

Создание Большого Азимутального Телескопа БТА

Студент: Гугленко А.А.
Группа: №3200

Введение

25 марта 1960 г. Совет Министров СССР было принято постановление о создании телескопа-рефлектора, имеющего главное зеркало диаметром 6 м.

Основные работы по созданию комплекса телескопа были поручены Ленинградскому оптико-механическому объединению, Лыткаринскому заводу оптического стекла, Государственному оптическому институту им. С.Н.Вавилова, Горьковскому машиностроительному заводу, Кировскому заводу, а также ряду предприятий других министерств.

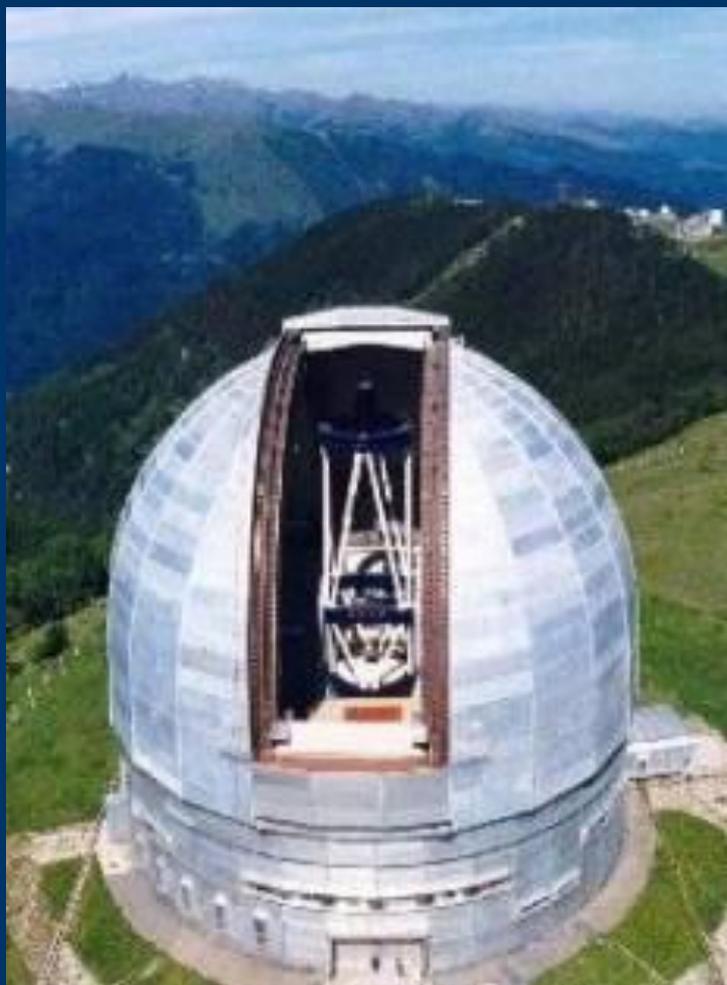
Проектирование башни телескопа осуществлялось Ленинградским отделением ГИПРОНИИ АН СССР.

Главным конструктором телескопа был назначен д-р тех. наук Б.К. Иоаннисиани (ЛОМО).

Одновременно АН СССР была проведена специальная исследовательская работа по выбору места установки телескопа. При этом в основном обращалось внимание на астроклимат местности, ее географическое расположение с учетом возможности транспортировки крупногабаритных деталей и, в том числе, зеркала. Результатом этих работ явился выбор места рядом с горой Пастухова в районе станции Зеленчукской Карачаево-Черкесской автономной области на высоте 2100 м над уровнем моря.

Для шестиметрового телескопа был выбран принцип движения его оптической оси по азимутальным координатам. Принятый принцип альтазимутального оптического телескопа и определил его дальнейшее наименование - Большой телескоп азимутальный - БТА.

Телескоп установлен в башне высотой 53 м с диаметром купола 45,2 м.



Некоторые характеристики телескопа БТА

Световой диаметр главного зеркала	6000мм
Фокусное расстояние системы первичного фокуса без корректора	24000 мм
Фокусное расстояние системы неподвижного фокуса с линзовой удлиняющей системой	349400 мм
Точность вращения вертикальной оси телескопа	около 2"
Точность автоматической установки по заданным координатам	± 10"
Точность, ведения телескопа за объектом	0,2 диаметра изображения звезды
Масса главного зеркала	42 т
Масса подвижной части телескопа	около 650 т
Общая масса телескопа	около 850 т
Высота телескопа при вертикальном положении трубы	42 м

Описание конструкции телескопа

Телескоп состоит из двух основных механических узлов: монтировки и трубы (рис. 4). Монтировка, в свою очередь, состоит из опорно-поворотной части и стоек с подшипниками горизонтальной оси. Впервые примененные для двух осей специальные гидростатические подшипники, а также уникальные (диаметром 5,6 м) высокоточные червячные пары обеспечивают перемещение подвижной части телескопа массой 650 т с точностью до десятых долей угловой секунды.

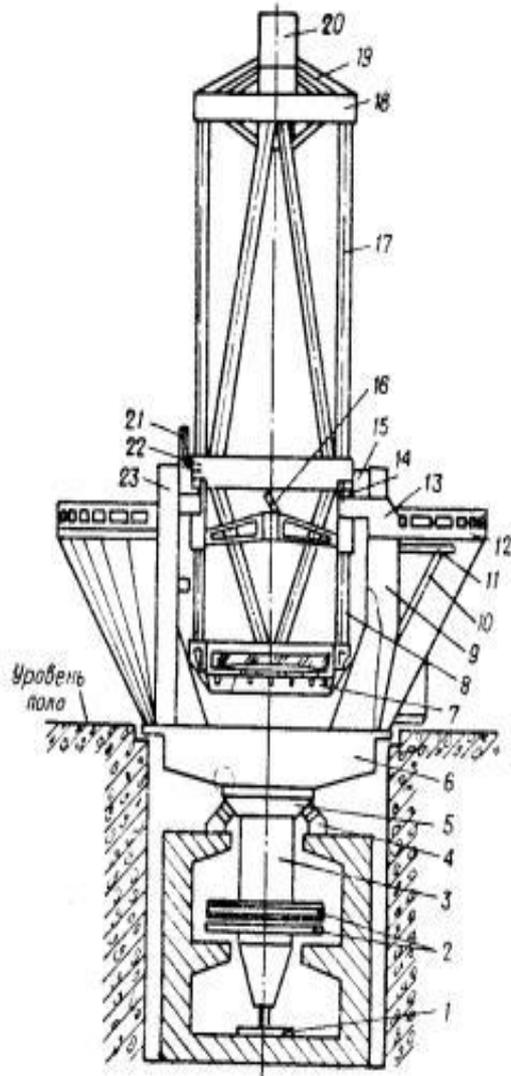


Рис. 4. Схема конструкции 6-метрового телескопа:

1 — радиальный подшипник; 2 — блок колес; 3 — ось; 4 — опора жидкостного трения; 5 — сферическое кольцо; 6 — платформа; 7 — главное зеркало; 8 — нижнее кольцо; 9 — нижняя штанга; 10 — стойка балкона; 11 — кронштейн; 12 — рабочие балконы; 13 — консольные балки; 14 — гидростатические подушки; 15 — кабельный барабан; 16 — зеркало неподвижного фокуса; 17 — верхняя штанга; 18 — верхнее кольцо; 19 — стакан первичного фокуса; 20 — кабина наблюдателя; 21 — червячная шестерня; 22 — средник; 23 — лифт

Монтировка

Опорно-поворотная часть монтируется на центральном железобетонном фундаменте в башне и представляет собой жесткую сварную платформу 6 с вертикальной осью. Верхняя часть платформы выполнена в виде горизонтального вращающегося круга диаметром 12м, который образует центральную часть пола подпольного этажа башни. К нижней части платформы крепятся сферическое кольцо 5, выполняющее роль верхнего радиально-упорного самоустанавливающегося подшипника, и полая вертикальная ось 3 длиной 9м с нижним радиальным подшипниковым узлом 1, определяющим и фиксирующим положение оси в пространстве.

Подшипниковый узел снабжен поперечными подвижками, необходимыми для вертикализации оси, осуществляемой относительно центра сферического кольца.

Сферическое кольцо представляет собой стальную отливку диаметром 4600мм. Сферическая опорная поверхность ($R=3300\text{мм}$) была шлифована на станке для обработки главного зеркала в период его обкатки. Покоится сферическое кольцо на шести (трех жестких и трех подпружиненных) опорах жидкостного трения 4.



Трение при перемещении имеет жидкостной характер. Масса как бы плавает на масле. Идеальные условия работы опоры возникают тогда, когда пленка имеет равную толщину. Это достигается регулировкой поступления масла во всех четырех пазах подушки.

Между верхним и нижним подшипниками на вертикальной оси установлен блок колес 2 привода вращения



Блок состоит из прецизионного червячного и цилиндрического косозубого колес, которые жестко связаны с осью. Червячное колесо предназначено для точного слежения телескопа за объектом, а цилиндрическое - для наведения на объект. Червяк червячного колеса и малая приводная шестерня цилиндрического колеса кинематически связаны между собой и вращают одновременно, с одинаковой скоростью и в одну и ту же сторону, вертикальную ось опорно-поворотной части (ОПЧ). Таким образом, вращение как бы передается одновременно по двум кинематическим ветвям.

Труба телескопа

Труба телескопа состоит из следующих основных частей:

каркаса (несущей конструкции);

оправы главного зеркала с механизмами разгрузки;

стакана первичного фокуса с кабиной наблюдателя;

плоского диагонального зеркала системы неподвижного фокуса.

Каркас стержневой конструкции выполнен по схеме равных прогибов, обеспечивающей высокую точность центрировки оптических деталей при относительно малой абсолютной жесткости несущих элементов. Каркас состоит из нижнего кольца 8, «средника» 22, верхнего кольца 18, нижних 9 и верхних 17 соединительных трубчатых штанг (стержней) .

Кольца и «средник», выполненные в виде стальных сварных коробчатых конструкций, расчленены для удобства транспортировки на секции, которые при монтаже соединяются между собой болтами.



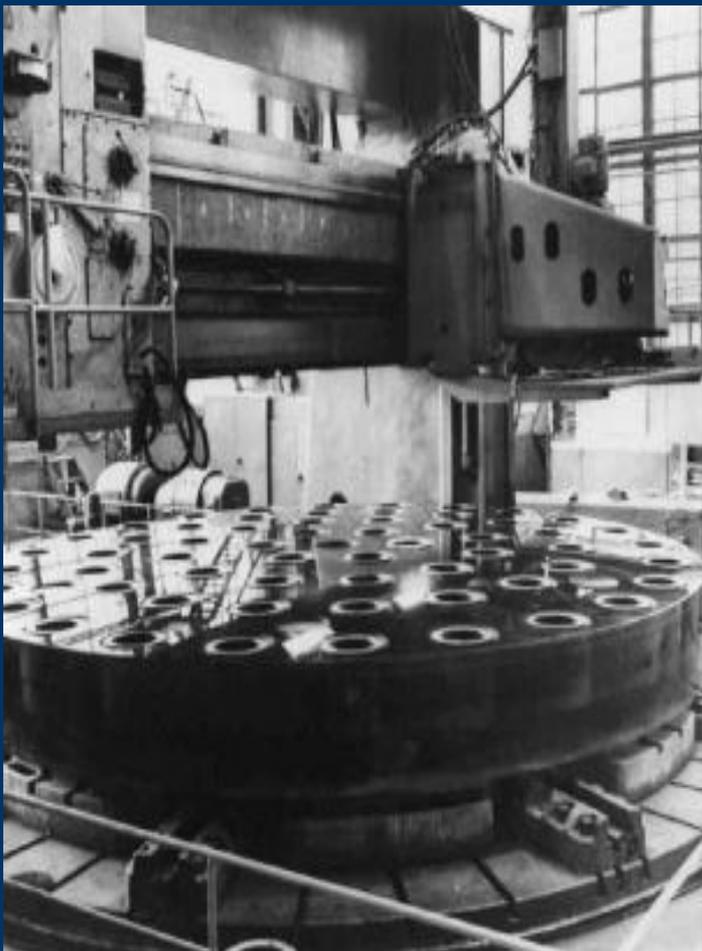
Главное зеркало и его разгрузка

Главное зеркало является основной деталью, определяющей оптические качества телескопа. Помимо преодоления очевидных трудностей, возникающих при создании крупной стеклянной заготовки зеркала, основная конструкторская задача заключалась в необходимости обеспечения высокой стабильности формы отражающей поверхности зеркала, как в процессе его обработки, так и в весьма сложных условиях его эксплуатации в обсерватории.

Известны два основных источника деформации зеркала: деформации вследствие температурных градиентов в зеркале, возникающих под влиянием изменения температуры окружающей среды, и деформации от собственного веса зеркала

По ряду соображений была принята конструкция сплошного, равнотолщинного (в виде мениска) зеркала с наружным диаметром 6050 мм и толщиной 650 мм.

Разгрузка зеркала осуществлена с помощью 60 оригинальных опор рычажного типа, расположенных по четырем окружностям, что позволило существенно уменьшить потери на трение и увеличить чувствительность разгрузки

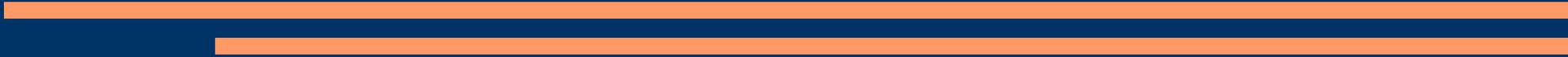


Система управления БТА

Применение альтазимутальной монтировки выдвинуло проблему управления движением телескопа одновременно по двум координатам с исключительно высокой точностью и с переменными скоростями. Эта проблема была решена с помощью специально разработанной и изготовленной на ЛОМО электронно-цифровой управляющей машины, системы фототелевизионного поиска и гидирования, а также системы компенсации вращения поля.



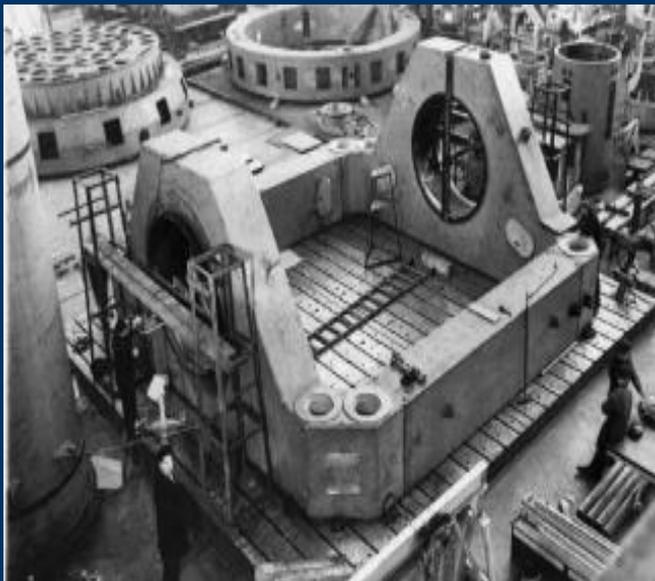
Система управления телескопом должна обеспечивать наведение телескопа на объект наблюдения, ведение телескопа (слежение) за объектом наблюдения, коррекцию положения телескопа и ряд операций, необходимых для функционирования такого сложного прибора, каким является оптический телескоп. В идеале система управления должна обеспечивать абсолютную неподвижность изображения объекта наблюдения в поле зрения инструмента или его движение по заданному пути с требуемой скоростью, если это необходимо для программы наблюдений.



Сборка телескопа в цехе ЛОМО

Для сборки телескопа в ЛОМО в 1961 - 1964 гг. был построен корпус высотой более 50м. В 1965 г. в корпусе были установлены два мостовых крана грузоподъемностью 150 и 30т, проведена сборка специальных напольных монтажных плит для узлов телескопа, изготовлен специальный фундамент для сборки телескопа. С начала 1966 г. началась сборка узлов и самого телескопа, которая была завершена в сентябре 1967 г.

Сборка велась по специальному проекту организации работ под руководством Б.К. Иоаннисиани и В.Б.Лабинского.



Изготовление главного зеркала БТА

Организация работ

Постановлением Правительства от 25 марта 1960 г. Лыткаринский завод оптического стекла был утвержден головным исполнителем по разработке технологического процесса на отливку из стекла заготовки зеркала диаметром 6 м и по изготовлению заготовки зеркала.

Предстояло отлить заготовку стекла массой 70 т, отжечь ее и произвести сложную обработку всех поверхностей с изготовлением 60 посадочных глухих отверстий на тыльной стороне, центрального отверстия и др.

Спустя ровно три года с момента выхода Постановления Правительства на запроектированных площадях был создан опытно-производственный цех. В задачу цеха входило монтаж и отладка оборудования, отработка промышленного техпроцесса и изготовление заготовки зеркала.

Выбор материала главного зеркала

Заготовка главного зеркала БТА диаметром 6 м, согласно техническому заданию, должна быть изготовлена из однородного малопузырного стекла, обладающего коэффициентом линейного расширения, равным $(30 \pm 3) \cdot 10^{-7}/\text{град}$. при температуре $+10^\circ\text{C}$. Однородность стекла должна обеспечить получение заготовки, обладающей во всех направлениях одинаковыми свойствами, в частности, отклонения по коэффициенту расширения в пределах $\pm 1 \cdot 10^{-7}/\text{град}$.

В результате проведенных исследований специалистами ЛЗОС и ГОИ имени С.И.Вавилова определена область термостойких некристаллизующихся составов алюмоборосиликатной системы и создана целая серия стекол с коэффициентом расширения $a_{20-120^\circ\text{C}} = (28,39) \cdot 10^{-7}/\text{град}$. Из одного из стекол этой серии - стекла 316 - изготовлено главное зеркало телескопа. По кристаллизационной способности разработанное стекло значительно лучше известных промышленных термостойких стекол.

Метод	Получаемые характеристики	Достоинства	Недостатки
Метод Гартмана: без корректора с корректором	Карта уровней отклонений поверхности от идеальной, радиальные сечения отклонений формы поверхности от идеальной, распределение энергии в круговых зонах пятна рассеяния	Метод количественный, универсален, прост в получении исходной информации, исключает влияние нестабильности среды путем осреднения	Сравнительная трудоемкость обработки гартманограмм в длительность получения измеряемых характеристик
Интерференционный метод (ИТ-172)	Карта поверхности зеркала и радиальные сечения отклонений формы поверхности от идеальной	Наглядность первичной информации, высокая чувствительность метода	Необходимость корректора, высокая чувствительность к вибрациям, сложность воспроизведения интерференционных картин, трудность расшифровки первичной информации
Теневой: метод Фуко метод ножа и щели	Качественная картина деформации поверхности	Простота получения качественной картины, необходимой при ручной доводке поверхности зеркала. Возможность количественной оценки отступлений поверхности от идеальной	Необходимость корректора и равномерной засветки зеркала, низкая точность и трудность получения количественной информации
Фотометрический: метод изофотометрической фото регистрации	Распределение освещенности и энергии в пятне рассеяния	Сравнительная простота получения информации в результате прямого измерения, наглядность и информативность полученной картины, высокая точность измерения	Необходимость корректора, чувствительность к неравномерности засветки и отражению света от зеркала
Фотоэлектрический метод	Относительное распределение энергии в круговых зонах пятна рассеяния	Простота получения информации в результате прямого измерения	Необходимость корректора, чувствительность к неравномерности засветки и отражению света от зеркала невысокая точность

Площадь зеркала составляла 28 квадратных метров, допустимое отступление от заданной кривизны – не более 0,01 микрона. Трудности усугублялись тем, что на поверхности зеркала имелись дефекты стекла, вызывавшие в процессе обработки множество неприятных явлений. Для его алюминирования была в 1963-1968 гг. была изготовлена специальная вакуумная установка. К моменту, когда зеркало было принято межведомственной комиссией, близ станции Зеленчукской на отроге горе Пастухова на высоте 2110 м над уровнем моря уже высилась башня для размещения телескопа и полным ходом велась сборка огромного прибора. Здесь была основана Специальная астрофизическая обсерватория (САО). Башня была также построена с учетом ряда особых условий – соблюдения строжайшего термостатического режима, создания оптимальной с точки зрения аэродинамики формы здания и защиты подкупольного пространства от прямых солнечных лучей и атмосферных осадков. Высота сооружения – 53 метра, диаметр – 44 метра, ширина открывающейся щели 11 метров. Строительство началось в 1967 году, а четыре годами позже основные работы уже были завершены. Башня была принята в эксплуатацию Государственной комиссией 25 января 1972 года, но строительные, монтажные и отделочные работы продолжались еще в течение 2 лет. Сборка телескопа тоже заняла 4 года (1970-1974).

7 мая 1968 г. заводские испытания телескопа в сборочном корпусе ЛОМО были успешно закончены. При испытаниях на место главного зеркала и оправы с механизмами разгрузки был установлен железобетонный имитатор, уравнивающий трубу.

После демонтажа телескопа и приборов системы управления летом 1968г. все крупногабаритные узлы и детали телескопа были доставлены в обсерваторию

Площадь зеркала составляла 28 квадратных метров, допустимое отступление от заданной кривизны – не более 0,01 микрона. Трудности усугублялись тем, что на поверхности зеркала имелись дефекты стекла, вызывавшие в процессе обработки множество неприятных явлений. Для его алюминирования была в 1963-1968 гг. была изготовлена специальная вакуумная установка. К моменту, когда зеркало было принято межведомственной комиссией, близ станции Зеленчукской на отроге горе Пастухова на высоте 2110 м над уровнем моря уже высилась башня для размещения телескопа и полным ходом велась сборка огромного прибора. Здесь была основана Специальная астрофизическая обсерватория (САО). Башня была также построена с учетом ряда особых условий – соблюдения строжайшего термостатического режима, создания оптимальной с точки зрения аэродинамики формы здания и защиты подкупольного пространства от прямых солнечных лучей и атмосферных осадков. Высота сооружения – 53 метра, диаметр – 44 метра, ширина открывающейся щели 11 метров. Строительство началось в 1967 году, а четыре годами позже основные работы уже были завершены. Башня была принята в эксплуатацию Государственной комиссией 25 января 1972 года, но строительные, монтажные и отделочные работы продолжались еще в течение 2 лет. Сборка телескопа тоже заняла 4 года (1970-1974).

7 мая 1968 г. заводские испытания телескопа в сборочном корпусе ЛОМО были успешно закончены. При испытаниях на место главного зеркала и оправы с механизмами разгрузки был установлен железобетонный имитатор, уравнивающий трубу.

После демонтажа телескопа и приборов системы управления летом 1968г. все крупногабаритные узлы и детали телескопа были доставлены в обсерваторию

Транспортировка телескопа в обсерваторию

3 июня 1968 г. после демонтажа телескопа началась погрузка первой партии крупногабаритных деталей, специально подготовленных для транспортировки в обсерваторию. Обязанности генерального перевозчика деталей узлов телескопа, были возложены на Главмосавтотранс.

Первым рейсом в период с 3 июня по 6 июля 1968 г. была осуществлена доставка стоек телескопа, червячных колес, имитатора главного зеркала.



Летом 1974 года главное зеркало отправилось в путь продолжительностью почти 2 месяца. Сначала на баржах по воде, потом по суше, в том числе по специально построенной горной дороге. Огромный автопоезд двигался со скоростью 2-4 км/ч; смещение 42-тонного зеркала хотя бы на полмиллиметра вызывало оглушительный звон – такое случилось лишь раз на протяжении всего пути. В 3 ноября телескоп был передан в пробную эксплуатацию, а год спустя, 30 декабря 1975 года, БТА был принят Государственной межведомственной комиссией с оценкой «отлично». Таким образом, для изготовления гигантского телескопа потребовалось 15 лет. Это сравнительно немного – США создавали свой прибор с 5-метровым зеркалом 22 года.



БТА являлся новейшей для своего времени астрономической техникой, содержащей в себе много поистине революционных решений. С тех пор монтаж всех больших телескопов мира осуществляется по блестяще оправдавшей себя альт-азимутальной схеме. Над его созданием трудились специалисты самого высокого класса, что обеспечило высокое качество гигантского прибора. Сегодня существуют новые, более эффективные астрономические системы с более крупными, в том числе сегментными, зеркалами. Но по своим параметрам наш телескоп до сих пор считается одним из лучших в мире, поэтому он по сей день пользуется повышенным спросом у отечественных и зарубежных ученых. За прошедшие годы он проходил неоднократную модернизацию, совершенствовалась прежде всего система управления. Сегодня осуществлять наблюдения можно при помощи оптоволоконного соединения прямо из расположенного в долине городка астрономов. В конце ноября 2002 года в Зеленчуке состоялось совещание "Большие телескопы России", на котором обсуждались вопросы дальнейшего совершенствования БТА. История детища ЛОМО продолжается...
