

КАК Я СТРОИЛ «ДОБСОН»

Алексей Пецык



Введение

Написать данную статью меня побудил тот факт, что в Интернете я не обнаружил большого количества подробных описаний самодельных конструкций на русском языке, а англоязычные сайты мне, увы!, недоступны. А в той информации, что я нашел, давались готовые решения, без объяснения, почему сделано именно так, а не иначе. Поэтому все вопросы, возникающие в процессе работы мне приходилось решать, обращаясь либо к книгам Навашина и Сикорука, либо консультируясь на форуме Звездочета. А вопросов возникало очень много. И здесь я постараюсь дать не только готовое описание своего телескопа, но и по возможности поясню, почему я сделал именно так, а не иначе. А также укажу на свои ошибки в процессе работ и на методы их устранения. Но начну по-порядку...

Выбор зеркала

В апреле 2003 года сбылась моя давняя мечта – я приобрел телескоп и это был новосибирский рефрактор ТАЛ-100RT. Отнаблюдав с ним два сезона я, что называется, заболел очень распространенной болезнью астронома-любителя – апертурной лихорадкой – хотелось видеть небесные объекты покрупнее и поярче. По соображениям финансового характера я не смог сразу приобрести готовый телескоп устраивающей меня апертуры или заказать его у частного производителя, поэтому решил сделать его самостоятельно, приобретя только зеркала. В этот момент возник первый вопрос, ответ на который для меня был тогда совсем не очевиден – какое относительное отверстие выбрать? В поисках ответа я прочитал много информации в Интернете, обращался к другим любителям астрономии за советом, в результате чего было принято решение сделать телескоп с относительным отверстием в районе $1/5,5$, т.к. оптимально для визуала является $1/6$, но тут уже вступают в силу соображения габаритов конструкции. Также следует отметить, что не желательно делать относительное отверстие визуального телескопа менее $1/4,5$ или даже $1/5$ ввиду того, что в данном случае будет иметь значительную величину aberrация «кома» и существенно возрастут трудности с юстировкой телескопа. Однако, если строится телескоп фотографический, то увеличение относительного отверстия позволит сократить выдержку. Например, телескоп с относительным отверстием $1/4$ для одинаковой проработки деталей потребует выдержку в 1,56 раза меньшую, чем телескоп с отверстием $1/5$ (эта величина рассчитывается как отношение квадратов относительных отверстий).

В итоге, в фирме «Ли Оптика» мною был размещен заказ на изготовление параболического главного зеркала диаметром 254 мм и диагонального, с размером малой оси 63мм. Такие размеры диагонального зеркала выбраны с учетом возможного использования двухдюймовых окуляров для получения большого невиньетированного поля зрения. Вообще размер диагонального зеркала можно приблизительно вычислить по следующей формуле: Если D –

диаметр главного зеркала, d – поперечник поля зрения (линейный), f – фокусное расстояние главного зеркала, то длина малой оси эллиптического диагонального зеркала b найдется из следующей приближенной формулы:

$$b = d + r \cdot (D - d) / f$$

где r есть расстояние центра диагонального зеркала от точки фокуса главного зеркала, (или это разность между фокусным расстоянием главного зеркала и расстоянием между центрами зеркал).

Линейный поперечник поля зрения d можно вычислить следующим образом:

$$d = W \cdot f / 206265$$

где W - угол поля зрения, секунды дуги; f - фокусное расстояние главного зеркала, мм; 206265 - число секунд в радиане.

Соответственно вычислив невиньетированное поле зрения телескопа описанным ниже способом, либо просто подставив его желаемый угловой размер, можно прикинуть и линейный его поперечник. В моем случае получилось: $d = 36,08$ мм, размер малой оси диагоналки: $36,08 + 205 \cdot (250 - 36,08) / 1420 = 66,96$ мм. В итоге мне сделали диагоналку с размером малой оси 67 мм, мотивируя это тем, что на диагонали 63 мм заказ был отменен (их делают сразу по 6 шт.) и делать партию ради одного зеркала фирме не выгодно. Но, в общем, я и не расстроился, так как реальный размер практически совпал с вычисленным.

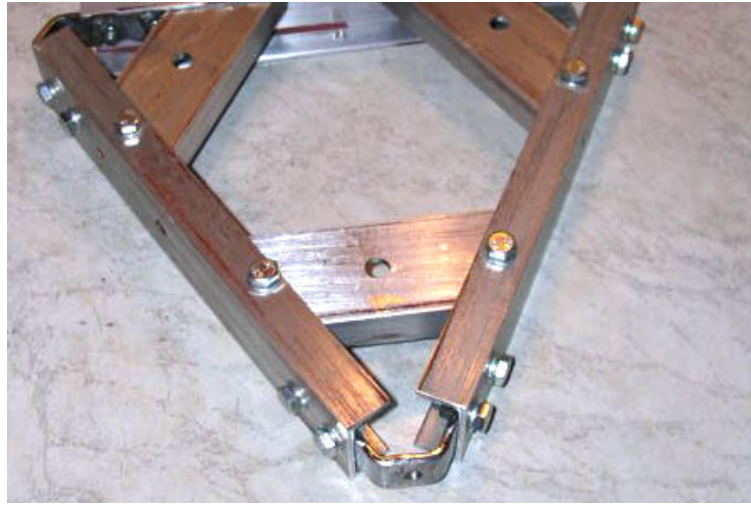
Труба телескопа

Далее я столкнулся с проблемой изготовления трубы телескопа. Мне хотелось построить телескоп с целой трубой, а не с трубой в виде фермы, потому как я не планировал совершать с телескопом путешествия и считаю, что закрытая труба лучше предохраняет зеркало от загрязнения и посторонней засветки. Возня с болванкой, эпоксидной смолой и ватманом, по причине полного отсутствия опыта, меня совсем не привлекала и я решил заказать готовую трубу на заводе «Электроизолит» в г. Хотьково Московской области. Целиковую трубу нужной мне длины там изготовить не смогли, поэтому пришлось заказывать две трубы по 850 мм длиной. Тут возник второй вопрос, – какой внутренний диаметр трубы нужен? С прояснением его помогла книга Навашина М.С. «Телескоп астронома-любителя». Там приведена простая формула, по которой можно посчитать полезное невиньетированное поле зрения телескопа, которое может дать его труба и которое считается как разность внутреннего диаметра трубы и зеркала деленная на длину трубы от зеркала до передней ее кромки. Результат представляет собой поле телескопа в долях радиана (1 радиан приблизительно равен 57,3 градуса). Я решил сделать внутренний диаметр 290 мм, невиньетированное поле зрения получилось 1,64 градуса ($(290 - 250) / 1400 = 0,0286$ рад. $\cdot 57,3 = 1,637$ град.) что, в общем, для визуала очень не плохо. Толщину стенки для обеспечения необходимой жесткости, я решил сделать 5 мм.

Оправа главного зеркала

Заказав трубу я приступил к изготовлению оправы главного зеркала. Изначально я хотел сделать её так, как описано у Сикорука, т.е. взять два стальных диска, из одного сделать собственно основание для крепления зеркала, из второго вырезать трехлучевую звезду для крепления основания зеркала к трубе. Потом увидел на форуме «Звездочета» конструкцию оправы, сделанной Михаилом Седых, из алюминиевого уголка в виде двух треугольников. Идея мне понравилась и я решил сделать что-то подобное. В качестве материала для основания оправы я взял п-образный швеллер из дюралюминия Д16Т сечением 40х18х2 мм. Выбор данного материала не был обусловлен ничем особенным, просто он был обнаружен на даче в гараже. Т.к. Д16Т плохо гнется, углы были соединены с помощью стальной полосы сечением 20х4 мм, выгнутой в виде усеченного конуса с углами при основании в 60 градусов, в верхней части которого просверлено отверстие диаметром 6 мм для крепления к трубе телескопа. Для крепления юстировочных винтов к основанию привинчены 3 отрезка этого же швеллера. Я решил не делать стопорные винты, а использовать мощные отжимные пружины (хорошо подошли пружины от клапана двигателя ВАЗ 2108).

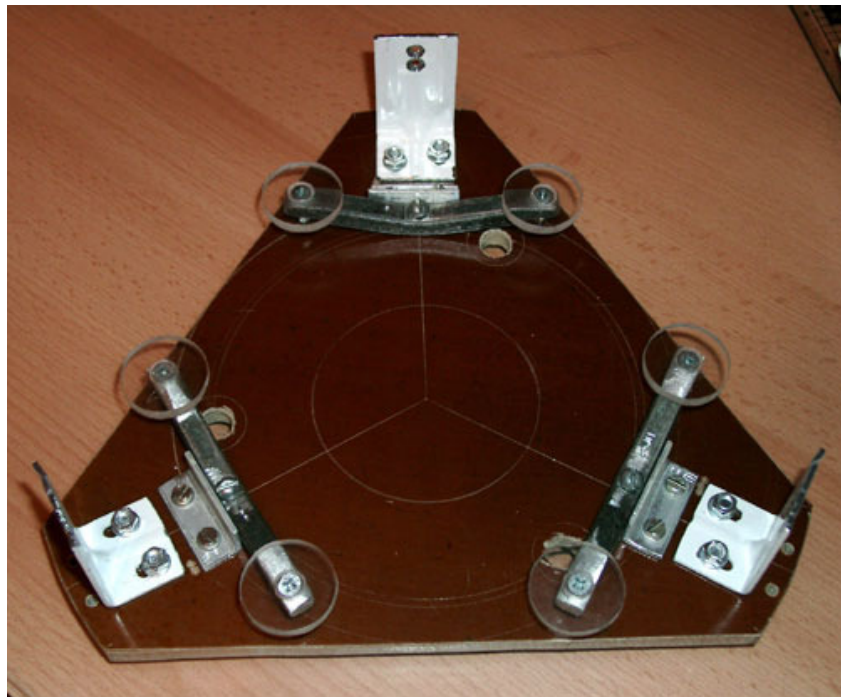




Основа будущей оправы

Разгрузка зеркала сделана по схеме 6 точек – зеркало покоится на 3-х коромыслах, сделанных из квадратного стального стержня сечением 10х10мм. Центры коромысел расположены на окружности радиусом 79мм, длина их (от «точки» до «точки») должна составлять 91мм, однако, с учетом необходимости крепления «пятак» их длина сделана на 10 мм больше. Таким образом «точки» разгрузки располагаются на окружности, диаметром 182мм (или 71,6% от диаметра главного зеркала), для которой соблюдается условие равенства веса частей зеркала внутри и вне этой окружности (для реального профиля зеркала). Верхушки коромысел срезаны под горизонталь и к ним привинчены диски из оргстекла толщиной 5мм и диаметром 30мм. Край верхушек коромысел немного скруглены для того, чтобы пятки из оргстекла могли немного качаться, прижимаясь всей площадью к основанию зеркала. От поворота коромысла предохраняют отрезки алюминиевого уголка 15х15х3мм, длиной 40мм.

Вертикальные упоры, предохраняющие зеркало от бокового смещения, сделаны из кронштейнов от горизонтальных жалюзи. Они удобнее, чем просто выгнутые из стальной полосы уголки, т.к. имеют в месте сгиба ребра жесткости, что придает им дополнительную прочность. Сверху с ним привинчены отрезки алюминиевых уголков 25х25х2мм, одна из сторон которых обрезана примерно наполовину ширины и скруглена, и которые не дают зеркалу выпасть из оправы при переворачивании трубы.



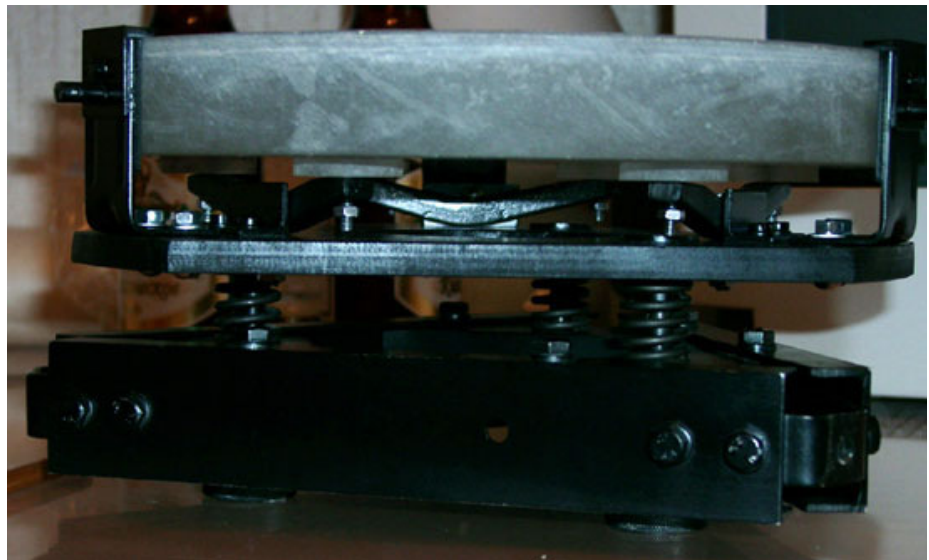
Общий вид оправы

Все металлические части, соприкасающиеся с зеркалом, оклеены с помощью клея «Момент» кусками черной кожи от голенища старого сапога. Все элементы разгрузки и крепления зеркала установлены на треугольной пластине, вырезанной из стеклотекстолита толщиной 10 мм. В центре её вырезано отверстие диаметром 80 мм для установки вентилятора от блока питания компьютера. Данный треугольник покоится на трех отжимных пружинах, через которые проходят юстировочные винты, которые вкручиваются в специально выточенные гайки, вставленные в сквозные отверстия в текстолитовой пластине и имеющие сверху широкую шляпку, для предотвращения «вытаскивания» их пружиной вниз.

Также мною была сделана разгрузка зеркала по периметру, с помощью тонкого стального тросика и двух натяжных пружин. Для его крепления к боковым упорам были привинчены металлические цилиндрики диаметром 6мм и высотой 10 мм, сделанные из обычного гвоздя. В них было просверлено по два отверстия – одно соосно, с нарезанной резьбой М3, для крепления к вертикальному упору, другое отверстие просверлено по диаметру и через которое проходит сам трос. Натяжение тросика регулируется путем вставки между пружиной и петлей тросика звеньев от тонкой цепочки. В центр треугольника я привинтил вентилятор от компьютера размером 80х80мм, для его включения укрепил на основании оправы маленький выключатель (на фото их еще нет).

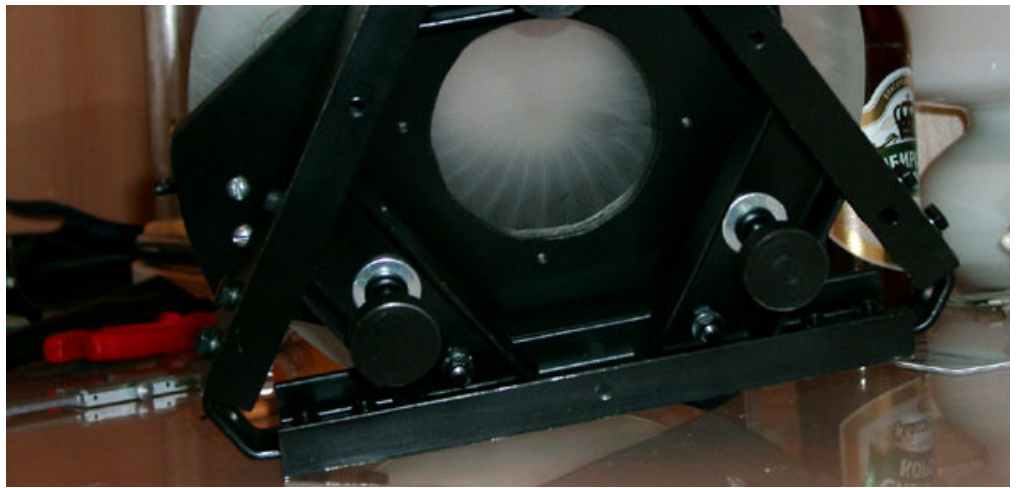


Общий вид оправы после сборки

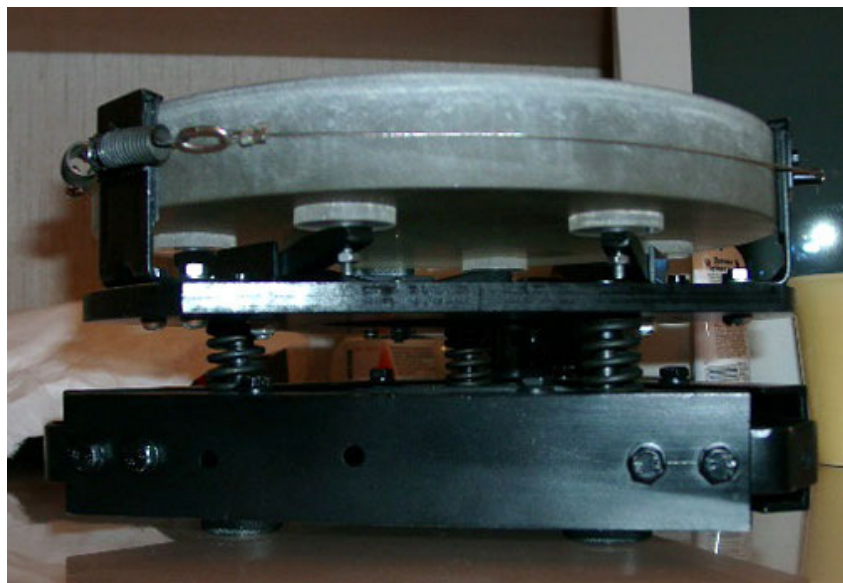


Юстировка осуществляется винтами, пропущенными через мощные отжимные пружины

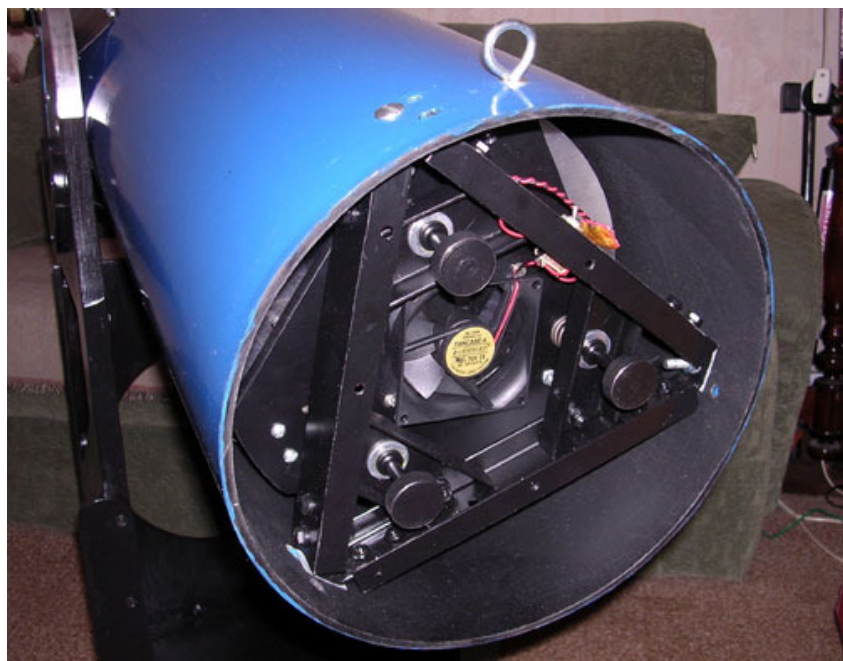




Угловой сдвиг оправы относительно основания получился потому, что точки крепления разгрузочных коромысел, приходились точно на места выхода юстировочных винтов и делать переходник для сопряжения не хотелось.



Разгрузка по периметру сделана с помощью тонкого тросика



Оправа главного зеркала уже установленная в трубу телескопа.

Оправа вторичного зеркала

После я занялся изготовлением оправы вторичного зеркала. Из листа оцинкованной стали, толщиной 0,8мм я вырезал «болгаркой» четыре трапециевидных растяжки шириной у оснований 50мм и 20мм и длиной 140мм. Данная длина была избыточна и сделана для возможности подгонки крепления «по месту». Вырезать растяжки болгаркой конечно дольше и несравненно более шумно, чем ножницами по металлу, но в результате мы получаем деталь с отсутствием деформаций, которые были бы неизбежны при разрезании металла ножницами. Поэтому пришлось примириться с этими «маленькими» неудобствами. На причинах выбора такой формы, толщины и количества растяжек следует остановиться особо.

Как известно четыре прямых растяжки дадут при наблюдении ярких звезд четыре луча вокруг них, три же растяжки дадут уже шесть лучей (см. [иллюстрацию](#)). Можно также изготовить три растяжки полукруглой формы (в виде дуги окружности 60 градусов или даже меньше, причем нужно иметь ввиду, что данные углы относятся только к той части каждой дуги, которая мешает прохождению света, а не ко всей длине дуги вплоть до того места, где она соприкасается с трубой телескопа), или даже одну – в виде окружности диаметром равным почти половине внутреннего диаметра трубы (с учетом диаметра центрального стакана). Однако это, хотя и не вызовет появление лучей вокруг звезд, но будет сопровождаться «перетеканием» энергии из центрального кружка Эри в первое и последующие дифракционные кольца, что вызовет некоторое размытие дифракционной картины. Оно будет выражаться в том, что возникнут утолщения в дифракционных кольцах, в точности равные дуге (в градусах) растяжки. Так, например, если каждая из трех растяжек, в проекции на главное зеркало, охватывает по 60 градусов, то и утолщения в кольцах охватывают по 60 градусов, что может ухудшить контраст. Итоговые выводы, касательно криволинейных растяжек и найденные на форуме «Звездочета», звучат следующим образом:

1) Криволинейные растяжки действительно хороший способ уйти от "хвостов". Будучи правильно расположены, они не ухудшают разрешение – центральная часть дифракционной картины практически идентична той, что была бы при таком же числе прямых растяжек. С другой стороны они "размазывают" энергию "хвостов" по значительной площади в районе 10-40-х колец. Привычная кольцевая структура сохраняется, но в виде цепочки пятен. В условиях реальной астрофотографии это не так важно – остаточные аберрации и турбулентность повлияют на порядки больше.

2) В отличие от прямолинейных растяжек, выгоднее иметь три, а не четыре криволинейные растяжки. Это позволяет воспользоваться более "прямыми" 60-градусными дугами (которые дают в сумме только 180 град). В то время как для 4-х растяжек потребуются 90-градусные, что менее технологично. Следует также помнить, что у криволинейных растяжек задача не спрятать лучи, а как можно сильнее размазать их вокруг звезды. Именно поэтому кривых растяжек надо делать нечетное число и равномерно распределять их по окружности, чтобы они не попадали друг напротив друга, ведь тогда они фактически рассеивают свет в одинаковые сектора и одна из них просто «не работает».

3) Вероятно только теоретический интерес представляют пара 180-градусных растяжек и даже одна кольцеобразная – слишком трудно выполнить их жесткими. Дифракционная картинка от них – близка к идеальной (но все эффекты от экранирования остаются).

4) В любом случае стоит помнить о том, что энергия уходящая из центрального пятна (а это вредит проникающей силе), пропорциональна экранируемой площади и толстые растяжки в этом смысле невыгодны. Криволинейные растяжки приходится делать довольно толстыми из соображений жесткости. Но все же они могут быть в три-четыре раза толще, чем прямолинейные без особого вреда для качества изображения.

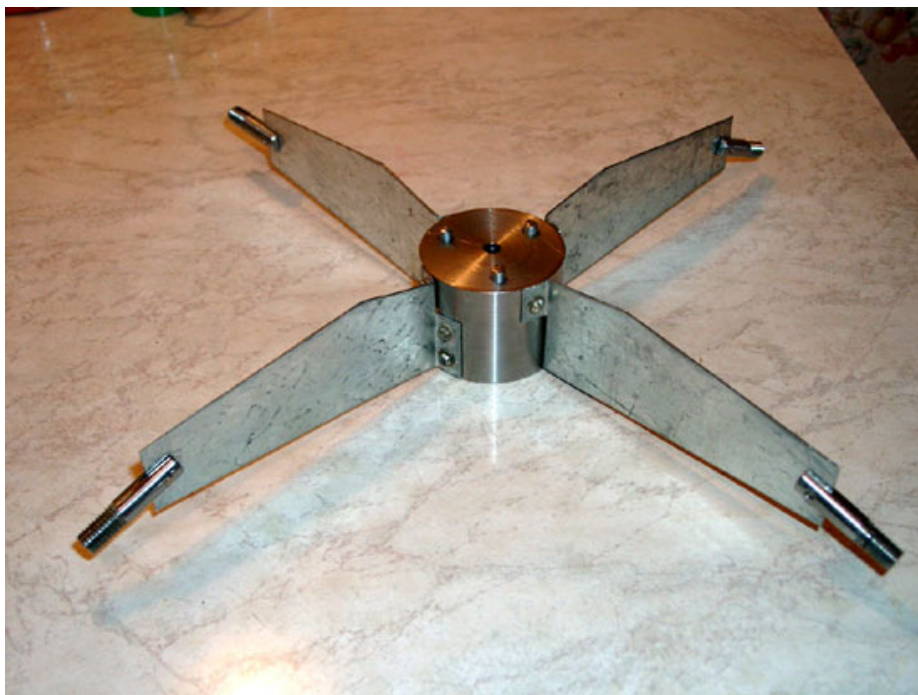
5) Стоит также отметить, что не обязательно составлять из криволинейных растяжек полную окружность (см. п. 2). Для удаления ярких "хвостов" достаточно чуть изогнутой растяжки (дуга в 30 и менее градусов).

О влиянии толщины и ширины растяжек на дифракционную картину телескопа можно сказать, что чем тоньше растяжка, тем длиннее и однороднее «хвосты» (лучи), энергия, перекачиваемая в лучи меньше и, соответственно, меньше их яркость. Более толстые растяжки дают более короткие, более яркие и более широкие хвосты. Ширину растяжки тоже следует делать небольшой, т.к. в случае неточной установки растяжки относительно оптической оси телескопа, зрительно она будет казаться тем толще, чем больше её ширина. Параллельность растяжек я регулировал уже после установки главного зеркала, стараясь чтобы растяжка была зрительно максимально тонкой и две противоположные растяжки максимально точно составляли одну прямую одинаковой толщины, расположенную по диаметру главного зеркала. Для этого я поворачивал гаечным ключом гайку, которой осуществляется натяжение, что вызывало поворот концевой части растяжки.

Вариант крепления диагонального зеркала на стойке мне не подходил из-за значительного веса оправы и необходимости изготовления стойки толщиной 3-4мм и шириной порядка 20мм. Исходя из вышеизложенного я остановился на изготовлении четырех прямых растяжек.

Стакан к которому крепятся растяжки был изготовлен из стали его диаметр составляет 50 мм

стакан, к которому крепятся растяжки был изготовлен из стали, его диаметр составляет 30 мм, высота 40 мм и толщина стенки 3 мм. Толщина стенки конечно избыточна, но изначально я планировал привинчивать растяжки винтами М3, закручивая их в просверленные отверстия с нарезанной резьбой. Однако в процессе работы выяснилось, что метчика М3 под рукой нет, поэтому, не мудрствуя лукаво, я просто просверлил сквозные отверстия диаметром 3 мм для того, чтобы привинтить растяжки винтами с гайкой. Здесь выяснилось, как не полезно не иметь под рукой чертежи уже заказанных деталей, когда изготавливаешь части с ними сопрягающиеся. Растяжки у основания оказались на 10 мм выше, чем стакан, к которому они крепятся (в последний момент перед отдачей чертежей токарю, я изменил размеры стакана на чертеже и благополучно об этом забыл). Пришлось отрезать нижний угол растяжки, отступив от края примерно 35 мм. Обрезать растяжки по всей длине я не стал, т.к. делал это ножницами и боялся их погнуть.



Паук и стакан

Из-за этого «усовершенствования» растяжки пришлось привинтить тремя винтами, вместо планировавшихся четырех. Такое «многоточечное» крепление было призвано предотвратить разворот оправы диагонального зеркала вокруг своей оси при натяжении растяжек. Для этого в их основании был сделан пропил глубиной 10 мм, получившиеся части были отогнуты в разные стороны и в них было просверлено по 2 отверстия. В результате удаления нижнего угла растяжки одно отверстие оказалось утрачено и растяжка крепится не симметрично – с одной стороны один винт, с другой – два. Однако в дальнейшем, при сборке это никак не отразилось на прочности узла и его действительно не разворачивает.

К трубе растяжки крепятся шпильками М8, на одном конце которых сделана вертикальная прорезь с диаметрально просверленным отверстием под фиксирующий винт М3. Такая система крепления позволяет установить «паук» в трубу телескопа не деформируя его, что сделать невозможно в случае неразъемного крепления шпилек. Конечно, можно было бы отвинтить растяжки от стакана, но тогда нарушится их параллельность вертикали и оптической оси телескопа, которая была тщательно выставлена при сборке с помощью угольника, и они стали бы зрительно «толще».





Крепление паука в трубе

Для возможности регулировки параллельности, отверстия в растяжках были сделаны диаметром 3,5 мм. В местах выхода шпилек за пределы трубы были приклеены эпоксидной смолой квадраты 42x42 мм, изготовленные из стали толщиной 2 мм и согнутые под внешний радиус трубы. Они призваны уменьшить деформации трубы при затягивании гаек крепления.

На местах выхода точек крепления растяжек за пределы трубы хочу остановиться подробнее, т.к. в момент возникновения данного вопроса ответ на него для меня был не ясен. На фотографиях телескопов, найденных в Интернете, присутствуют два варианта крепления растяжек относительно фокусера – либо они развернуты на 45 градусов, либо одна из растяжек параллельна оптической оси фокусировщика и крепится рядом с ним. Почему делается так или иначе, и как делать лучше я не знал и нигде об этом написано не было. Оказалось, что разницы нет никакой, и можно крепить и так и так, если крепление растяжки не мешает креплению фокусера.

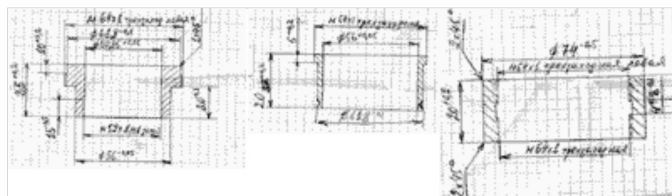
Само диагональное зеркало крепится к срезанному под углом 45 градусов стакану, с толщиной стенок 2 мм. Юстировка его сделана по классической системе с одним стопорным подпружиненным винтом М6 и тремя юстировочными винтами М5, расположенными по окружности через 120 градусов. К угловому срезу стакана эпоксидной смолой приклеена овальная стальная пластинка толщиной 2 мм, к которой за центр приклеено само диагональное зеркало. Склейка сделана оптическим герметиком ВГО-1, диаметр центрального пятака около 30 мм, высота около 2-х мм (толщина спички).

На технологии склейки также нужно остановиться подробнее. Не всегда сразу очевидно как взаимно располагаются центры зеркала и пластины к которой она клеится, поэтому изначально нужно очень внимательно прикинуть как они будут сопрягаться, с учетом необходимой толщины слоя герметика. Для этого нужно внимательно осмотреть зеркало с лежащим на спичках или других подкладках стаканом и запомнить их взаимное расположение, потому что после нанесения капли герметика взаимный сдвиг деталей не желателен. Каплю герметика в моем случае пришлось выдавить размером примерно с вишню – с этим тоже главное не переборщить, у меня это получилось не с первого раза. Хорошо, что герметик с зеркала достаточно просто счищается лезвием. Выдерживать клеевой шов, по моему мнению, нужно около недели, несмотря на то, что на тубе с герметиком написано, что он набирает крепость 24-48 часов. То, что это не так, я убедился на своем опыте – выдержав склейку зеркалом вниз около 36 часов, я вытащил регулирующие зазор спички и вернул всю конструкцию в исходное положение. Как результат – тяжелый конец стакана перевесил и зеркало с наклеенной пластиной перестали быть параллельными. Попытка исправить ситуацию успеха не принесла и зеркало пришлось оторвать. При этом выяснилось, что герметик высох только во внешнем кольцеобразном слое шириной примерно 8 мм, середина наклеенного пятака выглядела так, как будто только что выдавленная из тюбика.

И последний вопрос, возникший по ходу работ над оправой вторичного зеркала – как точно разметить линии, на которых нужно просверлить отверстия для крепления растяжек? Я поступил следующим образом – на листе миллиметровки вычертил круг, диаметром равным внешнему диаметру трубы и провел две перпендикулярные линии по его диаметрам. После этого положил лист на стол, сверху поставил трубу и, приложив к линиям чертежный угольник, сделал необходимые отметки.

Фокусировочный узел

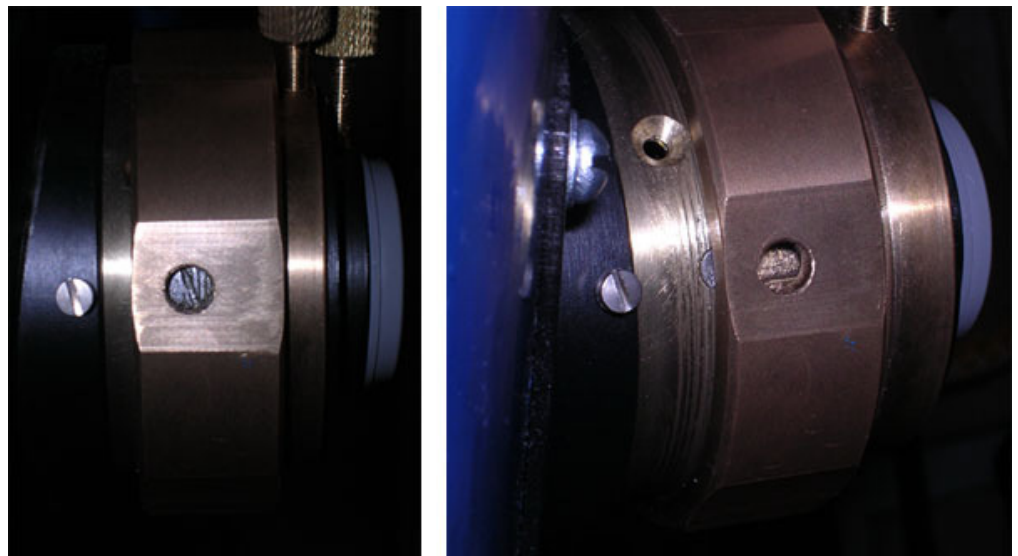
В дальнейшем я приступил к изготовлению фокусера. От приобретения готового заводского варианта я отказался по причине большого, на мой взгляд, выноса фокуса, который он требовал. Поэтому по чертежам, любезно предоставленным Олегом Чекалиным (нажмите для увеличения):



мной был заказан двухдюймовый фокусировщик, работающий по принципу объектива фотоаппарата – при вращении фокусировочного кольца взаимное расположение передней и задней части не изменяется, т.е. они не поворачиваются друг относительно друга. Резьба в фокусере сделана трехзаходная, что обеспечивает более быструю фокусировку. Ход фокусера составляет 14 мм (линейные размеры фокусировщика изменяются от 35,5 мм до 49,5 мм) и с

составляет 1,1 дюйма (минимальные размеры фокусировщика изменены от 0,93 дюйма до 1,0 дюйма) с учетом этого, а также с учетом высоты крепежного фланца, вынос фокуса я решил сделать наименьшим возможным (получилось 55мм), для возможности фокусировки и двухдюймовых окуляров, и окуляра с посадочным диаметром 1,25 дюйма (с переходником, и высоту переходника также необходимо учитывать для расчета необходимого выноса фокуса).

В первой на чертеже детали, снаружи, ниже резьбы, фрезеруется вертикальный паз (не доходящий до края на 1,5-2мм) для фиксирующего винта М3, который не дает разворачиваться деталям относительно друг друга при фокусировке и который вкручивается во вторую на чертеже деталь, проходя сквозь нее и заходя в паз. Однако, получив заказанный фокусер, я обнаружил, что изначально он был собран так, что верхняя часть (куда вставляется окуляр) уходила вниз, заподлицо с гайкой, и соответственно, винт для крепления окуляра вкручивать было некуда. Ход составлял примерно 8,5 мм. Пришлось переделывать его следующим образом: в нижней части (вторая деталь на чертеже), прямо посередине резьбы просверлил новое отверстие под фиксирующий винт М3 с нарезанной резьбой (старое было просверлено ниже резьбы) и раззенкованное под потайную шляпку винта, которая должна быть утоплена внутрь ниже канавок резьбы, иначе гайка не будет закручиваться. Место для отверстия М3 размечается на собранном фокусере, с учетом необходимого выступа верхней его части и местоположения при этом фрезерованного паза. А в гайке, на расстоянии 8,5мм от нижнего края я просверлил отверстие 6 мм, через которое этот винт закручивается, когда фокусер уже собран. Ну и соответственно отрегулировал взаимное расположение верхней и нижней частей. В результате верхняя часть, при закручивании гайки до упора, не убирается полностью внутрь и остается примерно 5мм для фиксирующего окуляр винта. Перед окончательной сборкой трущиеся части фокусера были заполнены автомобильной смазкой – «Литолом».



Фокусер после переделки, виден фрезерованный паз и фиксирующий винт, а также отверстие, через которое он был закручен.

В нижней части фокусера, с его наружной стороны проточена треугольная канавка, которая служит для крепления фокусировщика в переходном фланце. Сам фланец представляет собой выточенное стальное кольцо высотой 20мм, имеющее внутри упорный бортик, в который и упирается нижняя часть фокусера и фиксируется тремя винтами М3, которые входят в проточенную в фокусере канавку и прижимают его. Внешней частью фланец приварен к квадратной пластине 100x100 мм, толщиной 2мм, с вырезанным в центре отверстием. Фланец вдвинут в нее примерно на половину высоты и прихвачен в четырех местах электросваркой. Сама пластина изогнута под внешний радиус трубы. Также к фокусеру сделан переходник для окуляров на 1,25 дюйма.



Фокусировщик – общий вид

Параллельно с работами по изготовлению фокусера, возник вопрос и о месте его крепления к трубе телескопа. Навашин категорически рекомендует в азимутальных монтировках располагать фокусер параллельно горизонтальной оси телескопа. Это объясняется тем, что при наведении трубы звезды будут перемещаться в поле зрения телескопа соосно направлению ведения. При размещении фокусера под углом к горизонтальной оси, звезды в поле зрения телескопа при наведении, будут перемещаться под углом к направлению движения телескопа, что может затруднить ориентирование. Однако кроме этого следует учитывать и такой фактор, как удобство наблюдения, если телескоп небольшой. Итоговая рекомендация по данному вопросу звучит так: Для труб, длиной более 130 см целесообразнее использовать боковое расположение окуляра, для более коротких – его можно сместить вверх (так будет удобнее при наблюдениях). Я остановился на расположении фокусера параллельно горизонтальной оси.



Гайки паука не мешают креплению фокусировочного узла

Тогда возник следующий вопрос: справа или слева, если смотреть «со спины» телескопа, разместить окулярный узел? На большинстве конструкций, фотографии которых я обнаружил в Интернете, окулярный узел расположен справа. По моему мнению это не удобно, т.к. при наблюдении, когда правый глаз обычно является ведущим, для того чтобы посмотреть в искатель придется либо обходить телескоп, либо прижиматься щекой к трубе, чтобы смотреть в него ведущим глазом. Можно конечно нарастить высоту крепления искателя, но эта идея мне не понравилась. Поэтому я остановился на расположении окулярного узла слева.



Фокусировщик и искатель в сборе

Монтировка Добсона

Полученные с завода трубы я решил склеить вместе, используя кольцо шириной 150мм, отрезанное от одной из труб (по чертежу оптической системы телескопа в масштабе 1:1 получалось, что данное кольцо находится за путем светового пучка и экранирования не создает). В качестве клея я использовал эпоксидную смолу. Для сохранения эстетичного

соединения на месте, чтобы и не повредить эпоксидную смолу, для сохранения эстетики внешнего вида трубы телескопа, склейка производилась путем вставки намазанного клеем кольца внутрь трубы. Для того чтобы оно там поместилось, пришлось разрезать его вдоль, вырезав полосу шириной примерно 15мм. Шов с внешней стороны был также заполнен эпоксидкой. После её полимеризации – зачищен рашпилем и мелкой шкуркой. В итоге получилась абсолютно ровная труба. Также, при креплении полуосей и ручки для переноски телескопа, часть винтов пришлось как раз на соединительное кольцо, что повысило прочность всей конструкции.

Параллельно я изготавливал панели для монтировки. Для этого был приобретен лист 10мм фанеры размером 1525x1525мм. Т.к. местонахождение центра тяжести трубы было еще неизвестно и, соответственно, неизвестна требуемая высота монтировки, боковые стенки я сделал избыточной высоты, просто отрезав от листа две полосы шириной 390мм, разрезав потом их пополам и склеив попарно получившиеся детали. Для основания короба были вырезаны два куска 350x400 мм и также склеены. Только для задней стенки, как не несущей существенной нагрузки, я взял один слой 10мм фанеры. Т.к. задняя стенка и изготовленное для укрепления передней части п-образное ярмо из 20мм фанеры, привинчиваются к боковым стенкам шурупами, точки крепления которых попадают как раз на клеевой шов, периметр боковин был укреплен 19мм шурупами-саморезами, вкрученными изнутри короба примерно через 100мм. Ярмо было сделано для устранения возможного противохода монтировки, который выражается в том, что при вращении трубы по азимуту, стенки короба деформируются и после остановки труба "отыгрывает" назад.



Монтировка – видно "ярмо" препятствующее противоходу

Основанием монтировки является круг, диаметром 450мм вырезанный из 12мм фанеры, покоящийся на трех опорах, вырезанных из 20мм фанеры, которые выступают за радиус круга на 35мм. Это сделано для повышения устойчивости платформы за счет более широкого радиуса круга точек опоры. Три опоры выбраны исходя из того соображения, что три точки практически на любой поверхности будут стоять устойчиво и не качаться, а обеспечить устойчивость четырех опор можно только на ровной поверхности (почему, кстати, и качаются четырехножные столы и табуреты). Точно над ножками расположены фторопластовые опоры размером 30x30мм и толщиной 8мм, на которых вращается вся конструкция. Т.к. мне не удалось раздобыть алюминиевый лист для изготовления диска, который будет скользить по опорам, его пришлось изготовить из эмалированного стального листа от боковой стенки старой электроплиты. Пара эмаль-фторопласт оказалась очень удачной, залипание отсутствует в принципе. Конечно, вырезать болгаркой диск из эмалированного с двух сторон листа, общей толщиной около 1,2мм занятие не очень простое, но овчинка стоит выделки. Вырезать желательно с внутренней стороны листа (которой он потом будет приклеиваться к основанию), т.к. раскаленные искры оставляют на эмали маленькие крапины, которые правда, довольно просто счищаются мелкой шкуркой. Но, как говорится, гладкость нужно беречь снова. Сам диск я приклеил к основанию короба все той же эпоксидной смолой.

В дальнейшем, когда на трубу были установлены все узлы, я определил её центр тяжести (положив на круглую палку на столе) и оказалось, что боковые стенки я сделал всего на 55 мм выше, чем требовалось. Для облегчения конструкции в боковинах были вырезаны окна, которые я делал следующим образом: после разметки, в углах окон были высверлены пёркой отверстия, диаметром 45мм. затем электролобзиком выпилены прямые отрезки между ними. Шипин

диаметр полусей, сделанных из алюминия, вырезан при помощи строгального станка. Ширина вертикальных частей я сделал 70мм, что для обеспечения необходимой жесткости оказалось вполне достаточно. В задней стенке было вырезано отверстие круглой формы. Жесткость конструкции от этого нисколько не пострадала. Также задняя стенка была укреплена в верхней части полкой для окуляров, сделанной из алюминиевого уголка 50x50x3мм. В нижней она жестко крепится к основанию при помощи алюминиевого уголка 25x25x2мм.



Сзади сделана полка на 5 окуляров 1,25 дюйма

В верхней части боковин были вырезаны полукруги для размещения фторопластовых опор горизонтальных полуосей. Диаметр вырезанных полукругов должен быть больше диаметра полуоси, для возможности установки фторопластовых опор так, чтобы радиус окружности, проходящей через поверхность опор, был равен радиусу полуоси. С внешней стороны, для устранения бокового сдвига полуосей, к боковинам были привинчены также полукруглые пластины из 10мм фанеры. Сами полуоси были изготовлены из 20мм фанеры – это диски, диаметром 200 мм, оклеенные кольцами, вырезанными из подходящей алюминиевой кастрюли.



Полуоси скользят по двум фторопластовым опорам

Общая рекомендация, по поводу размера полуосей для добсона, обнаруженная мной в Интернете, звучала так: оптимальный диаметр полуосей должен равняться 0,8 – 1 от диаметра главного зеркала. Т.к. диаметр кастрюли был заранее точно не известен, диски изначально были сделаны большего диаметра, а затем проточены на токарном станке. На нем же были отрезаны и кольца от кастрюли. К внутренней стороне дисков, шурупами привинчена пластина

из стали 0,8мм, края которой были отогнуты вверх в виде трапеции, для крепления к трубе, что существенно повышает жесткость всего узла в целом.



К внутренней стороне дисков, шурупами привинчена пластина из стали 0,8мм, края которой были отогнуты вверх в виде трапеции, для крепления к трубе, что существенно повышает жесткость всего узла в целом.

Существенной трудностью было точно разметить точки крепления дисков-полуосей к трубе телескопа. Я поступил следующим образом: поставил трубу на уже имеющийся чертеж с окружностью и проведенными перпендикулярно осями. После этого по отвесу я проверил вертикальность трубы и сделал (также по шнуру отвеса) диаметрально противоположные отметки для проведения двух вертикальных осей. После чего на уровне центра тяжести трубы были сделаны отметки центра полуосей и соответствующая разметка под крепеж. Все же мне не удалось отметить оси точно и расстояние между полуосями с разных сторон не совпадало примерно на 2мм – пришлось немного расточить отверстия круглым напильником. Также небольшая разбежка (порядка 1,5-2мм) получилась и по высоте крепления полуосей, которую я отрегулировал высотой расположения фторопластовых опор (с одной стороны они несколько более заглублены в боковину).

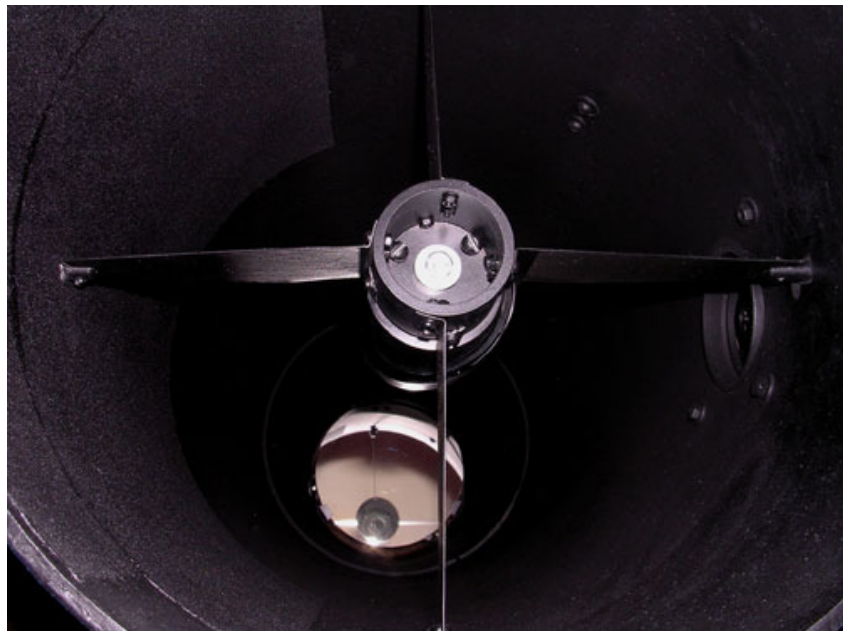
Сборка монтировки проводилась в два этапа. Сначала я собрал её из некрашенных деталей и посмотрел как они сопрягаются друг с другом. Выяснилось, что при расчете ширины основания я допустил элементарную арифметическую ошибку: $300 + 20 + 20$ у меня получилось 350. В результате этого расстояние между краями полуосей (они привинчены прямо к трубе) оказалось на 10мм меньше, чем ширина вилки. Обрезать основание не представлялось возможным, т.к. к нему уже был приклеен стальной диск и просверлены отверстия для шурупов. Поэтому я просто наклонил боковые стенки навстречу друг другу на 5мм и, после подгонки фторопластовых опор полуосей для выравнивания положения трубы, уже «по месту» разметил ярмо, которое привинчивается спереди монтировки для снижения возможного противохода. Заднюю стенку я обрезать не стал и её верхняя часть слегка выступает за плоскость боковин. После этого я разобрал монтировку и покрасил отдельно все детали черной эмалью. Это было сделано для предотвращения попадания воды внутрь дерева в местах сопряжения деталей через непокрашенные швы. После этого монтировка была собрана окончательно, (сборка осуществлялась на шурупах, без применения клея) и полностью покрашена в собранном виде. В результате этого дерево приобрело достаточную устойчивость к намоканию, которое неизбежно при наблюдении в ночи с обильным выпадением росы. Жесткость собранной конструкции оказалась очень высокой.

Окраска

Параллельно со сборкой и окраской монтировки я приступил к окрашиванию трубы телескопа. Для этого я повесил трубу на просунутую через нее длинную палку, концы которой лежали на двух табуретках и красил её в горизонтальном положении. Такой способ окрашивания лучше, чем при вертикальном расположении трубы, т.к. меньше шансов получить потеки на поверхности от неосторожно уроненных капель краски. После окраски внешней части трубы, я наклеил напротив фокусера кусок наждачной бумаги М25, размером 25х40 см и приступил к окрашиванию внутренней. Сначала я хотел покрасить внутреннюю поверхность одним слоем долгосохнущей черной эмали, посыпать внутри просеянными опилками и потом зачернить из баллончика. Однако, прикинув длину трубы и собственных рук, я понял, что не смогу качественно покрасить её изнутри кистью. Поэтому я привинтил к трубе все «навесное оборудование» (за исключением оптики) и внутренность была зачернена матовой краской из баллончика. Т.к. я это делал дома, а при окрашивании из баллона в воздухе образуется взвесь из мельчайших капель краски, я применил следующую методику: один конец трубы был затянут полиэтиленовым пакетом, за которым была установлена настольная лампа, для освещения трубы изнутри, другой был закрыт куском ткани, отгибая угол которой я и производил окрашивание. Периодически я очищал внутреннее пространство трубы от взвеси краски пылесосом, закрыв шланг двумя слоями ткани и приставляя его к отверстию фокусера.

наилучшим, закрыв шланг другой стороной и направил его к отверстию фокусера.

После первого окрашивания цвет внутренностей трубы мне совсем не понравился (значительно, по моему мнению, блестел) и пришлось окрашивать вторично. И тут эмпирически я натолкнулся на следующую методику окрашивания: краска короткими очередями распыляется из баллона на стенки трубы, с максимально возможного в трубе расстояния, я бы сказал наискосок. У меня это было около 30-40 см, после этого она просто распыляется в трубе от середины к краям и труба закрывается с двух сторон. За время порядка 10-15 минут образованная в трубе взвесь частично оседает на нижнюю стенку и образует на ней действительно черную матовую поверхность. После чего труба поворачивается вокруг оси и операции повторяются. Главное не лить краску из баллона прямо на стенки. Неожиданные трудности возникли с окрашиванием наждачной бумаги – она упрямо оставалась какой-то серой, по сравнению с окрашенными стенками трубы и зрительно более светлой, даже после окрашивания в два слоя. И только после третьего окрашивания с большого расстояния, для чего труба была удлинена с помощью картона, она приобрела приемлемо черный цвет. Я думаю, что это происходило оттого, что краска впитывалась в поверхность, не оставляя пленки, да и количество её действительно было избыточным. То же самое было при окрашивании бленды искателя, склеенной из картона. При этом наждачка неплохо поглощает лучи, падающие на нее под острым углом, однако, при рассмотрении через отверстие фокусера, кажется светлее, чем просто покрашенные стенки трубы, поэтому я бы не рекомендовал наждачку в качестве материала, годного для оклейки трубы напротив фокусера. Возможно, в дальнейшем, заклею ее бархатом.



Труба телескопа после чернения

Установка главного зеркала и сборка телескопа

Перед окончательной установкой главного зеркала оно было отцентрировано в оправе следующим образом. На листе миллиметровки были вычерчены две окружности диаметрами равными внутреннему диаметру трубы и диаметру зеркала. Далее я разместил оправу точно в большой окружности. После это было ослаблено крепление боковых опор зеркала и само зеркало, с помощью инструментального угольника, было размещено точно над меньшей окружностью. Потом боковые упоры были придвинуты к зеркалу и закреплены.

В трубе, при её горизонтальном положении, зеркало боковиной должно опираться симметрично на две опоры, и одна придерживает его сверху. Этим достигается лучшая боковая разгрузка. С разметкой точек крепления оправы главного зеркала к трубе телескопа нужно быть очень внимательным и не лениться тщательно все промерить. Я изначально пренебрег этим (хотелось поскорее установить зеркало в трубу) и в результате правильное положение зеркала было выставлено только с третьей попытки (первый раз я не выставил горизонтальность опор, второй – промахнулся с выносом фокуса), соответственно со сверлением трех комплектов отверстий, которые красота не прибавили. Поэтому лучше поступить таким образом: сначала оправу помещается в горизонтально расположенную трубу (я делал это уже в трубе, находящейся на монтажке) и выставляется горизонтальность двух нижних боковых опор зеркала, которую лучше контролировать через входное отверстие трубы. После этого отмечается верхняя точка крепления оправы. Оправа вытаскивается и изнутри вручную (я использовал ручные тисочки и сверло 2мм) сверлится отверстие. После этого снаружи электродрелью сверлится отверстие под крепежный винт. Оправа ставится на место и закрепляется этим винтом. Так же размечается вторая точка, оправка снова вытаскивается и операции повторяются, затем и третья. В результате точки крепления хорошо совпадают с отверстиями на оправе и при завинчивании не создают лишних напряжений в конструкции. Разметить сразу все точки крепления оправы точно

мне не удалось, несмотря на две попытки, и всегда приходилось растачивать одно отверстие.

Для наведения на объекты телескоп оборудован искателем 8х50, производства НПЗ, который мне, вместе с кронштейном для крепления, любезно подарил Сергей Киселев (kis). Искатель также установлен слева, практически на одном уровне с фокусером, примерно под углом 45 градусов к горизонтали. Снизу на уровне фокусера, для удобства перемещения телескопа при наблюдении, расположена маленькая металлическая ручка.

Еще одна ручка для переноски трубы телескопа расположена на «спине» телескопа в центре его тяжести. Это дверная ручка фабричного изготовления, основанием для которой служит целиковая металлическая полоса, сверху и снизу к которой привинчены деревянные щечки. Я хотел бы предостеречь от использования для переноски телескопа продающиеся сейчас в изобилии силуминовые дверные ручки. Как известно силумин довольно хрупкий металл и будет очень жаль, если ручка лопнет и труба упадет на землю.

Также, для облегчения переноски трубы, которая получилась довольно тяжелой, на её концах были укреплены два металлических «ушка», к которым, с помощью карабинов, пристегивается наплечный ремень, сделанный из ремня безопасности автомобиля. Длина его может регулироваться. Для предотвращения повреждений телескопа при его транспортировке, был изготовлен чехол цилиндрической формы. Он состоит из 2-х слоев ткани, между которыми проложен слой 20мм поролона. Застегивается «молниями». Вес телескопа в сборе составил около 31 кг, монтировка 11 кг, труба – 20 кг, что примерно равно весу фабричного добсона подобной апертуры (30 кг.) Конечно, вес телескопа значителен, но я при постройке основной упор делал на прочность и надежность всех узлов, а не на возможность сделать максимально легкий и транспортабельный телескоп.

Также думаю, будет не лишним указать, сколько денежных средств потрачено на изготовление телескопа и какие материалы применялись. Я для интереса, с самого начала записывал все свои траты на инструмент и теперь могу привести довольно точный отчет. Итак:

- 1.) Комплект зеркал – 11,600 руб.
- 2.) Трубы – 1,274 руб.
- 3.) Фанера 10мм – 350 руб.
- 4.) Краски, кисти, клей, герметик – 728 руб., но осталось очень много, так что реально израсходовано примерно на 300-350 руб.
- 5.) Различные материалы и проч. – 612 руб. в т.ч. – текстолит 170 руб., ручка 40 руб., оцинкованное железо 80 руб., вентилятор для охлаждения 100 руб., наждачка 25 руб., алюминиевая кастрюля 137 руб., пружины (3 шт.) 60 руб.
- 6.) Крепеж (его было куплено с избытком т.к. он продается в коробочках и из-за одного винта приходилось покупать коробок, а до мест продажи развесного я не доехал, и очень много осталось, поэтому реально на него можно было потратить меньше) – 539 руб.
- 7.) Двухдюймовый окуляр (он входит в комплектацию заводского телескопа, поэтому я решил включить его в себестоимость) – 2,680 руб.

ИТОГО: 17,783 руб.

Для ориентирования по сумме, которую инфляция может довольно скоро сильно уменьшить, приведу курс доллара США во время проведения работ – 27,60-28,20 руб. за 1 доллар. Итого в долларах – примерно 640 USD. Для сравнения – цена фабричного добсона такой апертуры составляет 940-1045 долларов США. Итого экономия составила 300-400 долларов США, т.е. около 1/3.

А вот герметик, краски и прочие «жидкости», которые применялись при изготовлении телескопа ;-)





"Расходные материалы"

Краской PRIDE окрашена оправа главного зеркала, сохнет примерно час-полтора, 50 руб. за баллон, автомобильная; краской Touch n Tone окрашены внутренности трубы и искателя, а также все остальные металлические части, сохнет 15-20 мин., 100 руб. за баллон, бытовая. Для чернения трубы было израсходовано почти два баллона. Дает, по моему мнению, более черный цвет, за счет того, что меньше блестит, хотя и та и другая – матовые. ПВА – очень хороший, держит намертво. Эмаль тоже ничего, но сохнет более суток, особенно первый слой. В её использовании оказалась только одна проблема – ей нужно красить деталь сразу и целиком, иначе, при подкрашивании, в месте перехода старого покрытия в новое, остается белесая полоса.

Заключение

В заключение я хотел бы отметить, что приступая к постройке телескопа, я очень смутно представлял себе, что такое и как выглядит разгрузка зеркала на «точки», как считается вынос фокуса и многое другое. Однако дорогу осилит идущий, и трудности, которые я представлял себе до начала работ, оказались не такими уж страшными. Можно также услышать и мнение, что добсон это довольно простая, где-то даже примитивная конструкция, собранная из того, что можно найти «на помойке». Это ошибочно. Хорошо сделанная труба добсона не особо отличается и не уступает по сложности трубе заводского ньютона, продающегося на экваториальной монтировке. Сама же монтировка Добсона, при желании сделать ее красиво и качественно, также не очень проста в изготовлении. Но никаких неразрешимых трудностей в работе у меня не возникало.

Также я хочу поблагодарить всех людей, так или иначе принимавших участие в работах над телескопом. Это прежде всего мой отец, который выполнил все токарные и фрезерные работы; это моя жена, которая не только самоотверженно терпела все невзгоды домашнего проведения различных работ (пыль, опилки, запах краски и клея, шум от электроинструментов и прочее), но и иногда помогала мне в выполнении некоторых операций, для которых требовалась «третья рука»; это все участники форума «Звездочета» и «Старлаба», которые помогали мне своими советами в решении различных вопросов, возникавших в процессе работ. И персональное спасибо Сергею Киселеву (kis) за подаренный искатель, Олегу Чекалину (Nikolaich) за чертежи фокусера, Эрнесту Шеколянну (Ernest) за подробное объяснение некоторых теоретических и практических вопросов и Николаю Александровичу (AstroNick) за выложенный на его сайте [калькулятор](#) для расчета "Ньютона", который очень помог мне в работе.

*Алексей Пецык
любитель астрономии из г. Москвы*