с 1962 г. — в ЦНИИГАиК, с 1988 г. — в Объединенной комплексной экспедиции № 132 Московского аэрогеодезического предприятия. С 1997 г. по 2020 г. работал в ООО Фирма «ЮСТАС». Кандидат технических наук. Лауреат премии имени Ф.Н. Красовского (2001 г.).

▼ Корабельная тема

В эти же годы в ОСПГ шли работы по геодезическому обеспечению оснащения кораблей — плавающих измерительных пунктов для связи и управления космическими летательными аппаратами. Первым строилось научно-исследовательское судно «Космонавт Владимир Комаров» в Николаеве в 1967 г., затем в Ленинграде на Балтийском заводе в 1970 г. — «Академик Сергей Королёв» и в 1971 г. — «Космонавт Юрий Гагарин». На корабле «Космонавт Юрий Гагарин» мне пришлось немного поработать. В дальнейшем ОСПГ принимал участие и при строительстве кораблей для ВМФ: «Гром» (в Николаеве) и «Урал» (в Ленинграде).

В судостроении очень ценится стапельное время. Поэтому на стапеле собирают лишь корпус судна и силовой набор шпангоутов и переборок. Вся «начинку» и оборудование монтируют у достроечной стенки, «на тихой воде».

Работа геодезиста на плаву сильно отличается от измерений на земной тверди. На судах

не работают пузырьковые уровни. Отвесная линия, конечно, неподвижна, но прибор-то качается вместе с судном. Приходится работать в корабельной системе координат (КСК), где нет отвесной линии, а есть установленная еще на стапеле металлическая центральная контрольная площадка (ЦКП), задающая «плоскость ватерлинии» с точкой (отверстием) начала координат. Другая коор-

динатная плоскость («плоскость шпангоутов») задается оптическим зеркалом, закрепленным на прочной поперечной переборке. Нормаль к поверхности зеркала задает направление «диаметральной плоскости» и оси ОХ к носу судна. Ось ОУ направлена на правый борт, а ось ОZ — вверх, перпендикулярно ЦКП. Все средства навигации и наблюдения судна (антенны, телескопы) должны



Научно-исследовательское судно «Космонавт Юрий Гагарин»

* Продолжение. Начало в «Геопрофи» № 4-2022, с. 38–44.

Статья подготовлена по материалам, предоставленным М.С. Брацлавской — дочерью С.И. Грызулина.

Полный текст с воспоминаниями С.И. Грызулина и записанными им воспоминаниями С.М. Иноземцева, О.П. Лоботорина и А.С. Ремизова размещен на сайте Фирмы «ЮСТАС» — <https://ooo-justas.ru/articles>.

быть связаны с направлением осей КСК.

Так что геодезия здесь особая, и приборы особые. Чтобы не переделывать обычный автоколлимационный теодолит (например, Т-2А), его наглухо закрепляют в трегере, на стенде ставят на горизонтальную площадку и подъемными винтами выводят вертикальную ось вращения в отвесное положение. Винты наглухо стопорят. Визирную ось трубы направляют горизонтально и делают отсчет по вертикальному кругу, равный 90°. Корабельный вариант теодолита (КТ-2) должен быть установлен на площадке, параллельной ЦКП. В этом случае при отсчете по вертикальному кругу 90° визирная ось трубы реализует плоскость, параллельную плоскости ватерлинии.

В общем случае задача корабельной геодезии состоит в том, чтобы передать направление осей КСК непосредственно на устройства навигации и наблюдения. Дело в том, что ЦКП обычно устанавливают вблизи центра масс судна, а средства навигации и наблюдения — на носовых или кормовых надстройках. Приходится проектировать «теодолитный» ход, станции которого оборудованы площадками для установки теодолита, параллельными ЦКП. Параллельность обеспечивают электронными уровнями ЭУ-128, работающими в режиме разности двух датчиков. В этом режиме на табло выводится разность наклонов двух датчиков уровня. При этом опорный датчик устанавливают на ЦКП, а ведомый — на регулируемой площадке. Регулировкой наклонов добиваются минимальных показаний разности наклонов по осям X и Y. Теодолитный (ориентирный) ход ведут тремя автоколлимационными теодолитами (сфокусированными на «бесконечность»). Каждый из теодолитов по очереди стано-

вится коллиматором, «хранящим» передаваемый корабельный «азимут». Теодолиты навоят «труба в трубу», и отсчитывают «горизонтальный» круг. Станции хода (контрольные площадки) приходится размещать на разных высотах (палубах), что делает ход пространственной ломаной линией.

О работах на кораблях в своих воспоминаниях подробно рассказывал Александр Сергеевич Ремизов — https://ooo-justas.ru/articles/ospg-glava-6-vspominaniya_aleksandra_remizova/.



▼ Светолокаторы

В 1973 г. по теме «Терра-3», в рамках которой в 1966 г. мы измеряли рефракцию, началось строительство лазерного локатора ЛЭ-1.

Жилая площадка с гостиницами для командированных и казармами для военных находилась на берегу озера. В обеденный перерыв летом можно было искупаться. Рабочая площадка была неподалеку, там располагались уже действующие радиолокационные станции.

Светолокатор представлял собой многоэтажное здание с пристройкой из монолитного железобетона. В здании амфитеатром размещались 196 рубиновых лазеров, излучение которых оптическим трактом направлялось в телескоп ТГ-1, находившийся в укрытии на пристройке. Полповоротный двухосный телескоп с главным зеркалом диаметром 130 см направлял излучение на цель и принимал отраженный сигнал. Телескоп был оснащен датчиками «уголок», позволяющими выполнять высокоточные траекторные измерения космических объектов.

На этапе строительства мы должны были контролировать

установку закладных частей для телескопа и заодно определить координаты измерительного центра будущего локатора в общегосударственной системе координат.

Когда смонтировали телескоп, нам предложили исследовать его геометрию с целью гарантировать точность наведения «визирной оси» телескопа на объект локации по целеуказаниям. Эта работа была выполнена под руководством М.А. Рубинштейна, который в 1977 г. с блеском защитил кандидатскую диссертацию.

Локатор ЛЭ-1 стал самым точным инструментом в СССР для траекторных измерений в ближнем космосе (на дальностях в несколько сотен километров).

В 1980 г. создатели локатора получили Ленинскую премию и Государственную премию СССР, а большая группа участников работ была награждена в Кремле орденами и медалями. Нам с М.А. Рубинштейном «досталось» по ордену «Знак Почета». Для визита в Кремль пришлось покупать новые костюмы и галстуки.

Параллельно с работами на ЛЭ-1 шло строительство следующего комплекса.

К этой работе нас подключили в 1974 г., уже на этапе проектирования. По проекту локатор имел два передающих оптических канала: канал «подсветки» с рубиновыми лазерами и «силовой» канал инфракрасного излучения. Третий (приемный) канал был встроен в оптику канала подсветки. Излучение передающих каналов направлялось на цель зеркальной системой наведения (ЗСН), которая передавала отраженный от цели сигнал в приемную часть апертуры неподвижного телескопа, работающего и на передачу канала подсветки. Опорно-поворотное устройство ЗСН находилось в подкупольном помещении.



Награжденные орденами и медалями в Кремле, 1980 г.

Этой темой в ОСПГ взялся руководить я сам. В создании комплекса участвовало много крупных организаций. Заказчиком (НПО «Астрофизика») было составлено «Положение» о сферах ответственности головных исполнителей. ЦНИИГАиК (а точнее ОСПГ) получил статус головной организации по привязке и юстировке комплекса. Статус означал, что вся документация (строительные чертежи сооружений и конструкторская документация на сборочные единицы тракта) должна была иметь мою согласующую визу, а в чертежах должны были быть учтены наши требования.

Поэтому я много времени проводил в Ленинграде — в Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО) и Государственном оптическом институте (ГОИ), где проектировали тракт, и в НПО «Астрофизика» — и налаживал нормальные деловые контакты. В ГОИ, где разрабатывали принципиальную оптическую схему комплекса, мне пришлось объяснять, что «Земля круглая», и поэтому отвесные линии в разных мес-

тах протяженного оптического тракта не параллельны. Оптики были очень этим недовольны, но пришлось смириться.

Параллельно с конструкторскими работами в Ленинграде и Москве мы в ОСПГ разрабатывали методики контроля сборки и юстировки тракта. Получалось так, что для обеспечения точного взаимного положения отдельных устройств (сборочных единиц) тракта требуется специально разработанная оптико-механическая измерительная аппаратура.

Наши предшественники, работая с радиотелескопами, такую аппаратуру называли «юстировочной станцией» (ЮС). «Станцию» для работы с протяженным оптическим трактом комплекса мы разделили на две части. Одну часть составила «система опорных элементов» (СОЭ), хранящая в сооружениях объективную систему координат (ОСК). Аппаратуру СОЭ по нашим ТЗ должен был проектировать, изготавливать и поставлять на объект завод «Арсенал» (Киев). Теперь к моим командировкам в Ленинград добавился Киев.

В СОЭ в соответствии с нашим проектом входили измерительные коллиматоры, зеркала, искусственные горизонты, центрлюки, высотные марки. Эти приборы и устройства монтировались стационарно во всех помещениях на трех этажах сооружения и хранили объективную систему координат.

Вторую часть ЮС составили геодезические приборы: теодолиты УВК, инварные мерные ленточки (изготовитель ЭОМЗ ЦНИИГАиК), теодолиты Т2А, нивелиры и прибор вертикального проектирования, который по нашему техническому заданию тоже должен был создать завод «Арсенал». Кроме инструментов, в ЮС вошло много специальных приспособлений, изготовленных на ЭОМЗ ЦНИИГАиК.

Прямоугольную систему координат (XYZ) в сооружении мы разместили следующим образом. «Базовая вертикаль» — ось Z ОСК. «Базовая ось тракта» — направление излучения в подкупольном помещении, ось Y ОСК. Ось X дополняет систему до правой.

Положение «базовой вертикали» в сооружении задали от-

носителем строительной сетки и закрепили «центр-люками» в межэтажных перекрытиях. «Базовую ось тракта» закрепили назначенным горизонтальным углом, измеренным с центра люка от ориентирного пункта, построенного в трехстах метрах от сооружения. Для наблюдения ориентирного пункта в стене сооружения был предусмотрен люк с крышкой. Такое закрепление «базовой оси тракта» оставляло без внимания возможные подвижки строительных конструкций и позволяло контролировать направление оптических осей тракта относительно линии «базовая вертикаль» — ориентирный пункт с точностью измерения углов теодолитом УВК.

Система высот была закреплена высотными марками в виде двугранных стеклянных призм со штриховыми шкалами. Шкалы подсвечивались изнутри.

Строительство комплекса началось в 1974 г. Когда сооружения сдали под монтаж, в первую очередь монтировались рабочие элементы СОЭ, и мы начали «связывать» визирные оси коллиматоров, нормали зеркал, нули высотных марок, положение центр-люков с базовыми элементами объектовой системы координат. Положение рабочих опорных элементов (точек и осей) относительно базовых в дальнейшем периодически проверялось с помощью приборов ЮС.

После того, как все оси коллиматоров и нормали зеркал получили свои исходные азимуты, а все высотные марки — свои высоты, началась основная работа по контролю установки сборочных единиц в проектное положение. Для этого на сборках при изготовлении назначались «монтажные центры». Для них в монтажных чертежах указывались координаты в ОСК и допуски на погрешность

установки. Допуски на монтаж задавались в миллиметрах, а то и в их долях, так что сборочные единицы были оснащены приспособлениями для точных подвижек на закладных частях по высоте и в плане.

Когда все сборочные единицы были смонтированы и подключены к инженерным сетям (электропитание, газо- и вакуумопроводы, системы охлаждения, управления), мы совместно с изготовителями приступили к юстировке оптики.

Большинство оптических устройств в каналах тракта имеют юстировочные механизмы для точной установки направления излучения и его фокусировки. Задача юстировки передающих каналов состоит в том, чтобы обеспечить проектные параметры излучения и направить его в соответствии с целеуказанием.

Для передающих каналов мощных светолокаторов различают «холодную» и «горячую» юстировки. В холодной юстировке реальные, мощные излучатели заменяют (имитируют) безопасными газовыми лазерами (0,6328 мкм), излучение которых визуально наблюдают измерительными приборами. Практически все необходимые операции по юстировке могут быть выполнены в холодном режиме.

В 1977 г. мы закончили монтаж и юстировку каналов и приступили к всесторонним испытаниям. Работа по юстировке оптики протяженных трактов была для нас совершенно новой областью инженерной геодезии.

В процессе испытаний выяснилось, что многие первоначально задуманные параметры комплекса технически на данном этапе осуществлены быть не могут, и в 1978 г. работы по модернизации были прекращены, а материальная часть переведена в режим исследо-

вательской (опытной) эксплуатации, а проще сказать хранения.

После распада СССР комплекс оказался в другой стране — Казахстане — и прекратил свое существование.

▼ Арзамас-16

В конце 1978 г. в ГОИ нам, как специалистам по юстировке оптических трактов, предложили принять участие в создании установки лазерного термоядерного синтеза (ЛТС).

Установка собиралась в филиале ГОИ. Я назначил руководителем темы Сергея Марковича Иноземцева, который занимался этой темой около двух лет, пока тему «наверху» не закрыли, поняв, что за ЛТС надо взяться всерьез. Вскоре мы узнали, что означает это «всерьез». В 1980 г. С.М. Иноземцев привез из ЛОМО, где он был в командировке, протокол совещания с представителями некоего секретного института об участии ЦНИИГАиК в работах по созданию установки ЛТС.

Речь шла об установке, в которой мощные лазеры одновременно стреляют с разных сторон в одну точку, в которой находится мишень. Ученые надеялись, что при достаточной энергии лазеров в мишени начнется термоядерная реакция, т. е. получится источник сказочной термоядерной энергии. К оружию это не имело никакого отношения, водородная бомба уже была создана и испытана, но тему вели в институте, находившемся в закрытом городе Арзамас-16. Стараниями заказчика был запущен механизм получения допуска ЦНИИГАиК к этим работам, а сотрудников ОСПГ к работе в закрытом городе и НИИ. К концу года допуск был получен, и руководителем темы опять оказался С.М. Иноземцев.

Через некоторое время в ОСПГ приехал научный сотрудник Всесоюзного научно-

исследовательского института экспериментальной физики (ВНИИЭФ) Вадим Алексеевич Гайдаш и рассказал, что установка будет располагаться в сооружении. От нас требовалось организовать контроль равенства оптических путей во всех каналах.

Зимой 1981–1982 гг. мы с Сергеем Марковичем поехали в Арзамас-16.

Перед этим мы с командировочными документами пошли по определенному адресу в Москве, где нас нашли в списках и выдали талоны для покупки билетов на поезд. Затем отправились на вокзал и в определенной кассе купили билеты. Вечером сели в купейный вагон поезда, а утром проснулись в заснеженном лесу, в отдельно стоящем вагоне за колючей проволокой с вышками для охраны. Через некоторое время поехали дальше и приехали на обыкновенный вокзал, но без названия.

Никто нас не встречал: что делать — неизвестно. Из вокзальных дверей на пригорке была видна старинная церковь, к ней вела дорога, по которой мы и направились. С грехом пополам нашли этот ВНИИЭФ и добрались до тех, кто нас вызвал. В конце концов, все, конечно, «устаканилось»: нас поселили в гостиницу и провели в институт. Дальше все пошло, как обычно. Целыми днями знакомства, вопросы и ответы, рассказы о задачах и трудностях, начальстве и коллегах.

Дорогу домой не помню совершенно, помню только, что было много разных впечатлений. Потом, конечно, были еще командировки, но это уже просто работа.



О геодезическом обеспечении лазерного термоядерного

синтеза, которым С.М. Иноземцев занимался более 30-ти лет, он рассказал в своих воспоминаниях — https://ooo-justas.ru/articles/osp-glava-5-vspominaniya_sergeya_inozemtseva/.

▼ Северный Кавказ

В начале 1980-х гг. в ОСПГ начались работы на Северном Кавказе на объекте, состоящем из двух станций. Одна — радиолокатор, включающий пять полноповоротных антенн, работающих в режиме радиоинтерферометра. Наша задача заключалась в определении базы интерферометра, т. е. расстояния между фазовыми центрами всех антенн и фиксации их возможных изменений. Другая — светолокатор. Обе станции предназначались для сбора информации о назначении объекта и траекторных измерений.

В 1975 г. был введен в строй крупнейший на то время оптический телескоп БТА (Большой телескоп азимутальный) АН СССР. Через некоторое время выяснилось, что погрешность наведения трубы по заданным угловым координатам состав-

ляет несколько угловых минут и при наблюдении объектов, видимых глазами наблюдателя, может быть компенсирована вручную, что занимает дорогое время. Ну, а если объект излучает в невидимой области спектра, его наблюдение оказывается невозможным.

Руководство Специальной астрофизической обсерватории АН СССР обратилось в ЦНИИГАиК за помощью, и у нашей лаборатории появился новый объект в Архызском ущелье на горе Пастухова. Руководителем темы я назначил Владимира Яковлевича Вайнберга и попал, что называется, в самую точку.

То, что сделал В.Я. Вайнберг на БТА, я считаю классической работой по применению геодезических методов к исследованию геометрии астрономических инструментов. На протяжении пяти лет он, практически в одиночку, только с помощью персонала службы эксплуатации, выявил и измерил все значимые источники погрешностей наведения. Для тех ошибок, которые могли быть учтены, спроектировал систему коррек-



Определение астрономических координат, 1980-е гг.

ции, содержащую датчики определения нарушения геометрии и алгоритмы программного учета (компенсации) их показаний.

Приведу перечень исследованных источников.

1. Наклон первой оси телескопа.

2. Погрешности вращения первой оси телескопа.

3. Погрешности вращения второй оси телескопа.

4. Изменение угла между осями вращения вследствие температурных деформаций стоек вилки.

5. Весовые смещения вершины главного зеркала при вращении по второй оси.

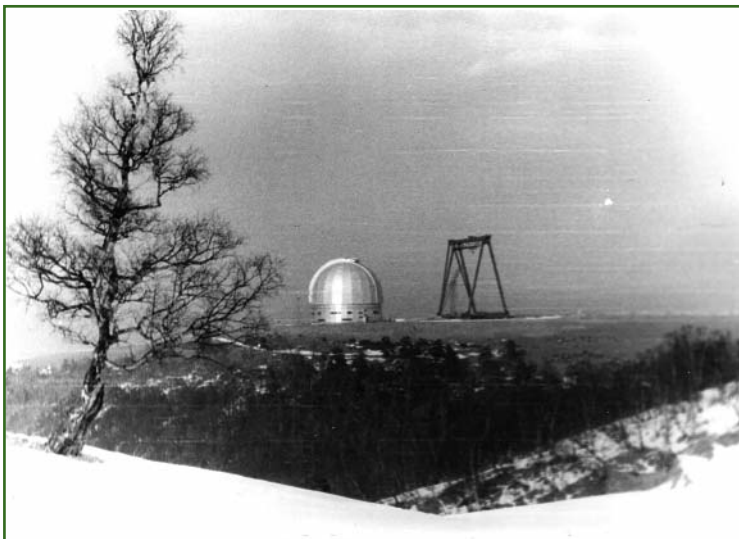
6. Систематические погрешности отсчета горизонтального поворота трубы.

7. Систематические погрешности отсчета вертикального поворота трубы.

Чтобы понять суть и объем проделанной работы, поясню конструкцию телескопа.

Первая (несущая) ось БТА включает «вилку», опорный узел и «хвостовик». Опорный узел имеет сферический пояс, который опирается через масляные подшипники на три фундаментные опоры. Вилка несет два подшипника горизонтальной (второй) оси телескопа. В подшипниках вращаются две полуоси, составляющие одно целое со «средником» трубы. К «среднику» крепится конструкция («труба»), несущая с одной стороны главное зеркало в оправе, а с другой стороны — «стакан» первичного фокуса со светоприемником и вторичным зеркалом для работы по схеме Несмита. В этой схеме светоприемник располагается на второй оси вращения на одной или другой стойках «вилки». В одной из стоек размещены детали тракта спектрографа.

«Хвостовик», составляющий одно целое с опорным узлом,



БТА, 1978 г.



БТА и кран для монтажа зеркала (слева), 2019 г.
(Источник: <https://mwtravel.ru>)

располагается в шахте ниже фундаментных опор и несет ведомую шестерню азимутального привода телескопа с датчиком угла поворота. На «хвостовике» имеется механизм для приведения первой оси в вертикальное положение с точностью долей угловой секунды.

Для проверки вертикальности первой оси БТА был использован опытный образец высокоточного электронного уровня с ценой деления 0,1". Наклон первой оси измерялся ежемесячно на протяжении трех лет. По материалам измерений были отчетливо выявлены сезонные изменения наклона с амплиту-

дой в 1". Вследствие малости величины наклон не исправляли и не учитывали.

Исследования погрешностей вращения первой оси показали, что имеет место возмущение вращения, вызванное эллиптичностью опорной сферы. Разность диаметров сферического пояса оказалась равной 0,12 мм, что соответствует амплитуде осевого вектора $\approx 1''$. Таким образом, хотя суммарный наклон первой оси в худшем случае мог достигать 1,7", погрешность была ничтожно малой по сравнению с другими.

Для контроля погрешностей вращения второй оси на сред-

нике трубы был построен коллиматор Эри. С его помощью получен годограф осевого вектора в диапазоне 90° . Возмущения оказались в пределах $5''$ и учитывались вместе с источником № 4. Этим источником оказалась разность температурных режимов левой и правой стоек «вилки», что приводило к нарушению горизонтальности второй оси. Для учета удлинения «горячей» стойки в ней были смонтированы инварные проволоки с датчиками удлинения.

Главное зеркало телескопа диаметром 6 м крепилось в оправе с помощью так называемых «разгрузок» — устройств, воспринимающих вес стекла зеркала с целью избежать его весовых деформаций при изменении наклона трубы. Для контроля работы разгрузок в пространстве между массивной оправой и стеклом были вмонтированы датчики смещения зеркала относительно оправы. Многократные эксперименты показали, что смещение зеркала носит нелинейный характер и подлежит учету в системе коррекции с помощью специальных датчиков.

Проблему точного отсчета положения «визирной оси» телескопа конструкторы попытались решить чисто механически. Для поворота трубы по азимуту и зенитному расстоянию на вращающихся частях осей были установлены ведомые шестерни с червячным приводом. Передаточное число червячной пары составляло 512. Двигатель червячной шестерни имел датчик поворота с тремя десятичными разрядами. Получалось, что дискретность отсчета угла поворота составляет около $2,5''$, что вполне устроило бы систему наведения, если бы механика не имела погрешностей изготовления, не испытывала влияния температуры и не изнашивалась.

А в реальности, сравнение горизонтального угла поворота, измеренного теодолитом с показаниями штатного датчика системы управления, выявило наличие как случайных, так и систематических ошибок порядка угловых минут. Ошибки обнаружались и в отчетах вертикальных углов поворота трубы. Эталонирование вертикальных углов было выполнено с помощью специальной установки, содержащей эталонную оптическую паспортизованную призму.

Борьба за точность отсчетов «лимбов» телескопа оказалась настолько сложной задачей, что потребовалось конструктивное вмешательство в механику приводных шестерен. Владимир Яковлевич провел необходимые исследования и предложил вмонтировать в ведомые шестерни «реперные точки» в виде датчиков Холла, для которых значения азимута и зенитного расстояния были получены точными геодезическими способами. Величины небольших углов от реперных точек можно было измерять штатными датчиками и добавлять к реперным значениям.

После наладки системы коррекции пробные измерения показали, что погрешность наведения находится в пределах нескольких угловых секунд, что вполне удовлетворяет астрономов.

Наградой В.Я. Вайнбергу послужила не только заслуженная ученая степень, но и тот факт, что его система коррекции работает до сих пор.

Система коррекции БТА есть результат тщательного инструментального исследования источников погрешностей готового изделия. Однако, инструментальный метод для уже эксплуатируемых телескопов не является единственным.

▼ Таджикистан

Астрономические и специальные обсерватории в СССР использовали зеркальные телескопы отечественных оптико-механических объединений. Пользователи этих телескопов тоже обращались в ОСПГ с просьбами об улучшении точности наведения. Причем, если астрономы приходили к такому выводу после начального периода наблюдения, то изготовители специальных телескопов думали о корректировке уже на стадии проектирования и предусматривали возможность юстировки геометрических параметров монтажных станций. Так поступили разработчики серии телескопов станции контроля космического пространства Красногорского механического завода (КМЗ). Тема в нашей лаборатории предусматривала разработку методики контроля сборки, юстировки на заводе, монтажа и привязки изделий на объекте. Ее руководителем стал Анатолий Владимирович Скуратов — один из ветеранов ОСПГ.

Работа по этой теме началась в 1974 г. и с перерывами длилась до 1992 г. Место для станции выбрали в горах Памира в Таджикской ССР. В 1999 г. работы на объекте возобновились, а к 2000 г. А.В. Скуратовым была разработана вся необходимая документация, и его группой выполнены юстировочные и исследовательские работы в цехах КМЗ и на объекте монтажа.

▼ Метод эталонов

В 1970–1980-х гг. в ОСПГ наметилась специализация: лаборатория № 1 проводила работы по радиотелескопам и радиоинтерферометрам, а лаборатория № 2 — на кораблях и телескопах. Помимо БТА, мы занимались специальными спутниковыми телескопами и астрономическими телескопами в Грузии (Абастуманская астрофизическая обсерватория) и в

Крым (Крымская астрофизическая обсерватория). Спутниковые монтировки телескопов (чаще всего трехосные) А.В. Скуратов «доводил до ума» инструментальными методами исследований, а для астрономических зеркальных телескопов мы решили применить метод эталонов. Конкретные применения метода для Абастуманской астрофизической обсерватории и Крымской астрофизической обсерватории разработал М.А. Рубинштейн и совместно с программистами из ЛОМО создал и опробовал систему коррекции погрешностей изготовления и юстировки на основе измерения координат «эталонных» звезд. В этом методе телескоп используется как угломерный инструмент, имеющий визирную ось. В сеансе наблюдений в момент визирования звезды снимаются показания датчиков угловых координат, которые затем сравниваются с эталонными координатами «видимых мест» звезд на этот момент. Полученные разности координат, а также метеоданные вводятся в математическую модель монтировки, полученные уравнения решают по способу наименьших квадратов, и получают искомые параметры системы коррекции.

Повторные сеансы наблюдения эталонных звезд дают возможность оценить случайную часть параметров системы коррекции, которой можно пренебречь, если монтировка хорошо изготовлена и отъюстирована. Тогда система коррекции содержит постоянные функции для коррекции управляющих воздействий.

Периодичность обновления этих функций должна быть определена в процессе эксплуатации.

▼ Чернобыль

26 апреля 1986 г. случилась авария на Чернобыльской АЭС. Взорвавшийся 4-й блок станции

было решено обезопасить, укрыв его железобетонным сооружением. Правила эксплуатации такого укрытия требовали наличия системы контроля стабильности его конструкции.

В ноябре в ГУГК пришла правительственная телеграмма с требованием прислать на стройку специалистов для разработки предложений по такой системе. Директор ЦНИИГАиК приказом командировал в Чернобыль меня. Потом выяснилось, что такого же завлаба отправили из Научно-исследовательского института прикладной геодезии. Мы с ним встретились в Чернобыле и за две недели составили нужные бумаги. Работали в уцелевших помещениях 4-го блока. Приходилось ходить близко к «саркофагу» (укрытию). Жили мы в пионерском лагере в 5 км от станции, там же завтракали и ужинали бесплатно. Кормили «на убой»: ешь, сколько влезет. Обедали в особой столовой на станции — тоже «шведский стол» и тоже бесплатно. Верхнюю одежду и обувь у нас отобрали и выдали строительную робу и ботинки.

Ботинки я привез в Москву и на занятиях по гражданской обороне развлекал слушателей треском счетчика Гейгера, поднося его к ботинкам.

Зрелище города Чернобыль без жителей — жуткое, как в фильмах ужасов. На газонах таблички с цифрами уровня радиации, бездомные кошки и собаки, птиц мало. Такой вот «мирный атом».

▼ «Эмиграция» в МАГП

В конце 1980-х гг. А.Г. Белевитина отправили на пенсию, а заведующим отделом назначили совсем постороннего человека.

Тогда ведущие сотрудники ОСПГ постепенно «эмигрировали» в ОКЭ № 132 МАГП вместе со своими заказами и продолжили работать над ними. В те годы

«перестройки», «гласности», сухого закона и всеобщей бестолковости начальников экспедиций перестали назначать, а стали выбирать. Мы выдвинули Вениамина Григорьевича Львова, которого и выбрали начальником ОКЭ № 132. Главным инженером остался одноклассник С.М. Иноземцев Вячеслав Павлович Андруцкий, так что получалось, что ОСПГ захватил ОКЭ на ее же площадке. В результате все остались довольны, даже руководство ЦНИИГАиК, которое избавилось от строптивного отдела.

Вместе со В.Г. Львовым в МАГП перешли В.Я. Вайнберг, С.И. Грызулин, С.М. Иноземцев, М.А. Рубинштейн, А.С. Ремизов, О.П. Лобаторин, А.В. Скуратов. Часть сотрудников ОСПГ — Ю.Л. Бронштейн, А.А. Варенов и Г.Г. Лебедев — были взяты на работу НПО «Астрофизика».

В ЦНИИГАиК, но уже в другом отделе, остались Ф.В. Широков и А.С. Трофимов.

В ОКЭ № 132 мы с В.Я. Вайнбергом «поменялись» должностями: он стал начальником лаборатории, а я — ведущим инженером.

Мы все продолжали свои темы: С.М. Иноземцев — ЛТС, А.С. Ремизов «строил» корабли, М.А. Рубинштейн исследовал установки К-10 на Северном Кавказе. Сначала он туда ездил со мной на К-12, а потом с А.Р. Артемовым уже на К-10, которая так и продолжала плохо наводиться.

А.В. Скуратов набрал себе новую команду и работал в Нуреке (Таджикская ССР).

В это время, почти случайно, возникла тема «СЭКД» для проекта «Квазар-КВО».

▼ «Квазар-КВО»

Тема «Квазар-КВО», поставленная в Институте прикладной астрономии РАН, заключалась в создании радиоинтерферометра из трех измерительных пунктов (обсерваторий). Основным

инструментом обсерватории являлся сантиметровый радиотелескоп РТФ-32 с главным зеркалом диаметром 32 м.

Опорно-поворотное устройство (ОПУ) проектировал В.С. Поляк (Центральный научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций), радиотехническую часть и зеркальную систему Б.А. Попереченко (ОКБ МЭИ).

Первый радиотелескоп собирались установить в г. Светлом Ленинградской области.

В ОКБ МЭИ возникла идея оснастить радиотелескоп автоматической системой коррекции температурных и ветровых деформаций, поскольку он должен был работать без укрытия. Б.А. Попереченко обратился в Ленинградский институт точной механики и оптики с соответствующим предложением и через полгода получил солидный отчет с проектными предложениями. В ОКБ МЭИ устроили совещание, где авторы предложений поясняли их суть. Пригласили и нас с В.Я. Вайнбергом, как представителей ОКЭ № 132 МАГП, ведущих сборку ОПУ РТФ-32. Предложения были совершенно нелепые, о чем мы и заявили. Тогда Б.А. Попереченко предложил нам заключить договор, чтобы сформулировать свою схему системы коррекции. Владимир Яковлевич был моим начальником и заставил меня взяться за это сомнительное дело.

Система в ТЗ называлась «Система эксплуатационного контроля деформаций» (СЭКД) и предполагала компенсацию возможных деформаций с помощью доворотов «визирной оси» по осям вращения.

Контролю (измерению) подлежали следующие деформации ОПУ и зеркальной системы.

1. Изменение угла в 90° между осями вращения.

2. Изменение угла в 90° между второй и визирной осью.

3. Деформация параболоида при вертикальном повороте.

4. Смещение гиперболоида при вертикальном повороте.

5. Смещение фазового центра приемника вследствие деформаций.

По разработанной мной схеме перечисленные деформации должны были измеряться относительно двух «опорных» силовых конструкций: нижней и верхней. Опорные конструкции считались абсолютно жесткими, а их повороты — точно фиксировались датчиками на осях вращения. Система эксплуатационного контроля деформаций строилась на основе двух модулей: створного и линейного. Створный модуль содержал светящийся квадрат, линзу и координатный приемник, измеряющий две координаты изображения квадрата, построенного линзой. Створный модуль контролировал нахождение центров квадрата, линзы и приемника на одной прямой. Линейный датчик фиксировал изменения длины испытуемой конструкции относительно инварной проволоки с постоянным натяжением.

При таком размещении датчиков все требуемые деформации могли быть измерены. Результаты измерений передавались в электронном виде в бортовой компьютер, программы которого вырабатывали управляющие сигналы на приводы двигателей антенны.

Мы в ОКЭ № 132 взяли на работу конструктора и электронщика и разместили заказы на электронику и программирование. Одновременно начали проверять свои идеи. Система была разработана, а затем изготовлены ее составные части. К этому времени был закончен монтаж радиотелескопа РТФ-32 в г. Светлом, и начата его опытная эксплуатация без СЭКД. Довольно быстро выяснилось, что телескоп получился удачный, весовые и температурные де-



Радиотелескоп РТФ-32 в г. Светлом, 2009 г.

формации минимальны, и в сложной и дорогой СЭКД нет необходимости. Про СЭКД дружно забыли.

Все три телескопа проекта «Квазар-КВО» успешно работают до сих пор, а судьба блоков СЭКД мне не известна. О работе над СЭКД я не жалею, поскольку получил ценный опыт разработчика в СССР, где был всеобщий дефицит, но по знакомству почти все можно было «достать за бутылку». Сейчас я понимаю, что СЭКД на том уровне техники не могла работать успешно, была сложна в наладке и не успевала за прогрессом в электронике.

А прогресс был удивительным, особенно для нас, для тех, кто в институте крутил ручку арифмометра, и для кого хорошая логарифмическая линейка была большой удачей. Работая в ОКЭ № 132, я купил первый «научный» калькулятор МК-85 с программированием. Но освоить его так и не успел: в экспедиции появились первые настольные персональные компьютеры. Вначале с MS DOS, затем с Norton Commander, а потом и с Windows. С тех пор только успевай покупать все новые и новые компьютеры и программы к ним.

Окончание следует