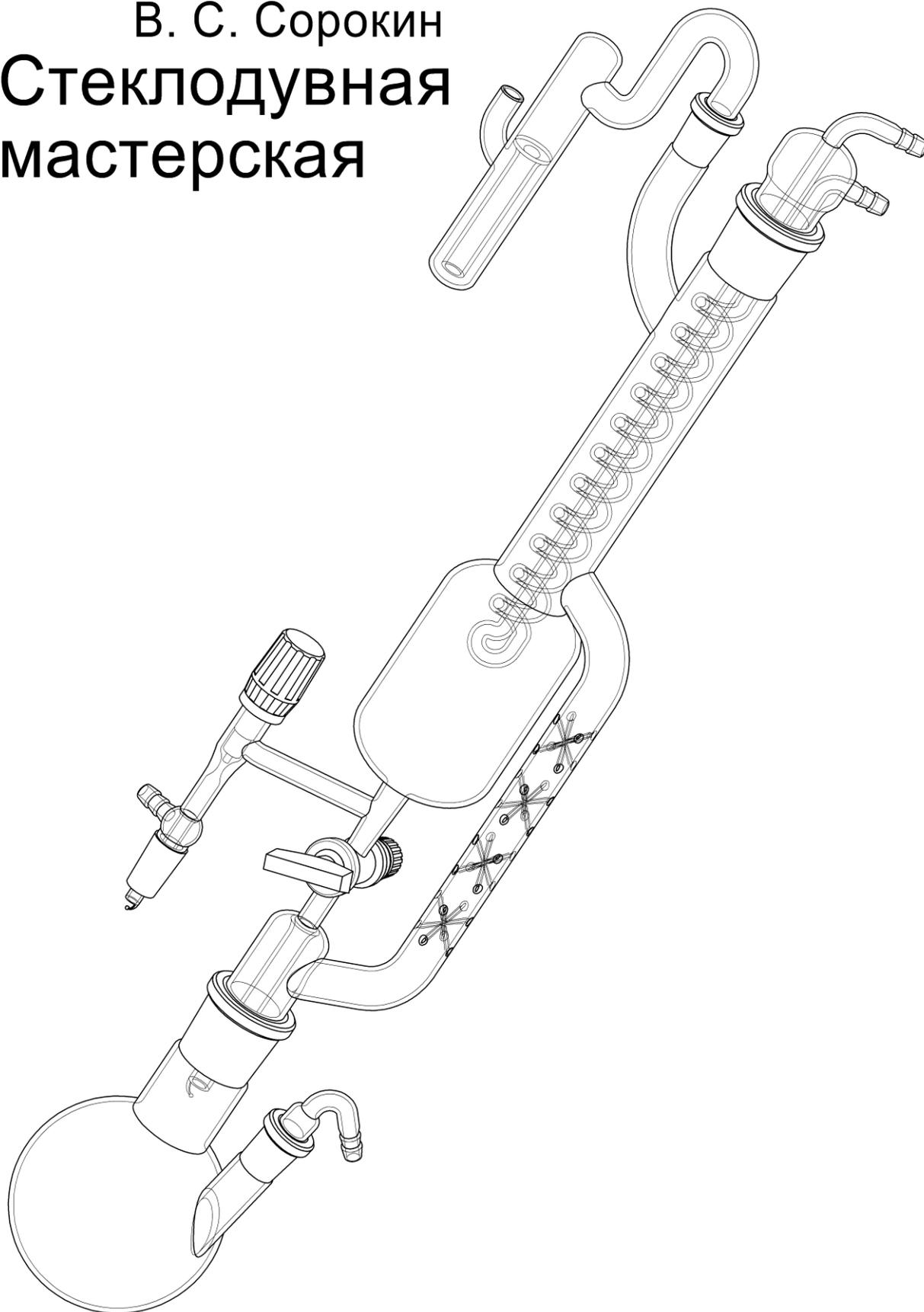


В. С. Сорокин  
**Стеклодувная  
мастерская**



Этот справочник, посвященный стеклодувному делу, был составлен в 2013 году и обобщает создание стеклодувной мастерской R&D-центра «НИОСТ» и пятилетний опыт работы в ней. После распада СССР в России осталось очень мало аппаратурных стеклодувных мастерских. Справочник будет полезен не только тем, кто создает стеклодувную мастерскую, но также начинающим стеклодувам, студентам и аспирантам, научным работникам и руководителям, работающим в научно-исследовательских центрах.

Автор очень благодарен рецензентам:

Григорию Валерьевичу Зельвенскому

и

Валентине Николаевне Павленко,

которые просмотрели справочник, и нашли множество ошибок и недоработок, которые были исправлены.

## Содержание

1.	История аппаратурного стеклодувного дела и классификация стекла .....	4
2.	Принципы организации мастерской, технологический процесс и помещение .....	8
3.	Вентиляция, кислород, горючий газ, воздух .....	10
4.	Механическая обработка стекла .....	11
5.	Станки для горячей обработки стекла .....	15
6.	Рабочее место стеклодува и горелки .....	19
7.	Инструмент стеклодува и вспомогательные материалы.....	28
8.	Отжиг стекла .....	46
9.	Откачка вакуумных изделий .....	48
10.	Материалы и заготовки из стекла .....	50

## 1. История аппаратурного стеклодувного дела и классификация стекла

Задача аппаратурного стеклодувного дела - изготовление приборов из стекла в основном для химического и физического эксперимента, а также некоторых изделий имеющих техническое назначение. Еще в древние времена человек использовал инструменты из вулканического стекла - обсидиана в технических целях. Революция в стеклоделии произошла примерно в 15 веке, когда в Европе научились варить стекло прозрачное при большой толщине. Началось массовое изготовление изделий из стекла для алхимиков, врачей, парфюмеров и т. д. Символом той эпохи стала реторта - шарообразный сосуд с длинным отводом, который использовали для перегонки веществ и получения газов. Переломным моментом стала возможность изготавливать в конце 18 начале 19 века полностью стеклянный холодильник с рубашкой, который сегодня нам известен как "холодильник Либиха" (Liebig condenser). Кроме самых разнообразных приборов для химического эксперимента аппаратурное стеклодувное дело позволило изготавливать электровакуумные приборы для изучения вакуума и электрического тока. В конце 19 века одним из первых приборов стал известен как "трубка Крукса" ("Crookes tube") с помощью которой открыли электроны и изучили их различные свойства, а также открыли излучение рентгена. Все развитие радиотехники конца 19 века и начала 20 происходило за счет электровакуумных приборов из стекла. Тем не менее, в дальнейшем будет описано организация стеклодувной мастерской только для изготовления посуды и аппаратуры для химического эксперимента. Развитие всей современной химии, тонкого химического синтеза, работа с металлоорганикой и в инертной среде, радиохимия и спектроскопия и другой химический эксперимент не возможен без использования приборов из стекла.

Все стекла можно условно разделить на пять групп:

1. Кварцевые стекла
2. Вольфрамовая группа стекол или боросиликатное стекло 3.3.
3. Молибденовая группа стекол
4. Платиновая группа стекол
5. Свинец содержащие стекла

### **Кварцевые стекла**

Кварцевое стекло обладает чрезвычайно низким КЛТР (коэффициент линейного теплового расширения, для стекол в интервале 20-400 °С), что делает его самым термостойким силикатным стеклом с соответственно очень высокой долговременной рабочей температурой. Это позволяет использовать кварцевое стекло для приборов и сосудов, работающих при температурах ~1000 °С. Но при этом кварцевое стекло очень склонно при таких температурах к поликристаллизации, которая сильно уменьшает прочность и увеличивает газопроницаемость, особенно при наличии загрязнений, как на его поверхности, так и в толще стекла. Поскольку чистое кварцевое стекло однокомпонентный материал, то целесообразно использовать его, где требуется высокая чистота вещества. Из кварцевого стекла делают дистилляторы для получения сверхчистой воды.

## Классификация стекол

группа стекол	ЛКТР $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	0,6	3,3	5	9	12
		кварцевые стекла	вольфрамовая	молибденовая	платиновая	свинец содержащие стекла
название		кварцевое стекло (плавленый кварц)	боросиликатное стекло 3,3	электровакуумное стекло	«простое» стекло, натрий-кальциевое стекло	свинцовое стекло
содержание кремнезема, %	~99,5	81	68	68	45	
плотность, г/см <sup>3</sup>	2,20	2,23	2,29	2,54	~4	
максимальная долговременная рабочая температура при эксплуатации изделий, °С	1000	500	440	400	260	
температура отжига °С, при вязкости 1013 дПа*с	1150	560	520	515	405	
температура размягчения оС, при вязкости 107,6 дПа*с	1680	825	720	650	445	
температура выработки изделий °С, при вязкости 104 дПа*с	1800	1260	1050	1000	780	
твердость и газопроницаемость				← растет		

Также по этой причине чистое кварцевое стекло прекрасный материал для ампул магнитной спектроскопии. В ЯМР спектроскопии ампулы из кварцевого стекла используют для определения бора. В ЭПР спектроскопии кварцевое стекло используется, поскольку не дает побочных сигналов и шума. Кварцевое стекло достаточно хорошо пропускает УФ, видимое и ИК излучения, долгое время из кварцевого стекла изготавливались источники и приемники ультрафиолетового и инфракрасного света, а также разнообразные кюветы. Но со временем другие стекла и материалы вытеснили из этой ниши кварцевое стекло. Оно не дает согласованных спаев ни с одним металлом, а вакуумно-плотные спаи получаются только с тонкой проволокой из вольфрама и молибдена, что не позволяет достичь большой плотности тока, кроме этого кварцевое стекло обладает высокой газопроницаемостью, что ограничивает срок службы таких приборов. Остаточная деформация кварцевого стекла почти равна нулю по сравнению с другими материалами, а зависимость деформации от прилагаемой силы почти линейна. Это позволяет использовать кварцевое стекло для изготовления рабочего тела весов и других подобных механических систем. Кварцевое стекло очень устойчиво к действию воды и кислот. Даже плавиковая кислота разрушает его дольше, чем другие силикатные стекла. В расплавленной щелочи наоборот кварцевое стекло быстро растворяется. Также кварцевое стекло совершенно не способно к выщелачиванию и может храниться очень долго даже во влажной среде. Кварцевые стекла хорошо обрабатываются стеклодувными способами, если соблюдается чистота, а температура пламени достаточна. Отжиг после выполнения не больших и не сложных работ не требуется.

### **Вольфрамовая группа стекол или боросиликатное стекло 3.3**

О том, что оксид бора не только повышает термостойкость стекла, но и делает его более удобным для варки и выработки знали исследователи еще в 19 веке. В конце 19 века Эрнст Абби и Карл Цейс под руководством Отто Шотта занимаются подбором состава для оптических стекол с содержанием оксида бора, которые должны обладать также химической и термической стойкостью. Чуть позже, в 1912 году Евгений Суливан с помощником Уильямом Тейлором работая в компании “Corning” ищут более термостойкое стекло для газовых светильников на железной дороге, поскольку светильники, выполненные из простого стекла часто разрушаются от перепада температур. По легенде одна из жен исследователей посетовала на то, что кухонная посуда из стекла не обладает необходимой термостойкостью. В результате подобранные составы стекол были запатентованы 24 июня 1915 года, как стекло для кухонной посуды. Несколько позже области применения термостойких боросиликатных стекол были расширены новым патентом от 27 мая 1919 года. При промышленном выпуске наиболее удобным оказалось стекло содержащее 81% оксида кремния и 13% оксида бора и КЛТР равным  $3.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Стекло этого состава было зарегистрировано в 1915 году в компании “Corning” как Pyrex, а в 1938 году компанией “Schott” как Duran. Именно это стекло нашло широчайшее применение, выпускается множеством производителей и используется в подавляющем большинстве аппаратурных и других стеклодувных работ. Сейчас его выпускают в соответствии со стандартом ISO 3585. Из-за высокой химической стойкости, достаточно низкого КЛТР, а следовательно высокой термостойкости и легкой обработки горячими способами это стекло получило очень широкое применение. Основная область его использования - лабораторные

приборы и посуда, различные аппараты и реакторы для химической, пищевой и фармацевтической промышленности, трубопроводы для агрессивных сред, кухонная посуда. Кроме этого оно нашло применение в технике, например для изготовления теплообменников и вакуумных систем, в архитектуре для декоративных элементов и других областях. Также оно используется, для чего создавалось изначально - как защитное стекло для мощных светильников. Боросиликатное стекло дает согласованные спаи с вольфрамом. Из-за недостатков вольфрама его заменяют коваром, спаи с которым не согласованные, но вакуумно-плотные и достаточно прочные. Боросиликатное стекло 3.3 прекрасно обрабатывается на горелке с кислородным дутьем, единственный недостаток - в некоторых случаях при медленном остывании происходит поверхностная кристаллизация, которая обратима и может быть удалена повторным разогревом.

### **Молибденовая группа стекол**

Электровакuumное стекло, как и боросиликатное стекло 3.3 тоже содержит оксид бора и является боросиликатным и достаточно термостойким. Но значение КЛТР у этой группы стекол больше - около  $5 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  и по этой причине оно уступает в термостойкости боросиликатному стеклу 3.3. Основная область применения такого стекла - электровакuumные приборы для электроники и приборостроения. Это возможно, поскольку оно дает согласованные вакуумно-плотные спаи с молибденом и коваром. Согласование спая настолько высокое, что позволяет спаивать стержни и трубки порядка 10 мм и больше в диаметре. Вольфрам может давать вакуумно-плотные, но не согласованные спаи с таким стеклом. Радиолампы, электронно-лучевые трубки, источники и приемники электромагнитного излучения, газовые лазеры и множество других электровакuumных приборов изготавливаются из этой группы стекол. Ранее эта группа стекол использовалась также для изготовления химической посуды и аппаратуры, но со временем боросиликатное стекло 3.3 полностью вытеснил из этой ниши эти стекла.

### **Платиновая группа стекол**

Стекла этой группы кроме кремнезема содержат оксиды натрия и кальция, не являются термостойкими и имеют высокий КЛТР около  $9 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . По этой причине, а также из-за низкой стоимости стекла этой группы используются для изготовления массовых приборов и посуды, которая не испытывает перепадов и высоких значений температур. В химии и биологии это мерная и аналитическая посуда, ампулы для хранения лекарств и других веществ, пипетки Пастера, чашки Петри и т. д. Стекла этой группы дают согласованные и вакуумно-плотные спаи с платиной и некоторыми специальными сплавами. Поэтому из этих стекол изготавливаются простые электровакuumные изделия, источники света, а также различные приборы для электрохимии. Сложные электровакuumные изделия из этого стекла делать сложно и нецелесообразно из-за его низкой термостойкости. Стекла относящиеся к этой группе нашли наиболее широкое применение в быту, строительстве, транспорте. Листовое оконное стекло, различная посуда и тара и т. д. Для этой группы стекол характерна высокая химическая стойкость к воде и щелочам. Особенно устойчивы к щелочам стекла этой группы с содержанием оксида циркония. В кислых средах такие стекла могут выщелачиваться, а в плавиковой кислоте быстро

разрушаться. При хранении во влажных условиях такие стекла могут быстро портиться. На стеклодувной горелки из-за низкой термостойкости и способности выщелачиваться в пламени такие стекла обрабатывать сложно.

### **Свинцоводержащие стекла**

Свинцоводержащие стекла мягкие и очень хорошо поддаются механической обработке, они легкоплавки и хорошо отливаются, кроме этого они обладают высокой оптической плотностью и хорошей способностью преломлять свет. По этим причинам они широко используются в оптике и для художественных бытовых изделий, где они часто известны как хрусталь. (Необходимо отличать от горного хрусталя – кристаллического оксида кремния, материала не являющимся стеклом. Если горный хрусталь расплавить и относительно быстро остудить то получится плавленый кварц, т. е. кварцевое стекло). Специфическая ниша таких стекол - смотровые окна, защищающие от радиации. Составы на основе свинец содержащих стекол используют для изготовления легкоплавких керамических красок по стеклу. На горелке такие стекла можно обрабатывать только в зоне пламени, где горючий газ полностью сгорел. В противном случае свинец восстанавливается до металлического состояния и образует на поверхности стекла зеркально-черное покрытие. Но с другой стороны, свинец содержащие стекла являются самыми “длинными”. То есть переход из расплавленного состояния в твердое происходит в широком интервале температуры. Трубки из свинец-содержащего стекла можно долго изгибать после разогрева на воздушном бескислородном пламени. Это свойство и сделало это стекло столь популярным у производителей газосветной неоновой рекламы.

В химической лаборатории почти всегда используется боросиликатное стекло 3,3. В редких случаях кварцевое и другие стекла. Далее будет рассматриваться почти всегда обработка боросиликатного стекла 3,3 и в некоторых случаях кварцевого стекла.

## **2. Принципы организации мастерской, технологический процесс и помещение.**

Цель данного справочника – помощь в организации стеклодувной мастерской или небольшого и не линейного производства для изготовления посуды и аппаратуры для химического эксперимента. Такая мастерская отличаться от крупномасштабного линейного (автоматизированного, конвейерного) производства большой универсальностью и сложностью производимых изделий при высокой стоимости продукции связанной с большой добавочной стоимостью (в первую очередь стоимости труда стеклодува). Технический процесс определяется возможностью производить изделия определенного размера. В первую очередь из технического процесса надо исходить при организации стеклодувного производства и покупки оборудования. Технический процесс зависит от квалификации стеклодува, наличия инструмента, горизонтально заварочного станка (ГЗС) и габаритов печи для отжига. Например, для стеклодува средней квалификации не использующего ГЗС и глубиной печи равной 600 мм, технический процесс будет 50 мм – 600 мм. То есть, возможно, производство изделий с максимальным диаметром 50 мм и длиной 600 мм. В некоторых случаях длину изготавливаемых изделий можно увеличить, отжигая по частям.

## Модули стеклодувной мастерской

№	Название
1	Склад для хранения стеклотрубки и заготовок из стекла
2	Станок для резки стекла внутренним термоударом
3	Станок для резки стекла алмазным диском и станок для резки стекла с термодиском
4	Горизонтально-заварочный станок
5	Рабочее место стеклодува
6	Мойка
7	Печная зона
8	Упаковка
9	Склад для готовых изделий
10	Откачной пост с высоковакуумной системой
При необходимости изготавливать заготовки	
11	Станок изготовления заготовок
12	Станок для шлифовки заготовок

1 модуль - 4 м<sup>2</sup>

Отжигаемая часть изделия при открытой дверце помещается в печь. Чтобы обеспечить теплоизоляцию используют штору из нескольких слоев стеклоткани, которая навешивается на место дверцы. Если есть ГЗС с отверстием в шпинделе 100 мм и печь глубиной 1000 мм, то технологический процесс будет 100 мм-1000 мм.

В дальнейшем все варианты будут сводиться к этим двум крайним случаям:

1. Организация маленькой мастерской без станков для горячей обработки стекла и рассчитанной на одного-двух стеклодувов с техническим процессом 50 мм – 600 мм.

2. Организация не большого не линейного производства, на котором работает примерно 4 стеклодува, с техническим процессом 100 мм-1000 мм и возможностью изготавливать некоторые заготовки.

Площадь помещения зависит как от наличия станков, так и от рабочих мест стеклодувов. Площадь помещения удобно считать модулями по 4 квадратных метров. Такой модуль равен рабочему месту одного стеклодува. Какие модули могут быть в стеклодувной мастерской?

Если нужна маленькая мастерская при университете с техпроцессом 50 мм-600 мм и одним стеклодувом, то необходимы модули 1, 3, 5, 7 и соответственно  $4*4=16$  квадратных метров. А если необходимо небольшое нелинейное производство и возможность изготавливать некоторые заготовки собственными силами с техническим процессом 100 мм – 1000 мм, в котором будут работать, например четыре стеклодува, то необходимы все модули и четыре рабочих места для стеклодувов. То есть  $12+3=15$  модулей \*  $4= 60$  квадратных метров. Конечно, в данном расчете не учтена административная – коммерческая часть, а также инженерные сооружения для обеспечения вентиляции, водопровода, питания газами, кислородом, воздухом.

Стеклодувные работы относятся к огневым работам и представляют заметную пожарную опасность. Здание, в котором размещена стеклодувная мастерская, должно построено из негорючих материалов. Пол, стены, потолок, мебель и инженерные коммуникации при возможности тоже должны быть из негорючих материалов. При организации освещения необходимо учитывать, что прямые солнечные лучи делают невозможным работу стеклодува с горячим стеклом и окна при необходимости должны быть занавешены. Высота потолков в стеклодувной мастерской должна быть от 3 метров.

### **3. Вентиляция, кислород, горючий газ, воздух.**

При горении стеклодувных горелок образуются кроме воды различные ядовитые продукты горения углеводородов, такие как углекислый и угарный газ, в небольших количествах кислородсодержащая органика, в некоторых случаях копоть и оксиды серы. Содержание кислорода снижается, а сам воздух нагревается. По этой причине, чтобы стеклодуву обеспечить комфортные и безопасные условия труда необходима вентиляция. Если будут проводиться работы только с боросиликатным термостойким стеклом, то вполне достаточно хорошей общей приточно-вытяжной вентиляции.

Если необходимы кварцевые работы, то обязательно над рабочим столом дополнительно ставиться направленный вытяжной щит.

Самое лучшее снабжение кислородом, горючим газом и воздухом – централизованный газопровод. Но не везде есть такая возможность.

Обычно кислород поставляется 40-литровыми баллонами. Лучше шкаф для хранения кислородных баллонов организовать на улице. Удобно получать кислород кассетами по 6-8 баллонов, которые привозит машина с краном. Если мастерская большая, то можно задуматься о кислородном концентраторе. Проблема в том, что концентраторы кислорода способные производить кислород с достаточной скоростью требуют в отличие от баллонов первоначально большие вложения. Но при надежной работе концентратора эти затраты с лихвой окупаться. В

некоторых случаях целесообразно использовать испаритель с жидким кислородом. Необходимое давление кислорода – 2-4 атмосферы.

В качестве горючего газа используется природный газ (метан) или пропан (пропан-бутановая) смесь, в более редких случаях водород. Как и кислород, природный газ поставляется в сжатом виде в 40 литровых баллонах, а пропан в сжиженном виде в пятидесятилитровых баллонах. При отсутствии сети с природным газом предпочтительнее использовать пропан. Это связано с тем, что баллоны для сжижающихся газов имеют меньший вес, а количество газа на единицу объема баллона больше чем у сжатых газов. Кроме того горелки работающие на природном газе потребляют по объему больше газа, чем работающие на пропане. При больших объемах работ и если нет возможности организовать газовую сеть с природным газом необходимо соорудить вне помещения газовый газгольдер для снабжения мастерской пропаном. В подавляющем большинстве случаев для питания горелок пропаном смесью используется давление в 50 миллибар (~ 0,05 атмосферы). Чтобы обеспечить такое давление используются специальные не регулируемые редукторы с фиксированным давлением 50 миллибар. Кроме того такое низкое давление позволяет снизить риск утечки газа. В остальных случаях используется давление 1-2 атмосферы.

При необходимости использования водорода его поставляют обычно в 40 литровых стандартных баллонах. При больших объемах работ целесообразнее использовать мощный электролитический генератор водорода. Необходимое давление для горелок, питаемых водородом - 0,5-2 атмосферы.

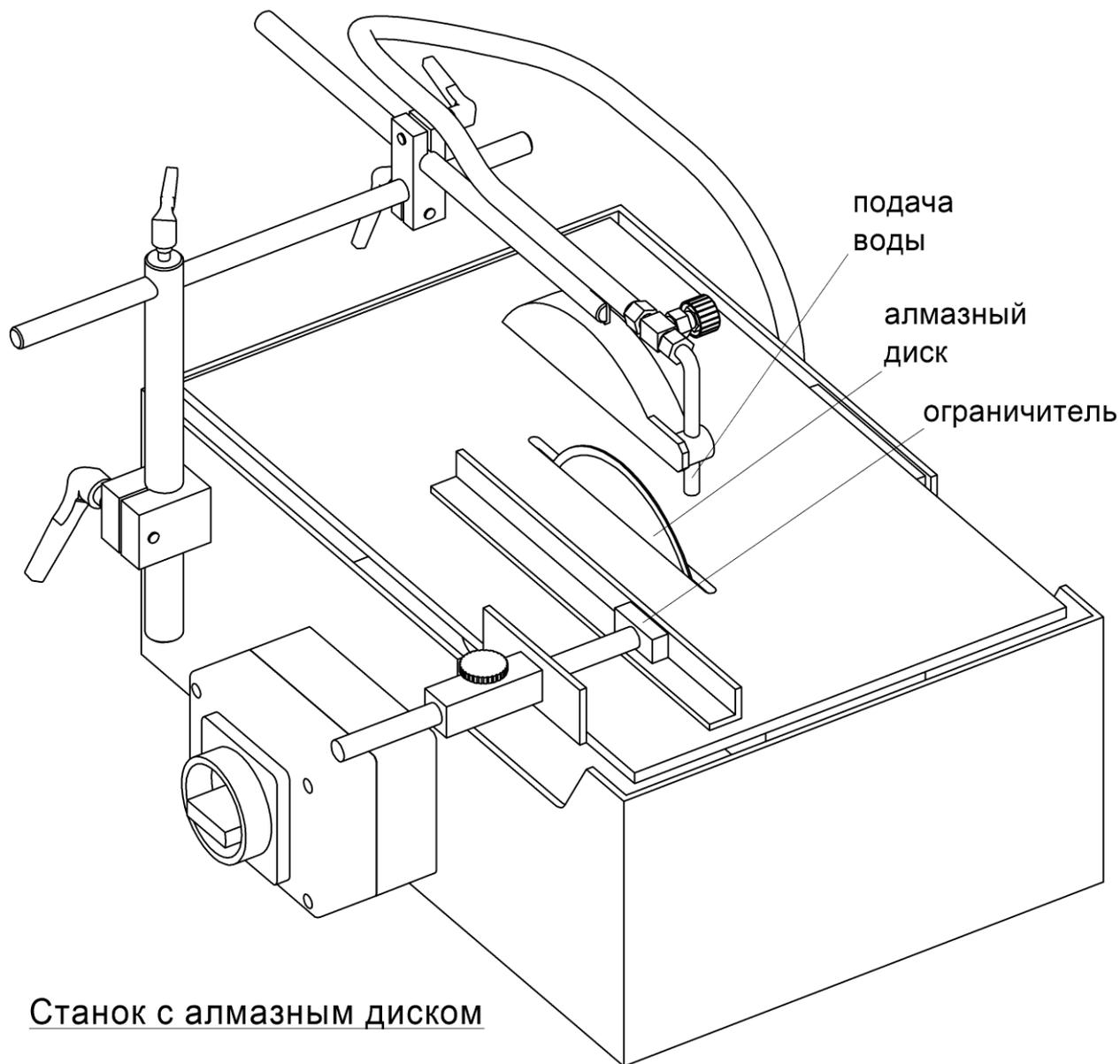
Для обеспечения мастерской воздухом, если нет воздушной линии, то используют компрессоры. Воздух обязательно должен быть пропущен через воздушный фильтр с предохранительной емкостью, чтобы избавиться от влаги, пыли и частичек масла. Для горелок обычно достаточно 1-2 атмосфер. Кроме горелок сжатый воздух может использоваться в пневматических системах, где необходимо давление 6-8 атмосфер.

При монтаже газовых коммуникаций используют металлические трубы. Около рабочего места, труба должна заканчиваться штуцером. Штуцер с горелкой соединяют специальными резиновыми шлангами, с внутренней оплеткой из нитей. Все соединения штуцеров со шлангами обязательно должны быть зажаты хомутами, чтобы избежать утечек газа, а при большом давлении и срыва шланга. Перед началом использования газовых коммуникаций, а далее раз в год все соединения должны быть помылены с помощью мыльной пены для поиска и устранения утечек.

#### **4. Механическая обработка стекла**

В небольшой мастерской, например при университете при технологическом процессе 50 мм- 600 мм для механической обработки стекла вполне достаточно одного стола с двумя станками. Если объем работ в мастерской не большой, то можно использовать только станок с алмазным диском, который полностью заменяет станок с термодиском.

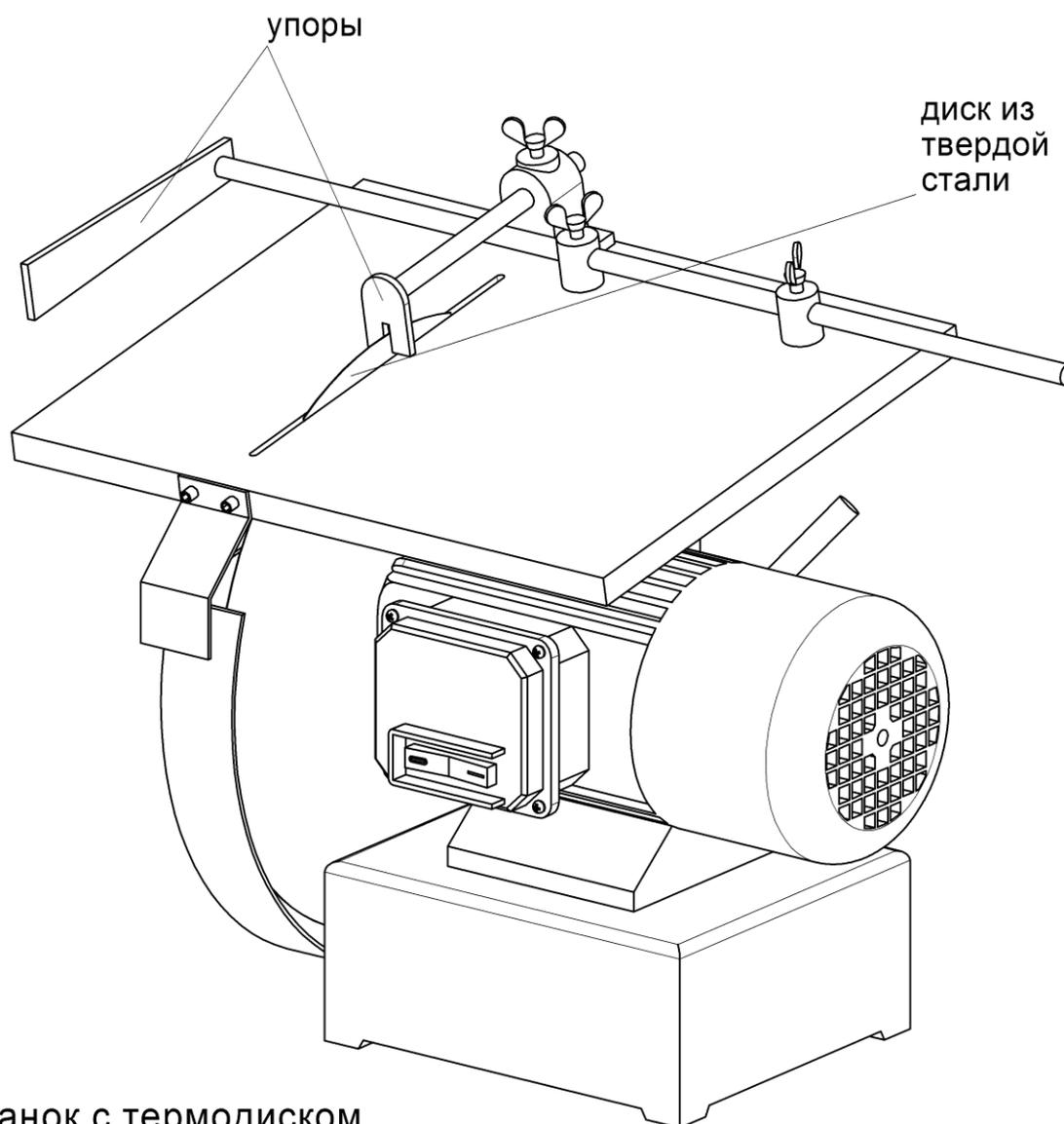
Первый станок - с алмазным диском. Основу алмазного диска обычно изготавливают из стали, а алмазная связка делается из бронзы. На нем можно резать стеклотрубку почти любого диаметра и под любым углом. Разрезать трубку можно как поперек, так и по вдоль. Недостаток такого станка – для охлаждения при резке используется вода.



**Станок с алмазным диском**

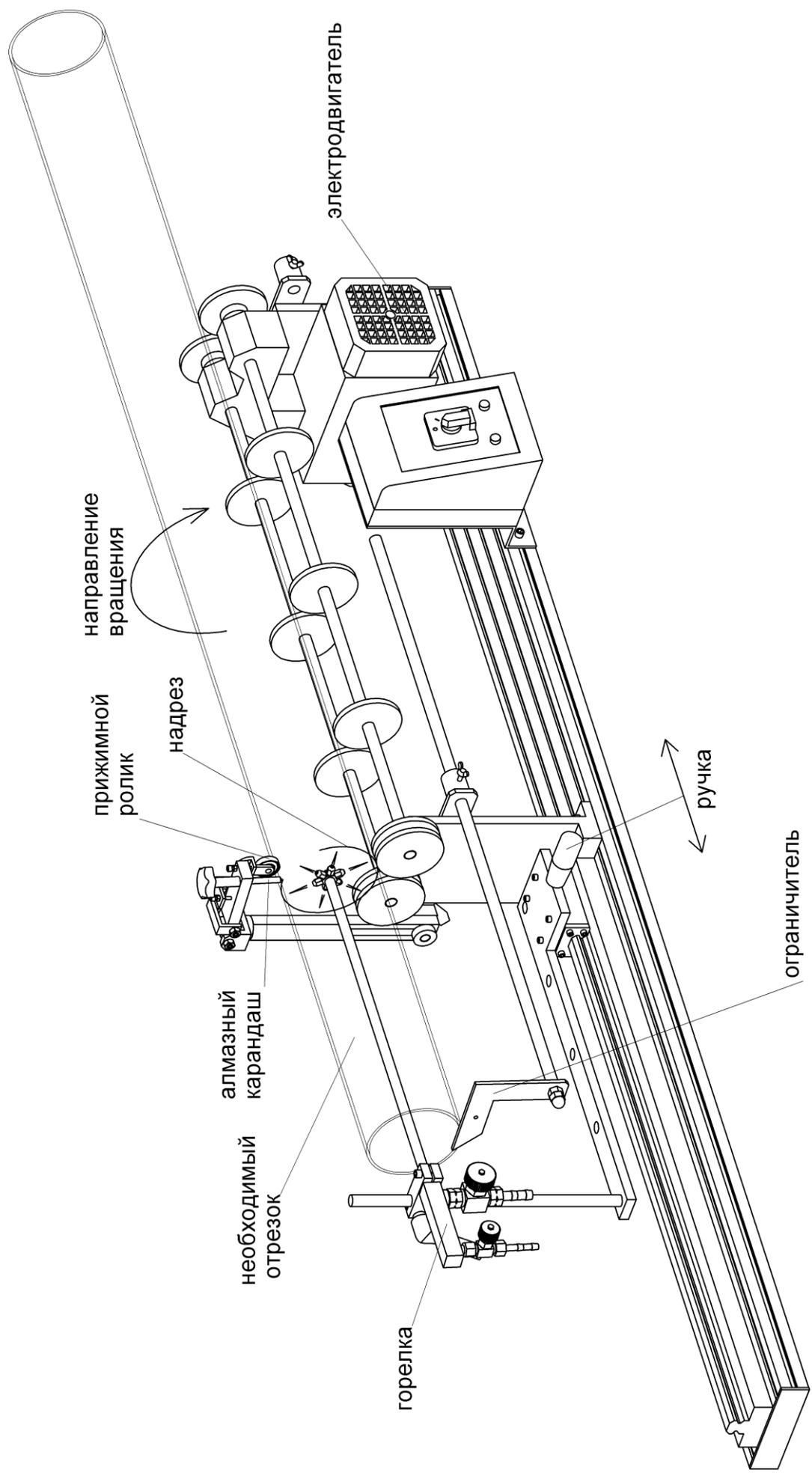
Смачивать диск водой можно двумя способами. В первом случае вода подаётся небольшим насосом из станка на часть диска вращающуюся вниз. Во втором случае алмазный диск смачивается небольшим погружением в воду. Уровень воды необходимо отрегулировать так, чтобы диск был хорошо смочен, но при этом не расплескивал воду. Для поддержания постоянного уровня воды можно использовать перевернутую емкость. Если по каким-то причинам эти два способа не получается использовать, то смачивать диск можно при помощи прислоненной к нему мокрой губки. Чтобы избежать расплескивание капелек воды вместе со стеклянной крошкой часто вместе с станком используют защитный экран из металла или органического стекла. Из-за образования при резке стеклянного порошка и осколков стекла после резки трубку надо тщательно промывать, и затем сушить. Срез получается матовый и немного шершавый. Если после резки торец трубки хорошо не промыть, то в дальнейшем на спае шов из пузырьков будет гораздо заметнее. При резке тонкого стекла, например ЯМР ампул удобно использовать специальные алмазные диски с полимерной связкой. Такой диск гораздо деликатнее режет стекло. На станке с алмазным диском можно резать любые стекла, а для кварцевого стекла - это основной способ резки.

Станок с термодиском, необходим в тех случаях, когда надо быстро нарезать одинаковые отрезки труб, при массовом изготовлении заготовок или изделий. В таком станке используется диск, из твердой стали вращающийся с высокой скоростью. Станок позволяет осуществлять сухую резку стеклотрубки диаметром до 30- 40 мм, но только при резке трубки поперек, под прямым углом. Срезы на таком станке получаются чистые и прозрачные. Резать кварцевое стекло на термодиске не получится. Но на кварцевом стекле небольшого диаметра (примерно до 10 мм) можно делать надрезы при резке на излом. Это удобно когда надо нарезать много одинаковых отрезков.



Станок с термодиском

При небольшом нелинейном производстве с техническим процессом 100 мм-1000 мм кроме вышеупомянутых станков для резки стекла необходим станок для резки внутренним термоударом. На таком станке можно быстро нарезать трубку диаметром от 8 до 150 мм (и больше) на одинаковые отрезки. Как и при резке на станке с термодиском срез получается чистый и прозрачный. Резать стеклотрубку можно только поперек.



Станок для резки внутренним термоударом

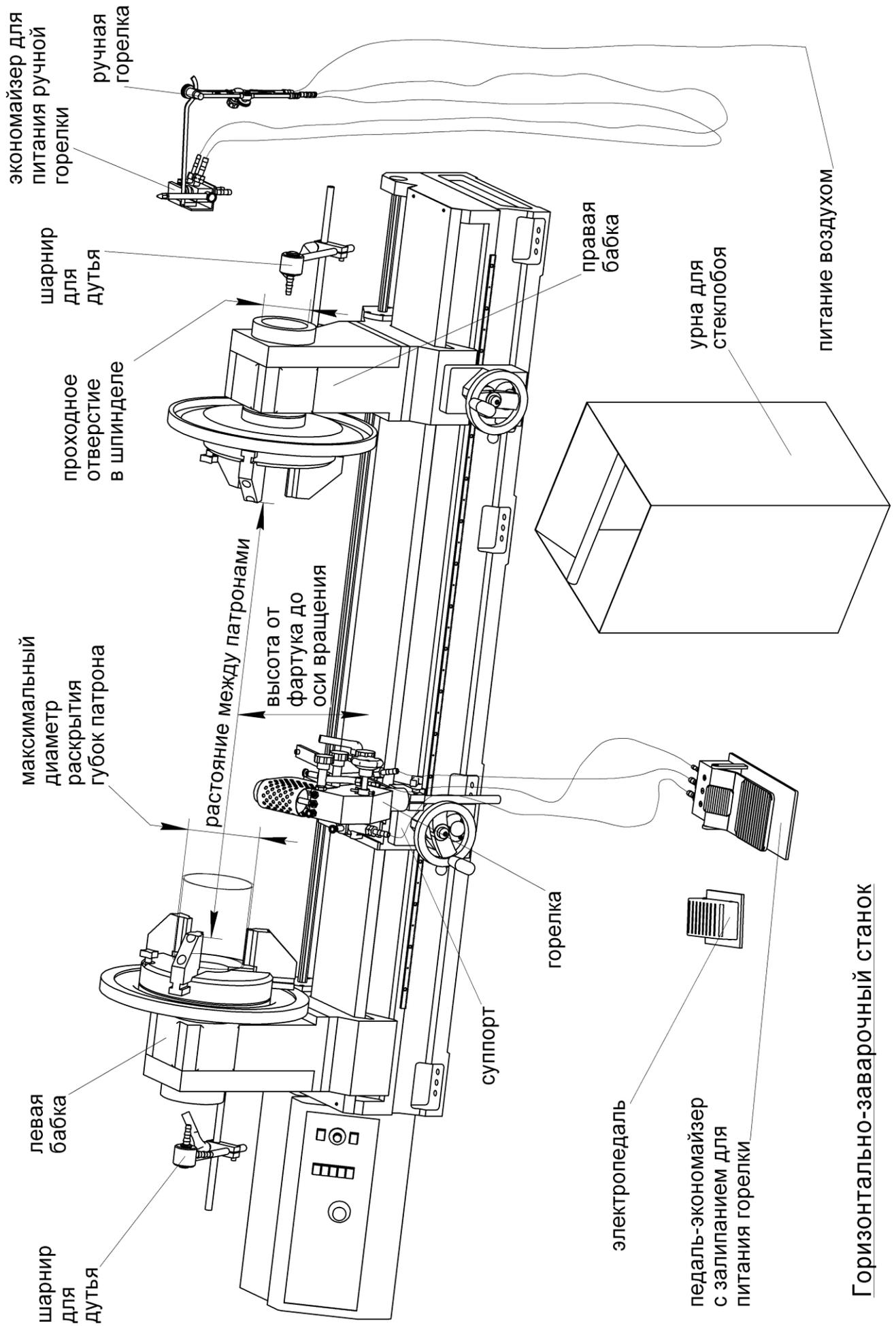
Такой станок используется при изготовлении партий различных заготовок и изделий. Кварцевое стекло из-за его высокой термостойкости такой станок резать не может.

При изготовлении шлифованных соединительных элементов необходим станок для вертикальной шлифовки. Такой станок похож на станок для сверления, но у него есть специальный щит, предотвращающий разбрызгивание воды и насос, который качает воду для охлаждения. В качестве рабочего инструмента используются алмазные притиры. Но алмазный инструмент не всегда позволяет получить необходимое качество поверхности. Для более тонкой шлифовки иногда используется горизонтальный шлифовальный станок. В качестве рабочего инструмента используются притиры из чугуна вместе с порошком карбида кремния смоченного в воде.

В редких случаях проводят сверление, и фрезерование стекла, используя для этого соответствующие станки.

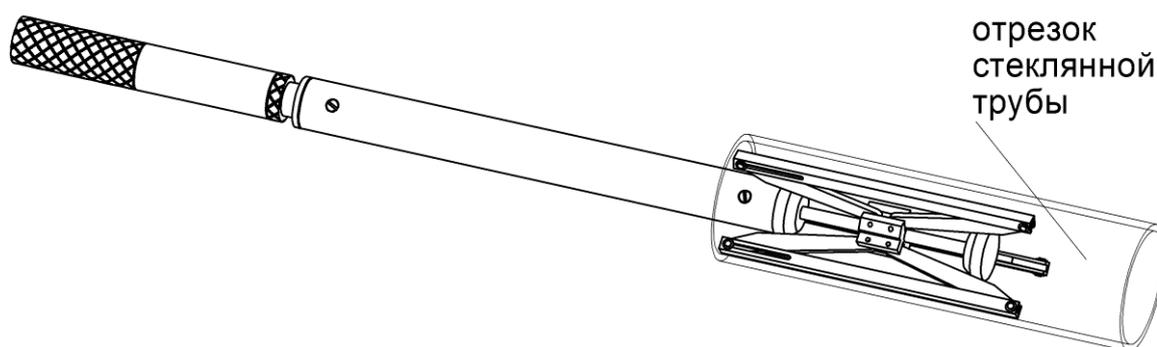
## **5. Станки для горячей обработки стекла**

В небольшой мастерской с одним стеклодувом и технологическим процессом 50 мм-600 мм возможно вообще обойтись без станков, во многих случаях тяжелые изделия можно сделать на роликах. В том случае если необходим технологический процесс 100 мм – 1000 мм обязательно нужен горизонтально-заварочный станок (ГЗС). Кроме изготовления крупных изделий ГЗС позволяет более аккуратно выполнить работу и в некоторых случаях ускорить изготовление. На нем более легко получить воспроизводимость качества изделий. В отличие от работы за стеклодувным столом вращение стекла осуществляется станком и стеклодув получает большую свободу при работе горелками и инструментами. Станок состоит из двух бабок с синхронно вращающихся шпинделями и патронами. Обе бабки или одна из них способна, свободно перемещаться вдоль станка. Между бабками на станине станка есть подвижный суппорт, на котором закрепляются горелки или различный инструмент. С обратной стороны шпинделя предусмотрены шарниры для дутья при работе. Основная характеристика ГЗС – проходное отверстие в шпинделе, именно этот размер ограничивает диаметр стеклотрубки при изготовлении длинных изделий. При изготовлении более коротких изделий диаметр стеклотрубки ограничивается раскрытием патрона. Кроме обычного патрона с улиткой, который используется для зажима стеклотрубки на шпинделе можно поставить планетарный патрон, предназначенный для зажима больших колб и шарообразных изделий. Второй важный параметр – высота от фартука на станине станка до оси вращения. Этот размер определяет, какие максимальные по диаметру изделия можно изготавливать на станке и какой максимальный размер инструмента, который можно зажать в патрон. Третья важная характеристика – расстояние между патронами, когда бабки полностью разведены в разные стороны. Этот размер ограничивает длину изготавливаемого изделия, и чем он больше, тем удобнее работа на станке. Шпиндели могут синхронно вращаться в одну или другую сторону и имеют плавную регулировку скорости примерно от 3 до 300 оборотов в минуту. Включать и останавливать вращение удобно с помощью напольной педали. При работе на станке почти всегда используются две горелки. Одна устанавливается на суппорте. На небольших станках в качестве стационарной горелки обычно используется горелка Zenit, а на больших радиальная многоголовая горелка.



Горизонтально-заварочный станок

Горелка на суппорте обычно имеет не очень горячее ламинарное пламя и нужна для разогрева, обогрева и частичного отжига стекла. Паяют же обычно ручной горелкой, у которой узкое и более горячее, турбулентное пламя. Использование при работе одновременно двух горелок позволяет значительно ускорить работу и повысить ее качество. Кроме того боковые отводы можно припаять только ручной горелкой. Держатель для ручной горелки обычно устанавливают на правую бабку станка или используют отдельный держатель, тоже, как правило, с правой стороны. Очень удобен держатель-экономайзер, который пламя ручной горелки отключает, когда горелка вешается на него. Зажечь горелку снова можно от дежурного пламени на экономайзере. При этом отрегулированное положение кранов остаётся прежним. Горелку, используемую на суппорте также желательно подключить через напольную педаль-экономайзер для отключения рабочего пламени в необходимое время. Для небольших работ на ГЗС используется тот-же самый инструмент, что и при работе на стеклодувном столе. При крупных работах используется инструмент с более длинными ручками, чтобы не обжечь руки. Также при таких работах необходимо использовать рукавицы из кевлара или подобного термостойкого материала для защиты от сильного теплового излучения. Инструмент, который предназначен для использования только на станке – это разнообразные державки, они обычно имеют большой вес и для ручной работы их использовать нельзя. Самые распространенные из них - это внутренний держатель трубы, используемый при выполнении дьюаровских спаев.

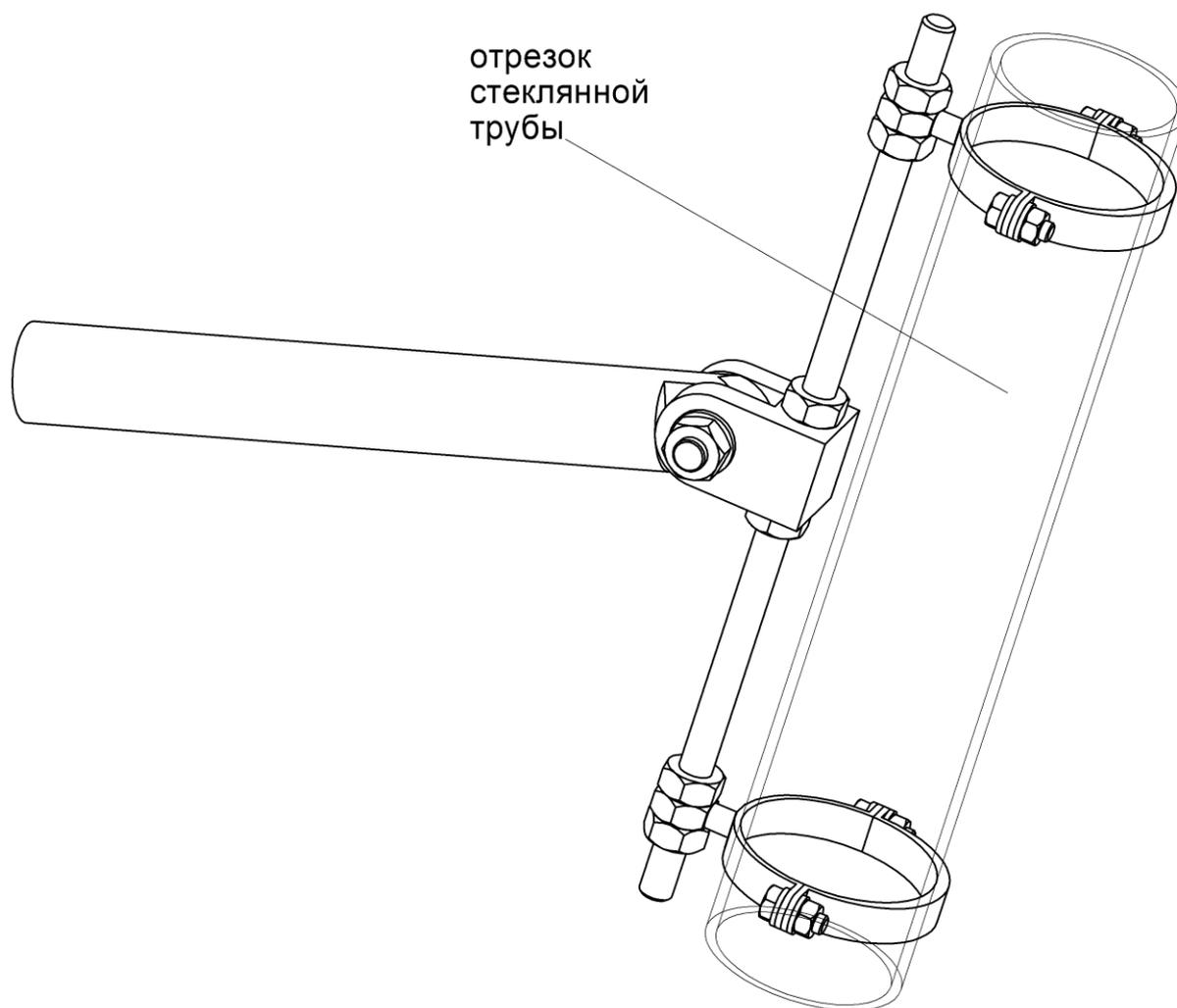


### Внутренний держатель трубы

Боковой держатель трубы необходимый при выполнении боковых спаев, как под прямым углом, так и под другими углами.

Кроме этих держателей используются самые разнообразные державки для зажима сосудов, разнообразных фланцев и других припаяваемых заготовок. Для дутья необходимо к шарнирам с обратной стороны бабки присоединить силиконовые шланги. В качестве загубника очень удобно использовать изогнутый пластмассовый штуцер, который используют для соединения со стеклянной резьбой GL 14 с помощью накидной гайки. Желательно, чтобы шарниров было два, чтобы была возможность поддувать с обеих сторон.

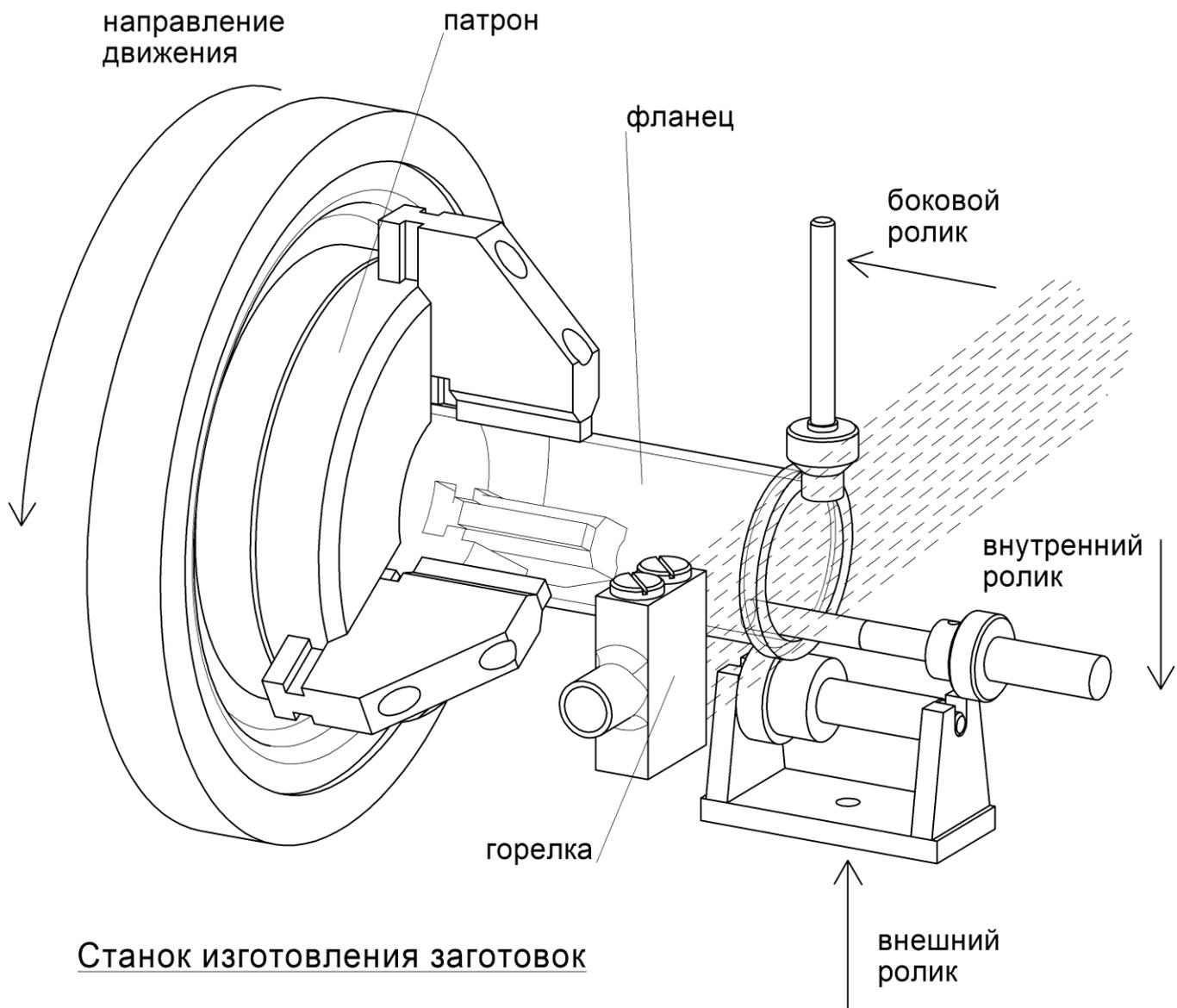
Кроме ГЗС для горячей обработки стекла используют формующие станки для изготовления различных заготовок.



### Боковой держатель трубы

Для изготовления фланцев, штуцеров, конических и сферических соединительных элементов и других заготовок, имеющих симметрию вращения, а также, например стеклянные резьбы используют станок для изготовления заготовок (СИЗ). СИЗ бывает разных масштабов и разной степенью автоматизации. От настольных маленьких станков с ручным управлением до сложных роботизированных систем, состоящих из восьмипатронного формующего робота и транспортного робота, который подает формующему роботу отрезки стеклотрубки и забирает у него уже сформованные заготовки. Опишем настольный СИЗ с ручным управлением.

В таком станке при вращении разогретый край стеклотрубки формируется различными роликами. Один ролик заходит внутри трубки, второй обкатывает ее снаружи и третий выравнивает с торца. Станок состоит из шпинделя с патроном, в который зажимают отрезок стеклотрубки. Справа от патрона находятся суппорт, на котором устанавливается внутренний и боковой ролик. Формующие ролики делают из специального чугуна и при работе их поверхность необходимо немного смазывать специальной высокотемпературной смазкой с графитом и дисульфидом молибдена. Когда на роликах тонкая пленка такой смазки, то формование проходит легко, а поверхность стекла остаётся чистой и прозрачной.

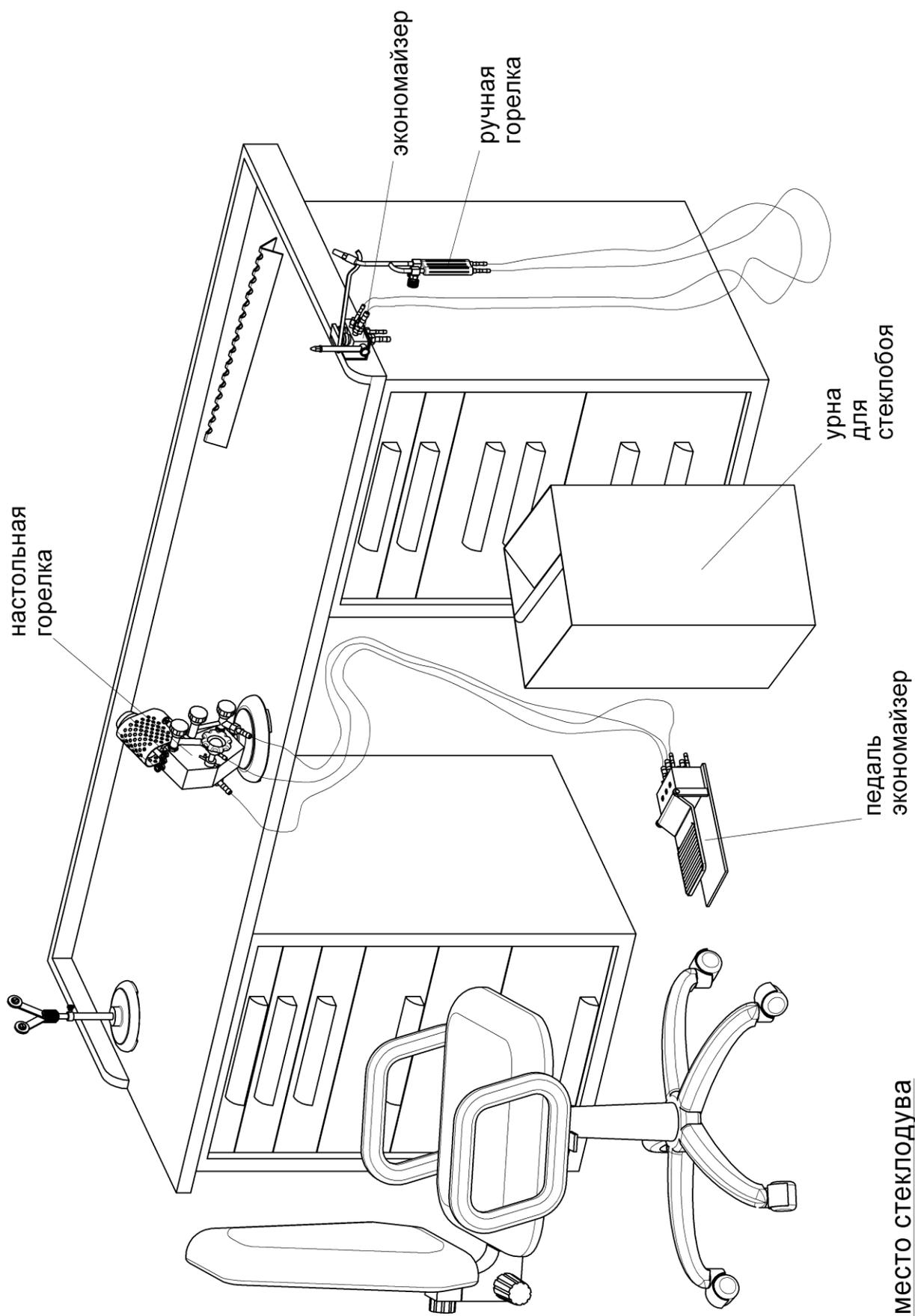


Внизу оси вращения шпинделя устанавливается суппорт приводимый пневмоцилиндром для внешнего ролика. Впереди от оси вращения устанавливается горелка управляемая экономайзером. В некоторых случаях используют горелку, подвешенную на пружинной лебедке. Шпиндель станка приводится в движение двигателем с двумя скоростями, который управляется двумя напольными педалями. Первая педаль включает и выключает вращение шпинделя, вторая включает высокую скорость. Низкая скорость используется для разогрева и скопления стекла, высокая скорость для формования.

Кроме СИЗ есть станок для изготовления спиралей. На таком станке конец стеклотрубки зажимается в специальный боковой патрон. Трубку разогревает небольшая горелка со встречным пламенем, и патрон начинает вращаться, одновременно двигаясь в сторону навивая спираль необходимого размера.

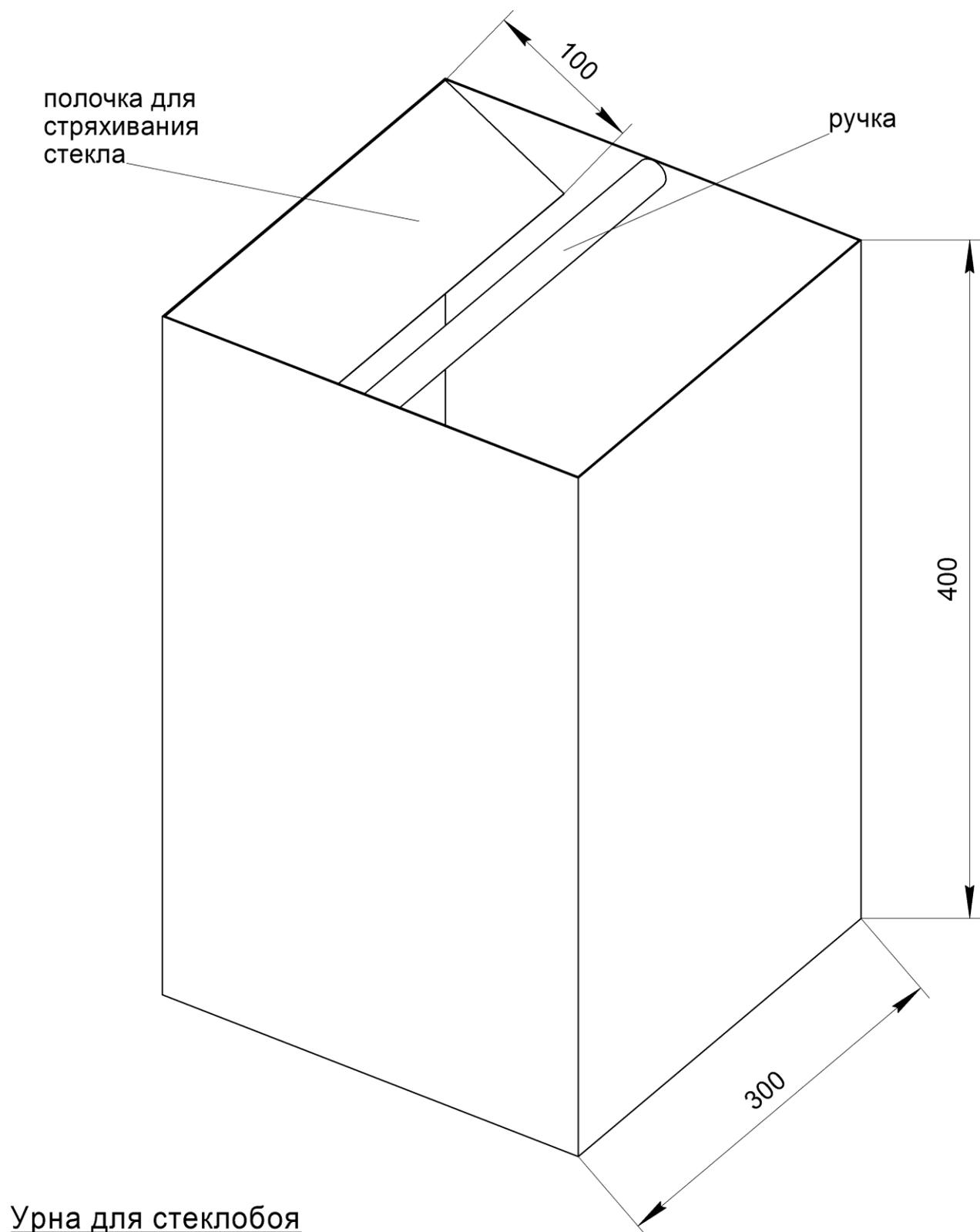
## 6. Рабочее место стеклодува и горелки

Рабочее место стеклодува состоит из стола, кресла, урны для стеклобоя и горелок.



**Рабочее место стеклодува**

Стол должен иметь столешницу с термостойким покрытием и высокие борта, чтобы предотвратить скатывание стекла. Самый оптимальный размер столешницы примерно 800\*2000 мм. Изготовление урны лучше заказать жестянщику из оцинкованной жести.



Урна для стеклобоя

Кресло можно использовать обычное офисное. Справа над столом желательно прикрепить держатель для ручной горелки. В качестве такого держателя удобно использовать экономайзер, который отключает пламя, когда горелку вешаешь на него.

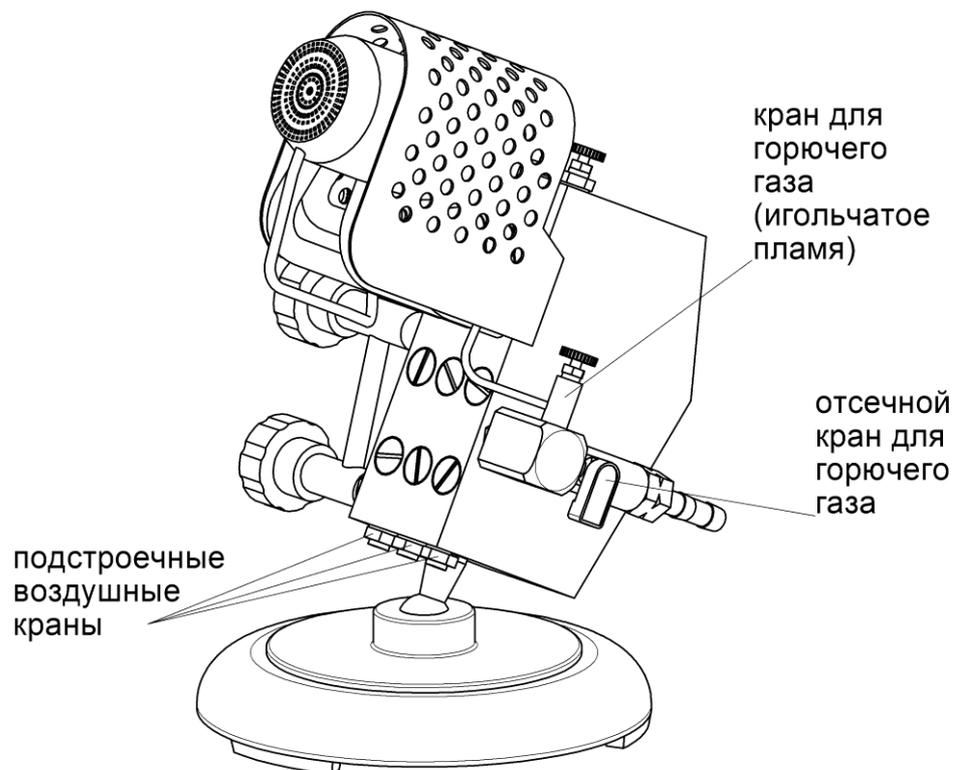
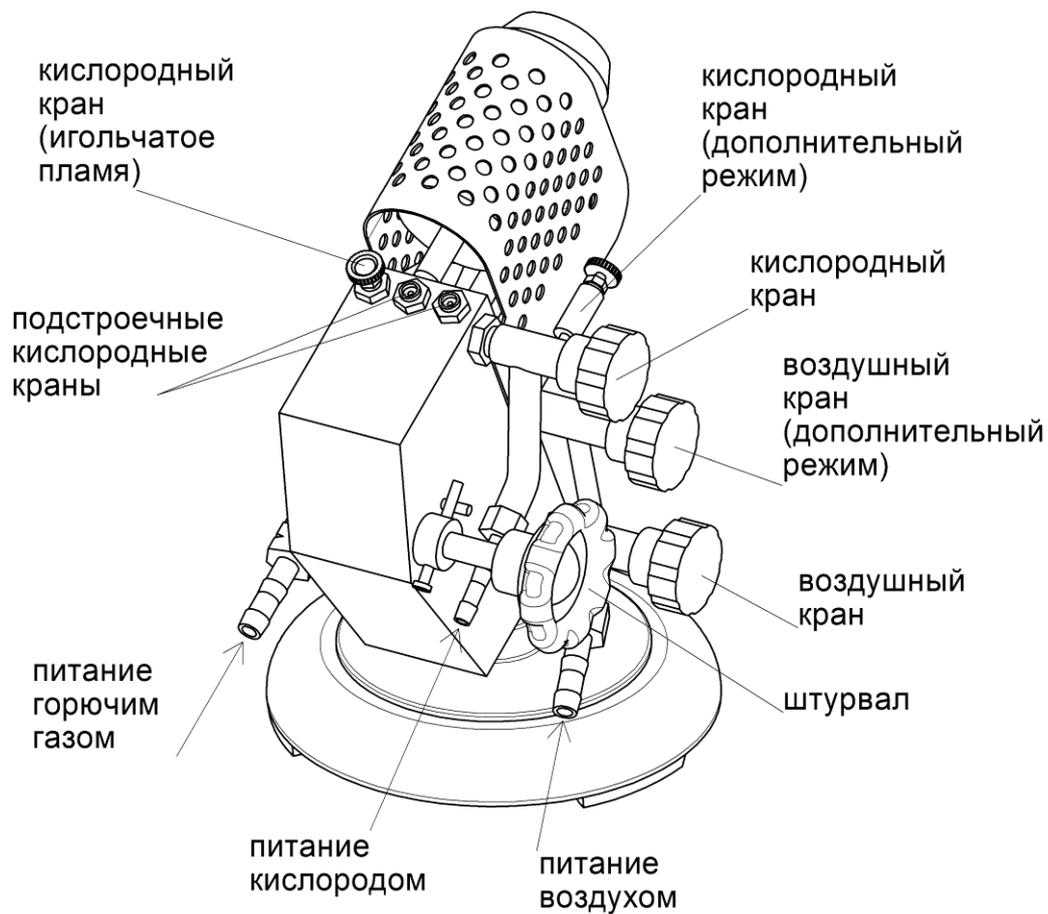
Под столешницей должны быть подведены шланги для питания горелки горючим газом, кислородом и воздухом. Если используется несколько горелок, то подключение необходимо снабдить быстроразъемными соединениями. На полу под столом желательно использовать педаль-экономайзер. Такая педаль-экономайзер позволяет удобно и быстро переводить рабочее пламя в дежурный режим. Кроме удобства в работе это позволяет экономить горючий газ и кислород. Воздух меньше загрязняется продуктами горения. Педаль-экономайзер бывает двух типов. Обычная - нажимаешь постоянно на педаль - горит рабочее пламя, отпускаешь педаль - пламя переводится в дежурное. Второй тип это педаль-экономайзер с “залипанием”. Для включения рабочего пламени достаточно один раз нажать и отпустить, чтобы перевести пламя в дежурный режим надо нажать еще раз.

Самый главный инструмент стеклодува - горелки. Все горелки можно разделить на два типа. Настольные горелки, которые можно использовать не только при работе на столе, но и при работе на станке. Ручные горелки также используются как при работе на столе, так и при работе на различных станках. При отсутствии стеклодувных горелок можно использовать небольшую сварочную горелку с набором сменных колпачков. Такую горелку можно использовать как ручную, так и как настольную, если изготовить надежное крепление, позволяющее закрепить ее на краю стола. Автор при временном отсутствии стеклодувных горелок успешно использовал такую сварочную горелку для обработки, как кварцевого, так и боросиликатного стекла 3,3.

Среди всего многообразия настольных горелок используемых в стеклодувном деле на данный момент наиболее популярны три вида. Почти все производимые горелки (как настольные, так и ручные) имеют исполнения, работающие как на пропане, так и на природном газе или водороде.

Чаще всего при работе используются три вида горелок:

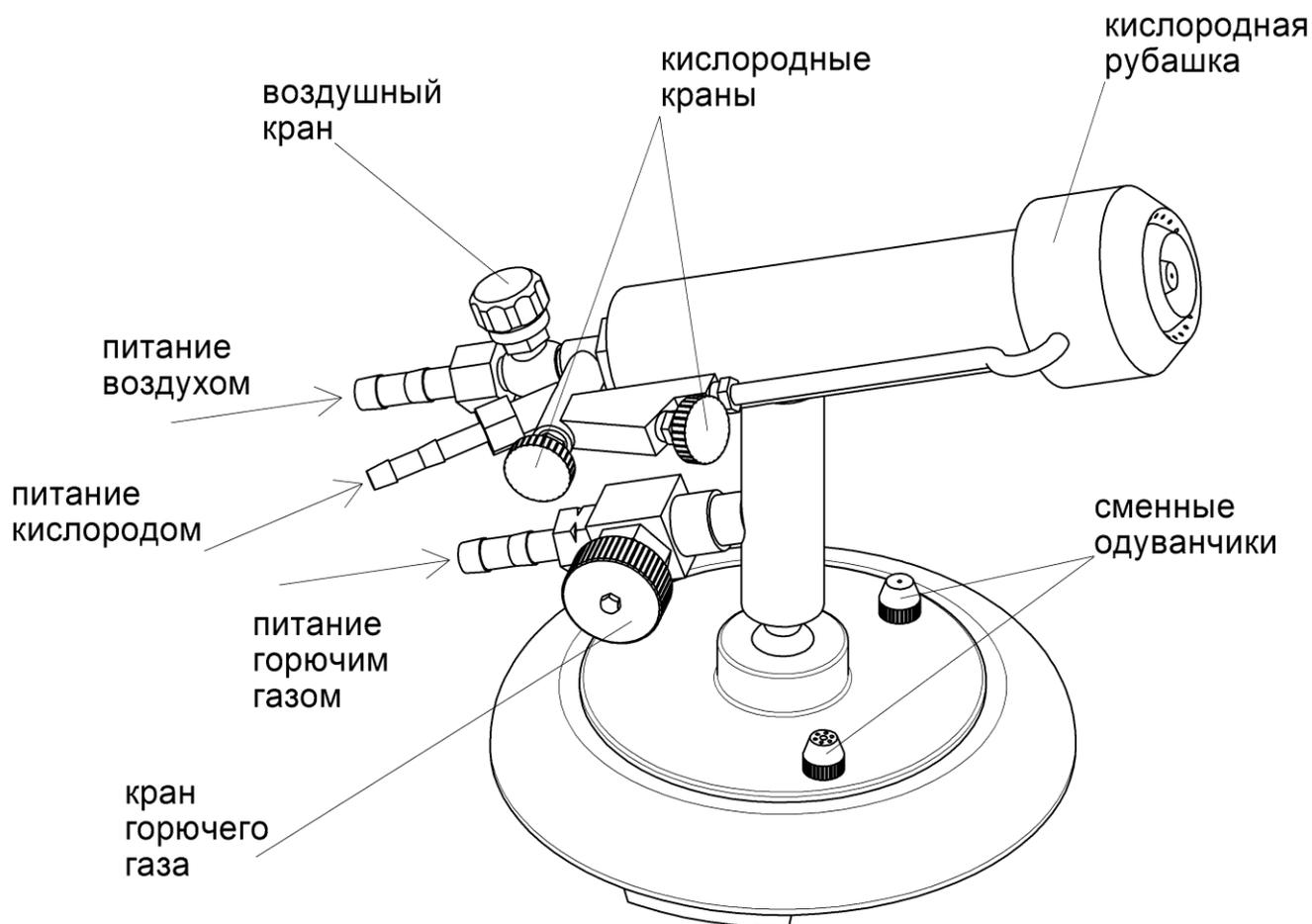
1. Горелка Zenit. На данный момент это самая удачная модель, популярность которой быстро растет. Эта капиллярная горелка с поверхностным смешиванием. В основном режиме у нее ламинарное и почти бесшумное пламя, которое регулируется от игольчатого до самого большого одним большим штурвалом, что очень удобно при работе. В этой горелке используется воздух, для того чтобы при большом пламени белое свечение конуса не ослепляло стеклодува (при питании горелки пропаном или натуральным газом). Кроме этого воздух используется в дополнительном режиме, при котором подается добавочный кислород в крайние капилляры. Основное назначение дополнительного режима - отжиг в пламени изделий из боросиликатного стекла. Пламя дополнительного режима несколько ниже по температуре основного и риск деформации изделия при отжиге в пламени гораздо ниже. Кроме этого дополнительный режим может использоваться для работы с легкоплавкими стеклами. Таким образом, эта горелка подходящая идеально для боросиликатного стекла 3.3 перекрывает почти все стекла - от небольших работ с кварцевым стеклом до работ с легкоплавкими стеклами. Самая главная характеристика настольной горелки это ее способность переплавлять трубку определенного диаметра.



Горелка "Zenit"

Разные модификации горелки Zenit могут перетягивать трубу из боросиликатного стекла 3.3 от 80 мм до 120 мм в диаметре. Для правильной работы горелки необходим специальный редуктор для горючего газа. Такой редуктор на выходе дает фиксированное давление (например, для пропана 50 миллибар). Если питать горелку от обычного редуктора при давлении примерно в атмосферу, то пламя на горелке Zenit не будет правильно регулироваться.

2. Горелка с добавочным кислородом известная в Германии как «тюрингенская горелка», а в России как «карповская горелка».

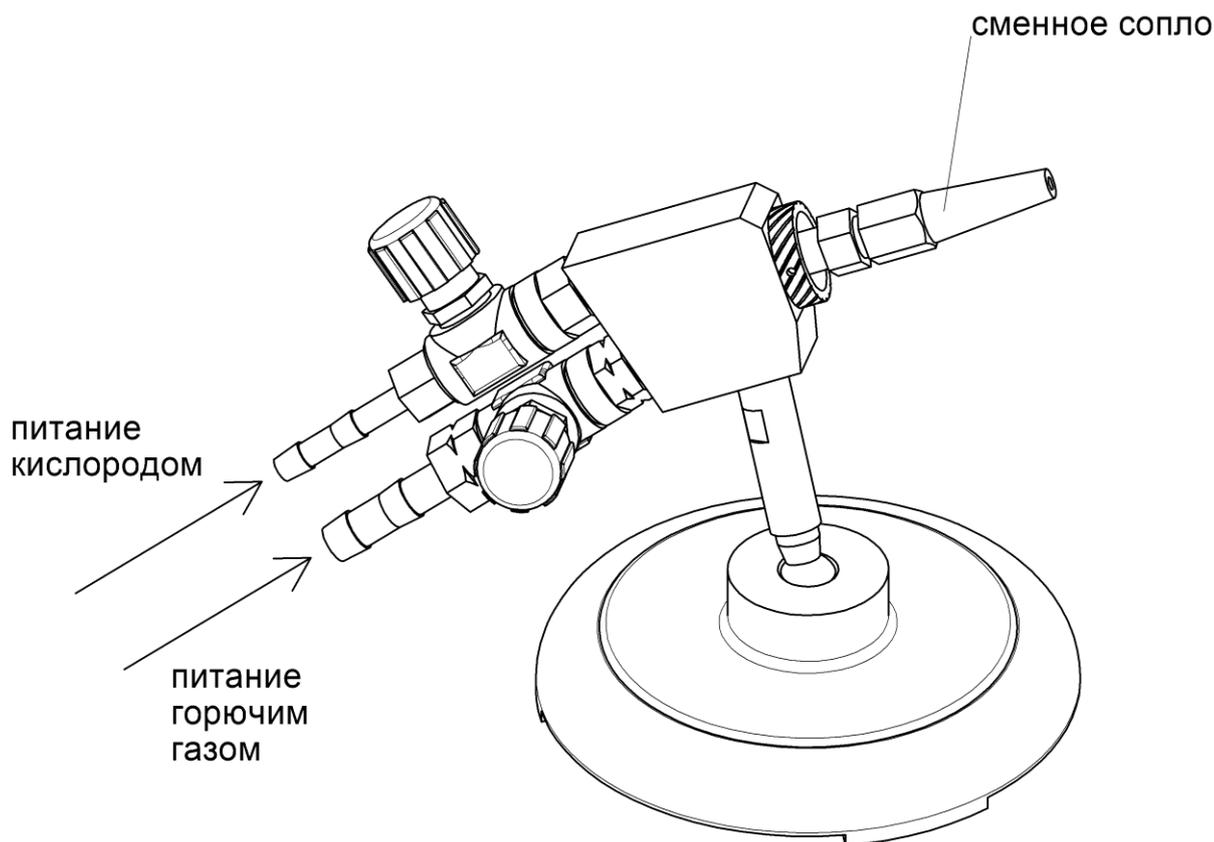


### Тюрингенская горелка

Также питается горючим газом, кислородом и воздухом. Эта горелка имеет тоже поверхностное смешивание, но пламя имеет более турбулентные свойства, чем у горелки Zenit и по этой причине более шумное. Горелка идеально подходит для работы с боросиликатным стеклом и до появления горелки Zenit была основной горелкой для стеклодувных работ многие десятилетия.

3. Горелка с предварительным смешиванием используемая часто, как кварцевая горелка.

Такая горелка может иметь колпачки, как с одним соплом, так и с несколькими соплами. Известна также модификация, где используется моносопло в виде окружности.



### Горелка с предварительным смешиванием (кварцеводувная горелка)

Пламя при использовании колпачков с большими соплами имеет выраженную турбулентность и высокую температуру. Кроме кварцеводувных работ такая горелка может с успехом использоваться и для небольших работ с боросиликатным стеклом 3.3.

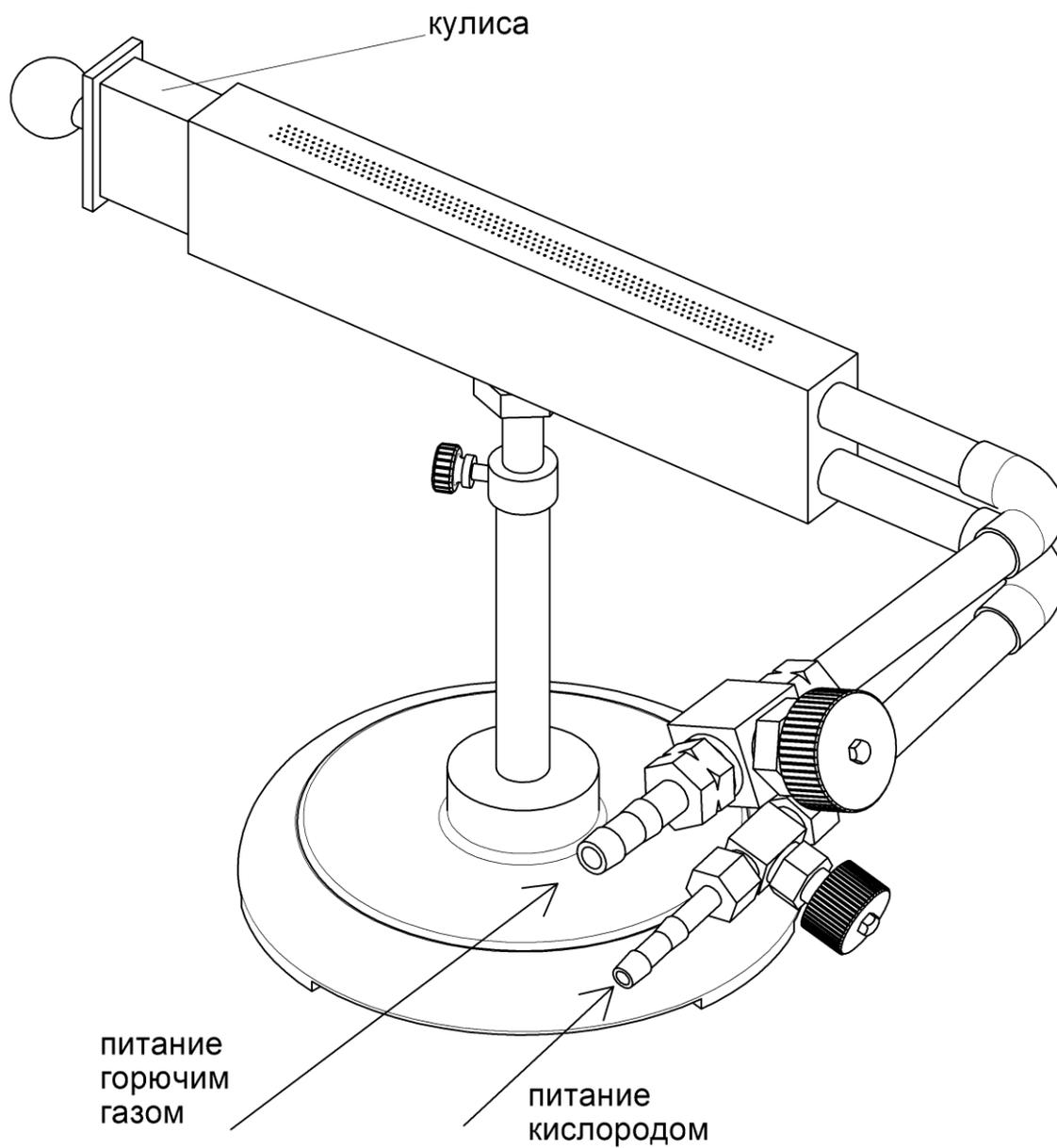
Кроме универсальных горелок в стеклодувных мастерских для выполнения изгибов с большим радиусом используются специальные ленточные горелки. Такая горелка дает вытянутое по горизонтали пламя, длину которого можно регулировать кулисой.

Ручные горелки по конструкции головы подобны настольным и имеют схожие характеристики.

Ручная капиллярная горелка с поверхностным смешиванием, по характеру пламени подобна горелке Zenit. Но регулировка пламени производится более сложно несколькими кранами.

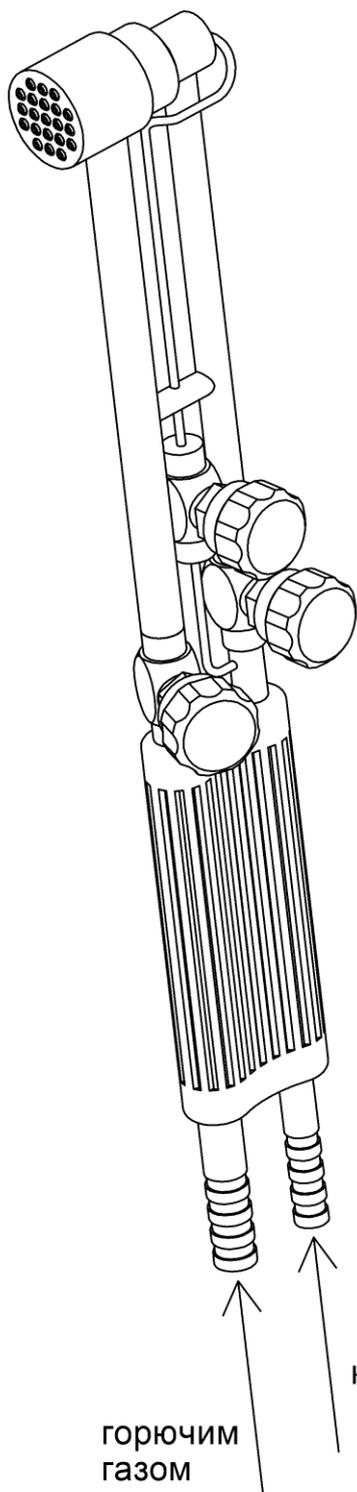
Ручная горелка с добавочным кислородом, как и настольная горелка, имеет турбулентное, пламя. Пожалуй, эта горелка наиболее удобна при работе, например на станке, поскольку дает жесткое и горячее пламя, которое необходимо при припайке спаев большого диаметра.

Ручная горелка с предварительным смешиванием и моносоплом подобна настольной кварцеводувной горелке.

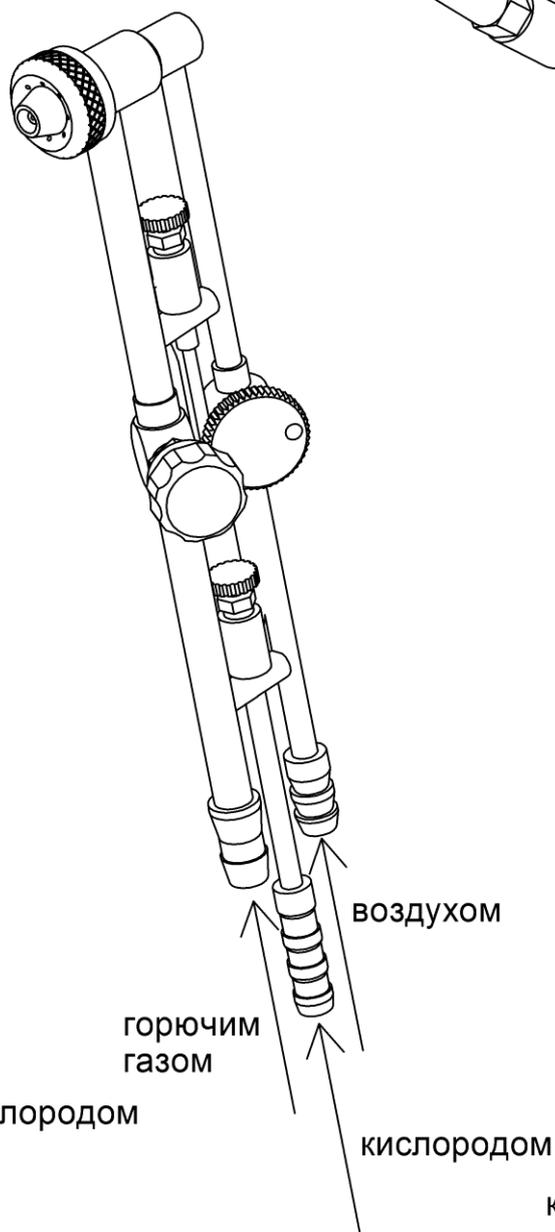


Ленточная горелка

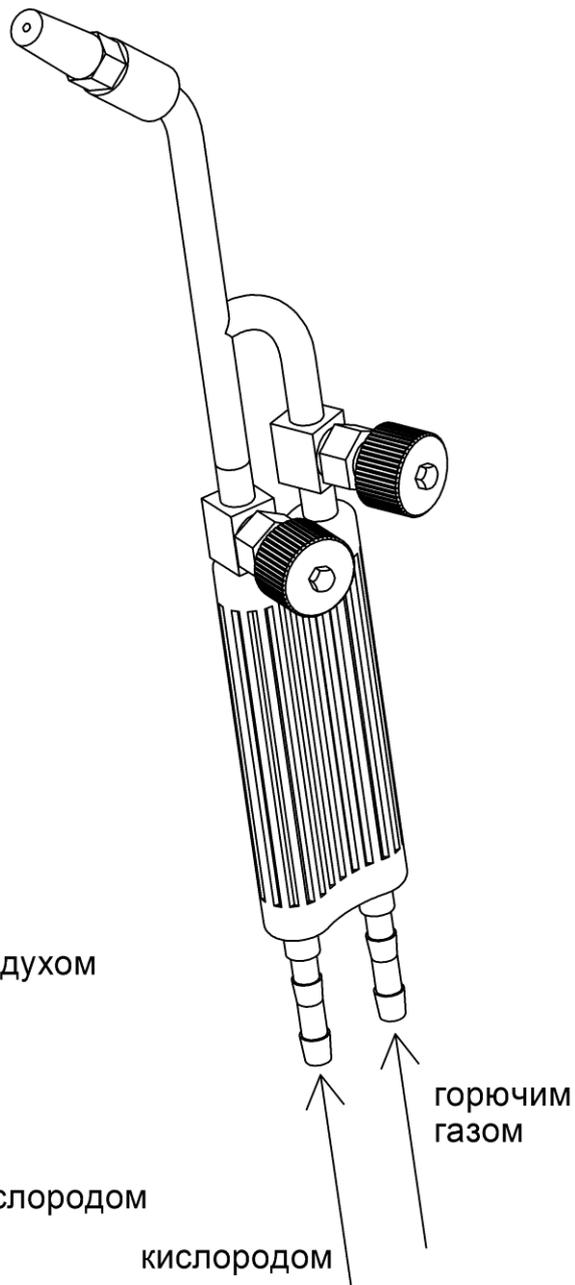
ручная  
капиллярная  
горелка с  
поверхностным  
смешиванием



ручная  
горелка с  
добавочным  
кислородом



ручная  
горелка с  
предварительным  
смешиванием  
и моносоплом



Ручные горелки

## 7. Инструмент и вспомогательные материалы

Почти весь стеклодувный инструмент можно использовать, как при работе на столе, так и при работе с горячим стеклом на станках.

### Средства защиты

При механической обработке стекла необходимо обязательно использовать очки из органического стекла, чтобы избежать попадания в глаза осколков стекла и брызг воды. При горячей обработке боросиликатного стекла 3,3 в пламени горелки для защиты глаз используют дидимовые очки. Такие очки защищают не только от осколков стекла, но и от различного излучения, которое вредно для глаз от теплового, до видимого и ультрафиолетового. Но самое главное качество дидимовых очков это полностью вырезать желтое свечение натрия, которое не только вредно для глаз, но сильно мешает работе. Работать в дидимовых очках удобно и безопасно. Для кварцевдувных работ используют очки с более сильной защитой от ультрафиолетового света. Стекла таких очков обычно темно-коричневого или темно-синего цвета. Часто стекла у кварцевдувных очков занимают  $\frac{2}{3}$  оправы, чтобы стеклодув мог смотреть поверх стекла, когда кварцевое стекло остыло.

Кроме дидимовых очков для работы необходимы рукавицы или перчатки из термостойкого материала например Кевлара (в России аналог - Арселон). Такие рукавицы защищают руки от сильного теплового излучения при обработке крупных изделий, особенно когда в руках горелки или инструмент. Кроме теплового излучения рукавицы нужны для перемещения горячего стекла, например со станка, прямо в горячую печь для отжига. Также в них удобно держать горячие изделие при работе на столе.

### Поддерживающий

Поддерживающий инструмент необходим для того чтобы дать стеклу или инструменту дополнительную опору и провести работу более точно и аккуратно.

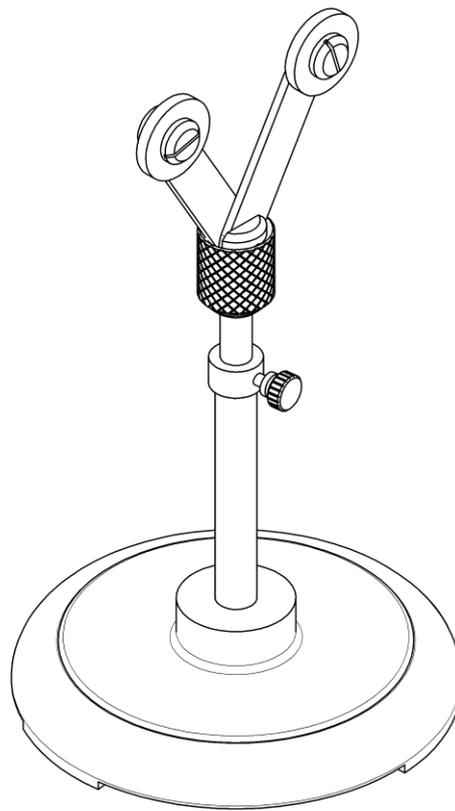
Дисковые ролики используются для вращения крупных цилиндрических изделий диаметром примерно от 30 мм и больше, когда уже руки не позволяют обеспечить необходимую точность.

Цилиндрические ролики нужны для тех же целей. Но на них можно вращать не только цилиндрические изделия, но и шарообразные, конические и т. д. Кроме этого цилиндрические ролики позволяют точно удерживать ось вращаемого цилиндра в пространстве соосно осям самих роликов. В отличие от дисковых роликов, где можно вращать под разными углами.

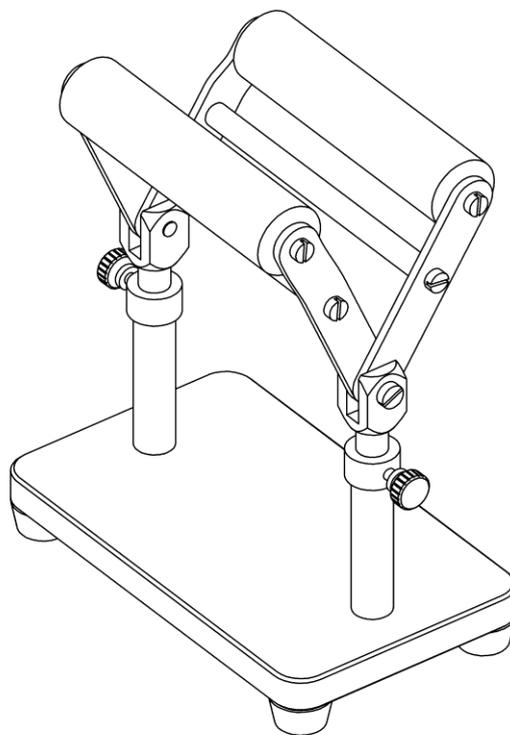
Дисковые и цилиндрические ролики могут также использоваться при поддержке длинной заготовки при работе на ГЗС.

Штативы используются при пайке ручной горелкой, например крупных вакуумных систем или гребенок для подачи аргона.

Подъемный столик может использоваться для поддерживания, например графитовых плиток и обкаток. С помощью подъемного столика удобно регулировать высоту.

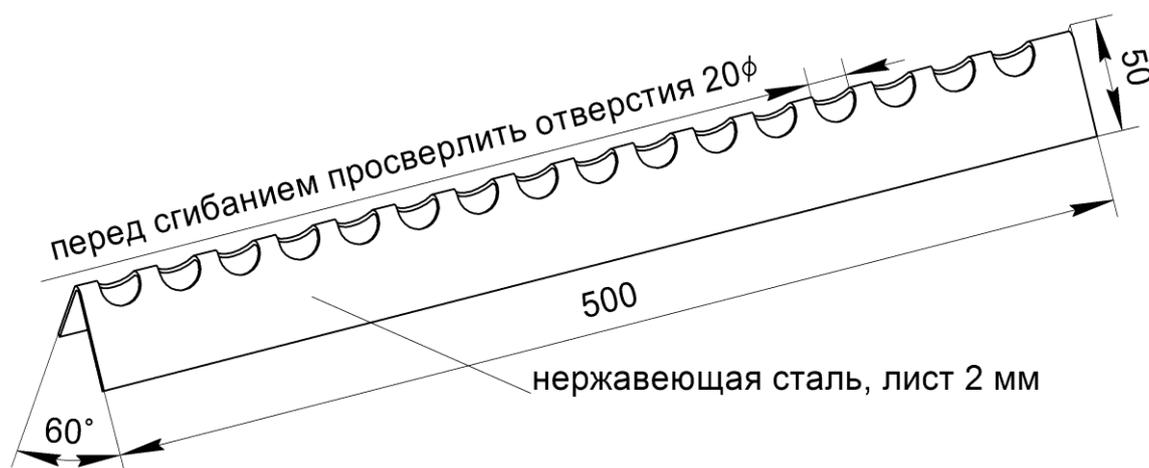


Дисковые ролики



Цилиндрические ролики

После изготовления горячее стекло не рекомендуется класть прямо на стол. При прикосновении горячего стекла с разными поверхностями оно может, например, загрязниться, если покрытие легкоплавко или растрескаться, если материал покрытия имеет высокую теплопроводность. Чтобы этого не произошло необходимо использовать штендер из нержавеющей стали, толщиной примерно 2 мм который представляет собой уголок под углом 60 градусов, на грани которого перфорированы отверстия.



Штендер

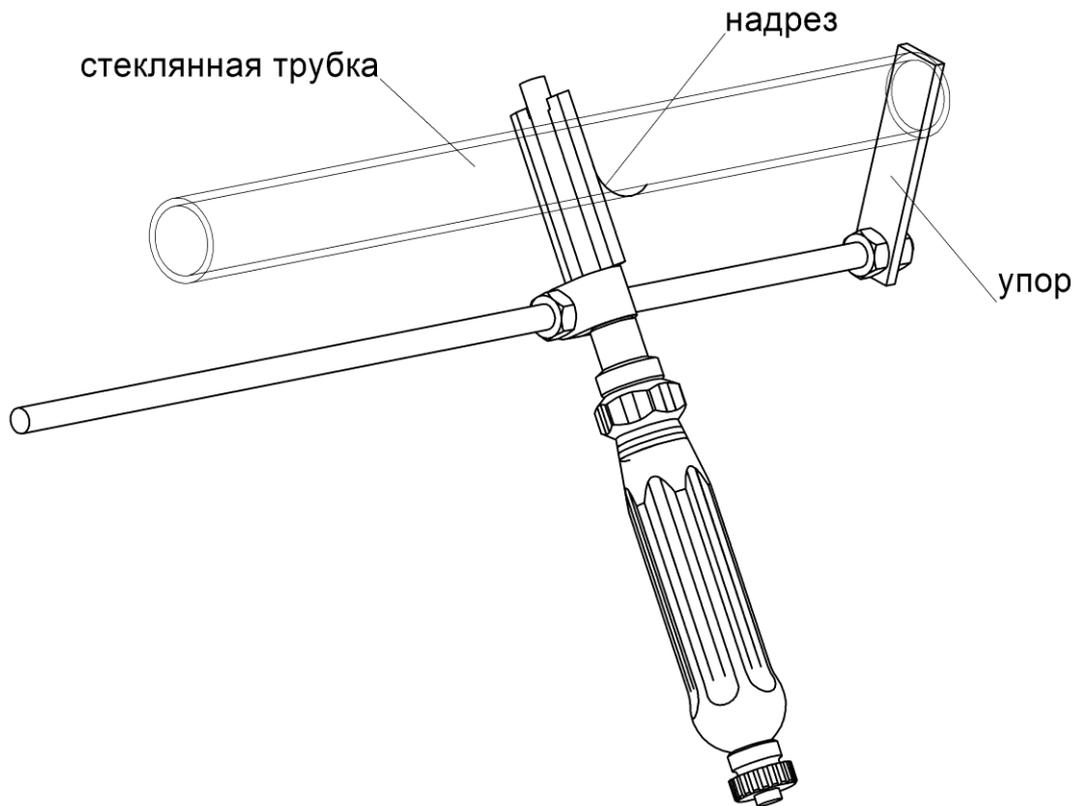
### **Режущий**

Основной режущий инструмент стеклодува - стеклодувный нож. Такой нож состоит из ручки, винтового крепления и лезвия из сплава на основе карбида вольфрама (победит). Лезвие необходимо заправлять на грубой алмазной чашке или мелком корундовом (карборундовом) круге. Нож должен быть всегда правильно заправленным, иначе при чрезмерном усилии при выполнении надреза трубка может расколоться в руках и сильно поранить руку.



Стеклодувный нож

Если необходимо нарезать много одинаковых отрезков стекла, то для ножа используют ограничитель, детали которого выполнены из дюралюминия.



Стеклодувный нож с ограничителем

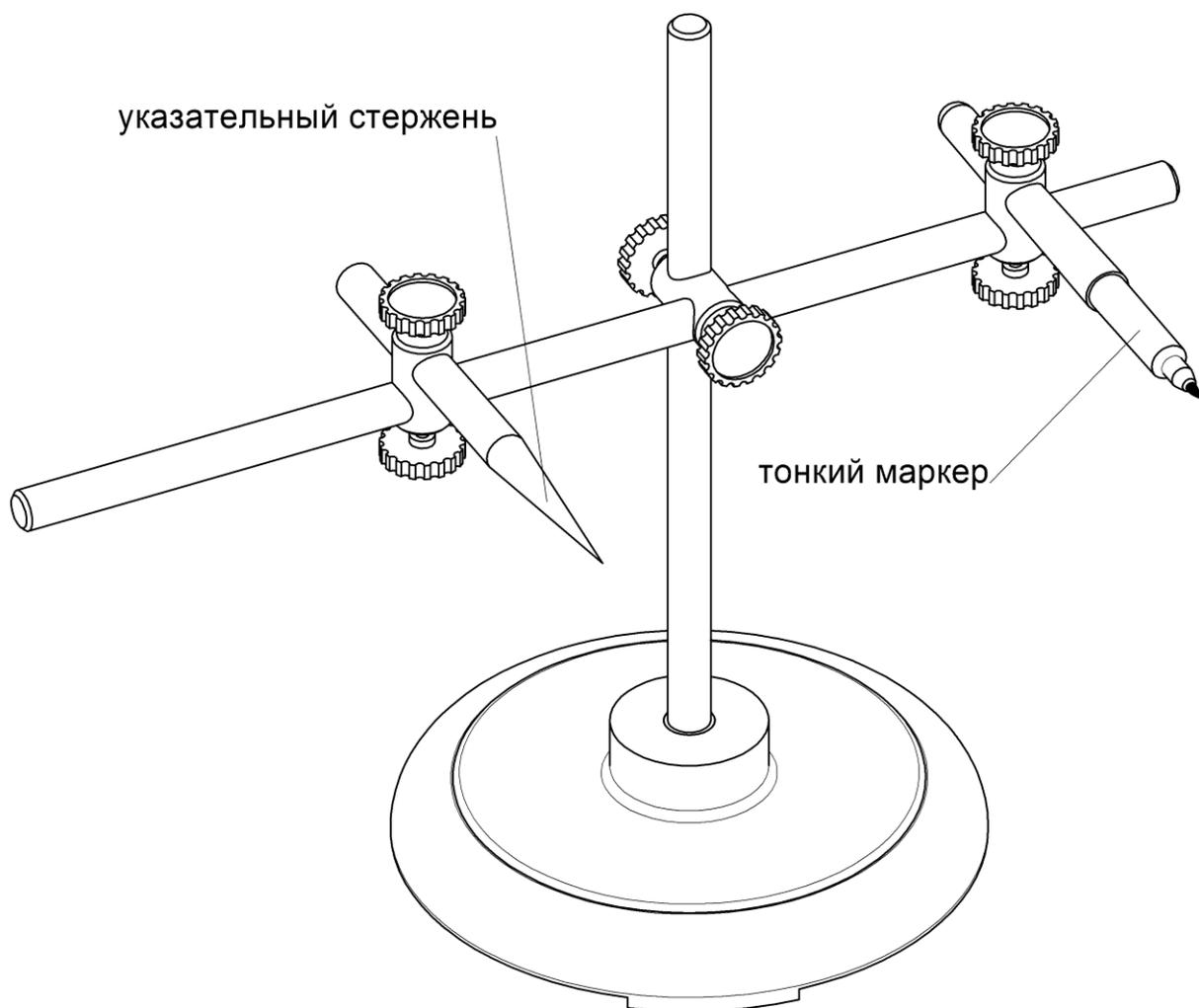
Иногда для горячей резки стекла, например при выравнивании краев, используют ножницы. Лучше всего для этого подходят грубые портновские ножницы.

### **Измерительный**

Штангенциркули различного размера используются для измерения диаметров от стеклотрубки до шаровых колб. А также для точного измерения линейных размеров.

Металлические линейки - основной инструмент для измерения линейных размеров.

Для быстрой разметки (одинакового расстояния) при изготовлении партий изделия удобно использовать штангенрейсмус, который можно легко сделать на основе штатива. Для этого на необходимом расстоянии фиксируют указательный заостренный стержень и тонкий маркер.



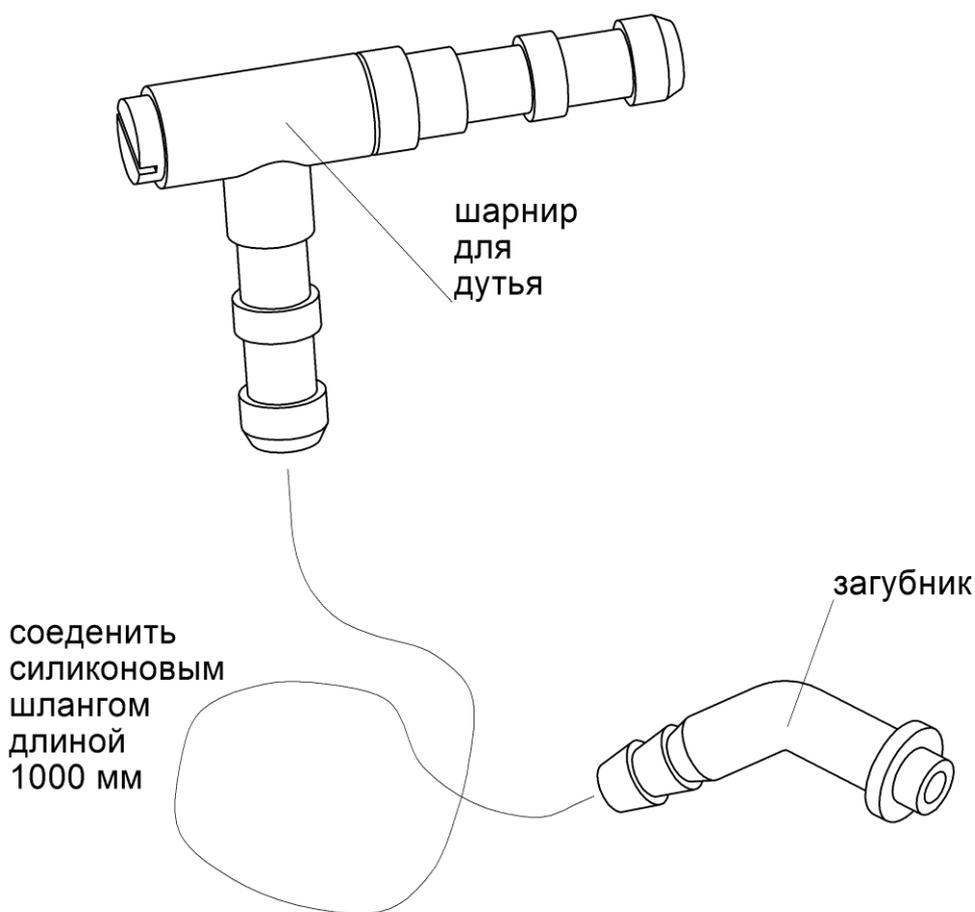
Штангенрейсмус

### **Инструменты для дутья**

Основной инструмент для дутья это силиконовый шланг, соединенный с одной стороны с мундштуком (для мундштука лучше всего использовать пластмассовый изогнутый штуцер, который используется для соединения со стеклянной резьбой GL 14 посредством пластмассовой накидной гайки) и с другой стороны с шарниром для дутья. Такой шарнир позволяет дуть при вращении изделия и также не дает перегибаться шлангу, когда шарнир оказывается сверху. Обычно шарнир для дутья имеет штуцера размером 6-9 мм. Оптимальная длина шланга 1000 мм.

Чтобы закрыть отверстия при дутье используются пробки как из простой резины, так и из изопрена. Но самые лучшие, мягкие и термостойкие пробки изготавливают из силикона.

Чтобы соединиться и изготавливаемым прибором при дутье используют пробки с отверстием в которое вставляется кусочек оплавленной стеклянной трубки. Обычно сверлится отверстие, в которое плотно входит стеклянная трубка диаметром 9 мм. Необходимо два комплекта пробок с отверстием.



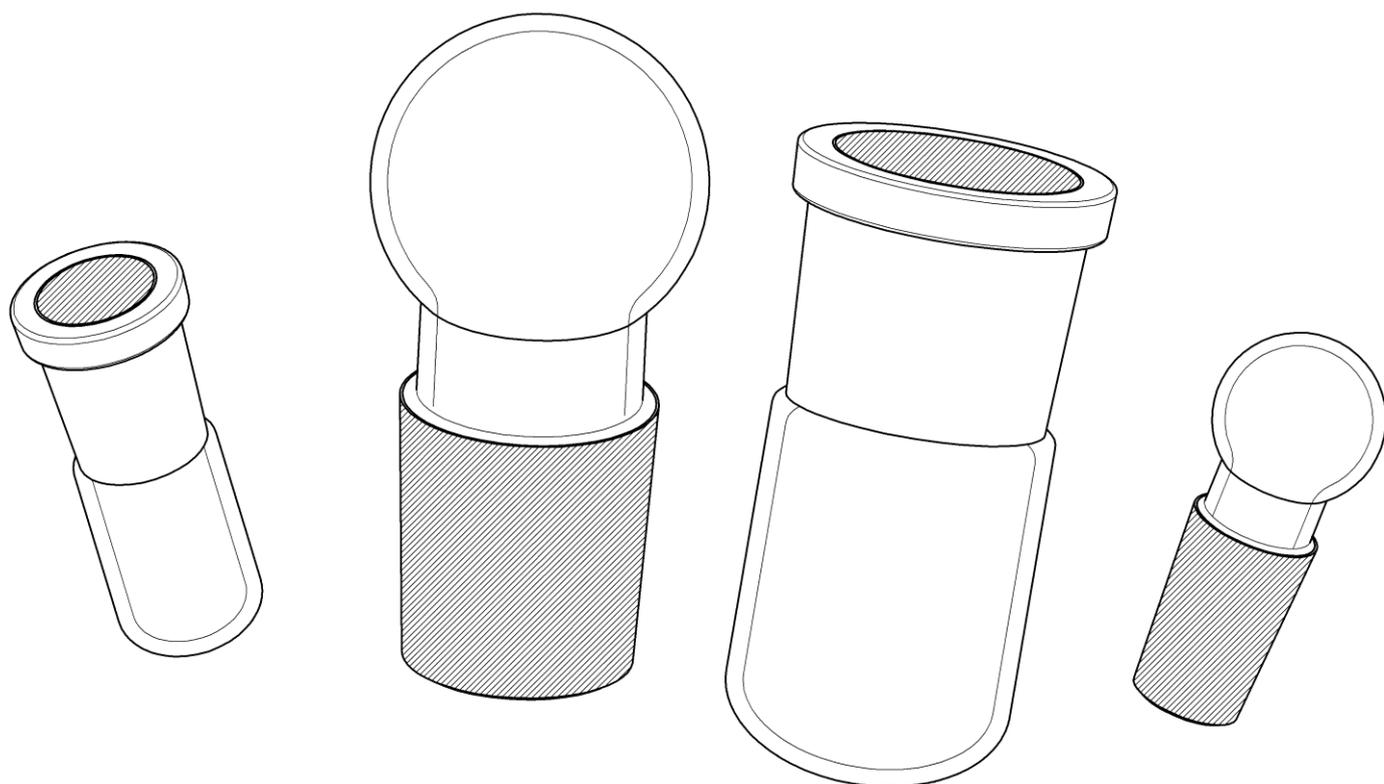
### Шарнир для дутья с силиконовым шлангом и загубником

В первом комплекте используются короткие отрезки трубок, так чтобы трубка выходила из пробки на 20 мм и была возможность подсоединить шарнир для дутья. Во втором комплекте используются длинные отрезки стеклянных трубок. В этом случае необходимо, чтобы трубка выходила на 150-200 мм из пробки. Такая трубка с пробкой позволяет не только дуть, но и удерживать отрезок трубки при пайке как державка.

Чтобы закрыть концы трубок при дутье кроме пробок также удобно использовать отрезок силиконового шланга длиной примерно 20-30 мм, заглушенного с другой стороны пробкой или шариком из стекла.

Для дутья также необходимо иметь пару комплектов пробок (манжет) “матрешек”, которые используются химиками при фильтровании с воронкой Бюхнера и колбой Бунзена. Обычно такие пробки называют “Pluro stopper”. Их можно использовать как самостоятельно, так и натянув ее на пробку с отверстием. Кроме этого такие манжеты можно использовать для центрирования одной стеклянной трубки в внутри другой. Как и пробки Pluro stopper могут быть из неопрена (максимальная рабочая температура 100 градусов Цельсия, так и из силикона, максимальная рабочая температура 250 градусов).

Основной недостаток пробок и манжет из эластомеров - их невысокая термостойкость. Чтобы закрыть, например конические муфты и керны используют пробки с фольгой из терморасширенного графита.



### Пробки с терморасширенным графитом

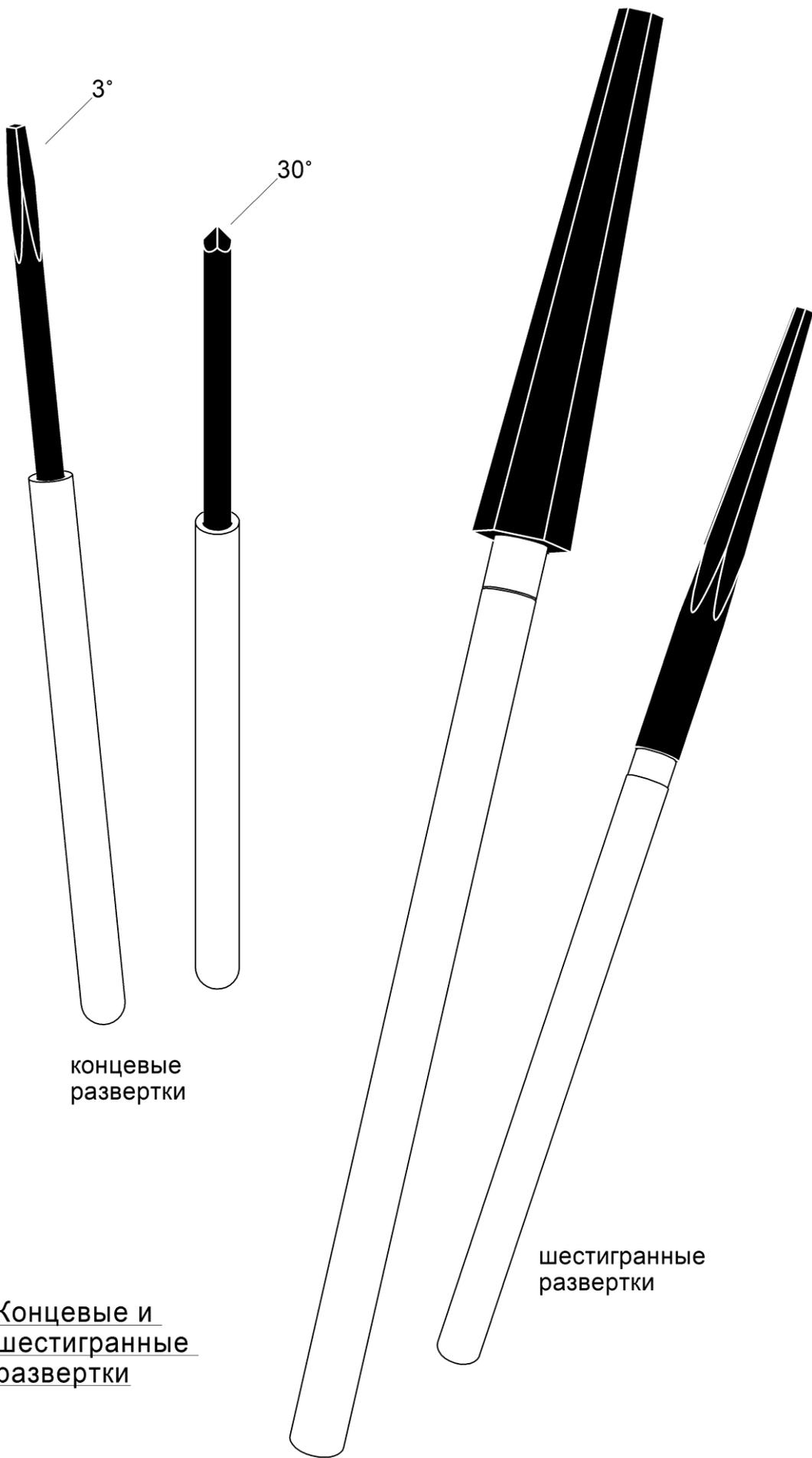
Их легко может изготовить стеклодув из шлифованных муфт и кернов. Сначала из муфты или керна делается пробка. Далее на шлифованную поверхность наносится тонкий слой силикатного клея, и приклеивается фольга из терморасширенного графита. Терморасширенный графит используемый для этого должен быть без добавок и подложек, толщиной 0,2-0,25 мм. После сушки такую пробку надо немного прогреть на пламени, чтобы силикатный клей немного вспучился. Если этого не сделать, то такая пробка может намертво застрять при первом использовании.

Подобные пробки для дутья можно сделать для конических кранов. Для этого лучше использовать дутый ключ от крана. На него подобным образом наклеивается фольга из терморасширенного графита. Если после высыхания в нужных местах графит проткнуть и подрезать, то можно использовать такой ключ для дутья прямо сквозь кран.

### **Формующий**

Почти весь формующий инструмент из стекла изготавливается из изостатического графита. Такой графит имеет высокую термостойкость и механическую прочность. Даже после сильного и продолжительного нагрева такой графит почти не разрушается.

Концевые развертки предназначены для развертывания концов трубок, отверстий или при изготовлении внутреннего спая, перед припайиванием третьей трубы. Они изготавливаются из графита обычно диаметром 4, 6, 8, 10, 12 мм и длиной 100 -150 мм. Для такой развертки изготавливается ручка из твердой породы дерева. или эбонита.



концевые  
развертки

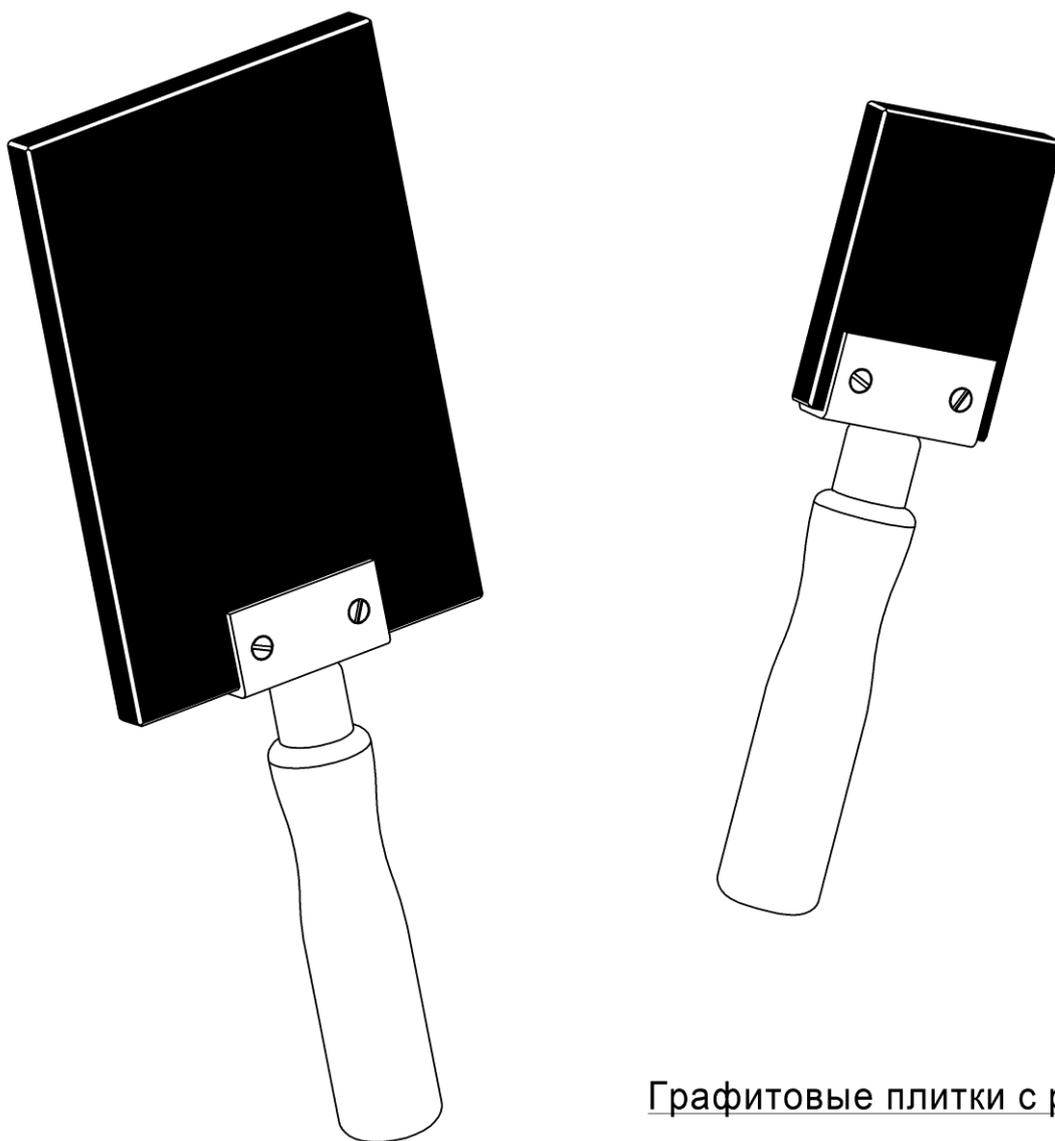
шестигранные  
развертки

Концевые и  
шестигранные  
развертки

В отверстие с помощью силикатного клея (еще лучше смеси силикатного клея и стеклянного порошка) графитовый стержень вклеивается, а его другой конец затачивается на наждачной бумаге или шлифовальном станке. Обычно используют два варианта заточки - под 30 градусов до острого конца, и под 3 градуса так, чтобы остался квадрат, размером примерно  $\frac{1}{3}$  от диаметра графитового стержня.

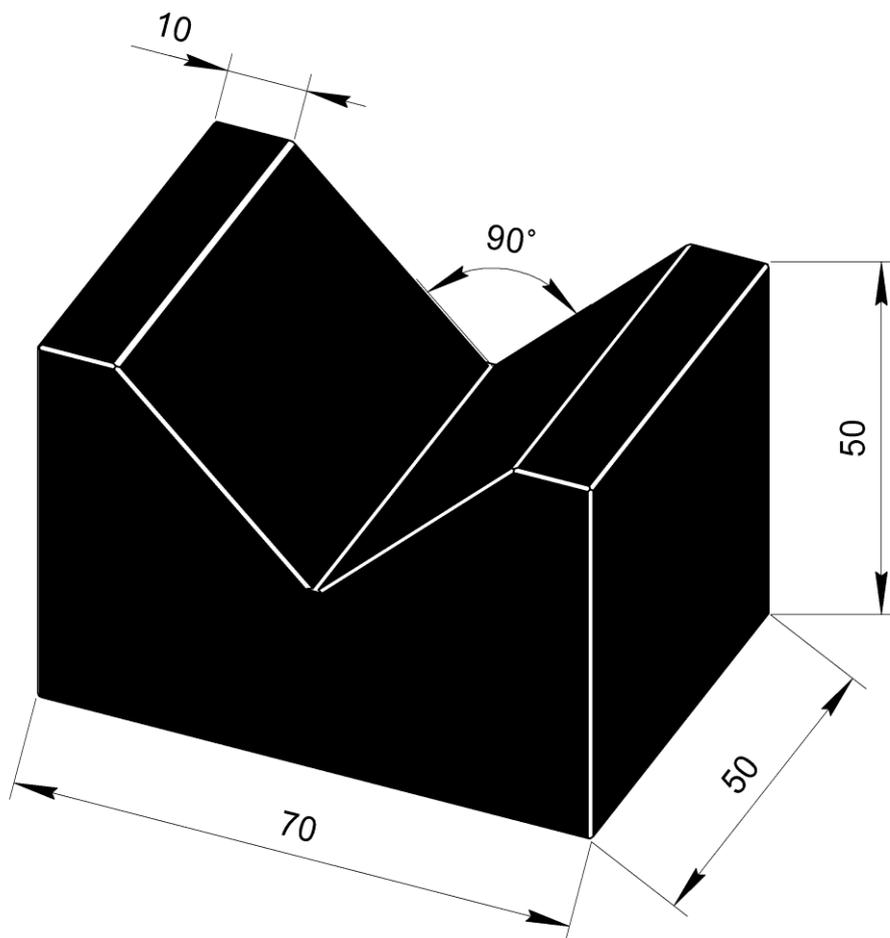
Кроме концевых разверток используются также метрические шестигранные развертки с конусностью 1:10. Такие развертки посредством резьбового соединения соединяются с ручками из твердых пород дерева. Шестигранные метрические развертки можно использовать и как концевые при работе на столе, так и на станке. В некоторых случаях с помощью них делают, например горло под резиновую пробку или заготовки для конических муфт, когда другими способами сделать не возможно.

Графитовые плитки с ручками обычно бывают двух размеров - большая и маленькая и используется для выравнивания концов стеклотрубки, получения плоского дна и т. д. Очень широко графитовая плитка используется на станке. Также для формования плоской поверхности используются графитовые блоки, который можно при выполнении работы положить на стол или подъемный столик.



Графитовые плитки с ручками

Графитовая обкатка, имеющая форму прямого угла, используется для укатывания стеклотрубки, уменьшения диаметра, а также при впаивании фильтров, плоских оптических перегородок и т.д. При работе обкатку можно установить на подъемном столике.



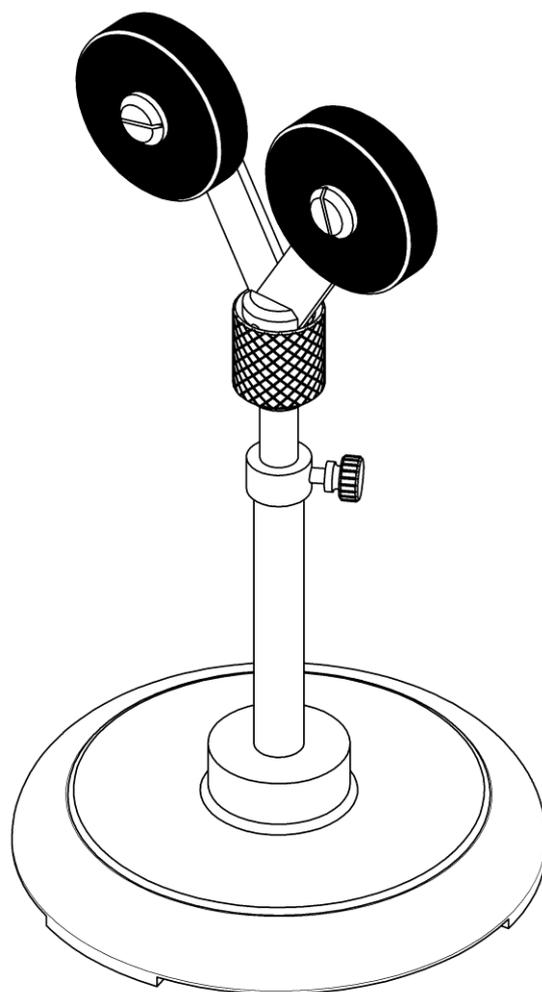
Графитовая обкатка

Графитовые ролики в основном используются для впаивания фильтров и плоских перегородок в стеклотрубку. В отличие от обкатки при впаивании можно одновременно нагревать стекло и укатывать. На обкатке обычно сначала разогревают стекло, и только вынув из пламени горелки, укатывают его.

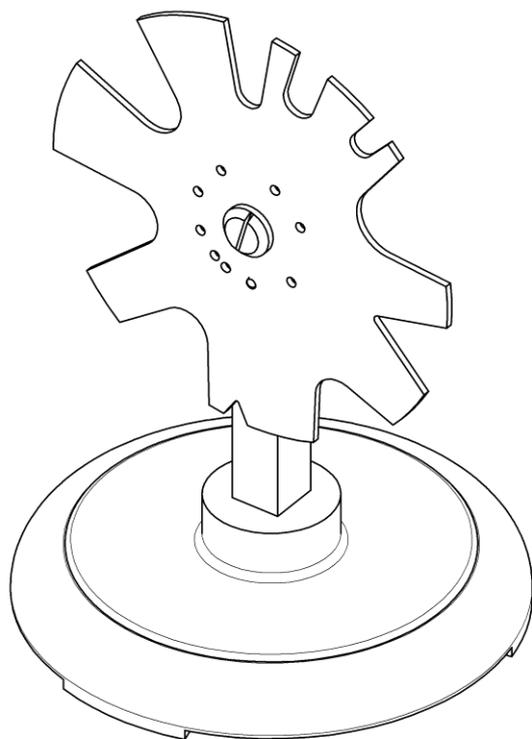
Подрезка изготавливается из листовой стали и имеет множество углублений, которые можно менять местами. Подрезка используется для узкого изменения диаметра стекла. В том числе и перед впаиванием фильтра.

Щипцы бывают как с латунными, так и графитовыми щечками. Они используются для придания стеклу плоскопараллельной формы, например при изготовлении мешалок.

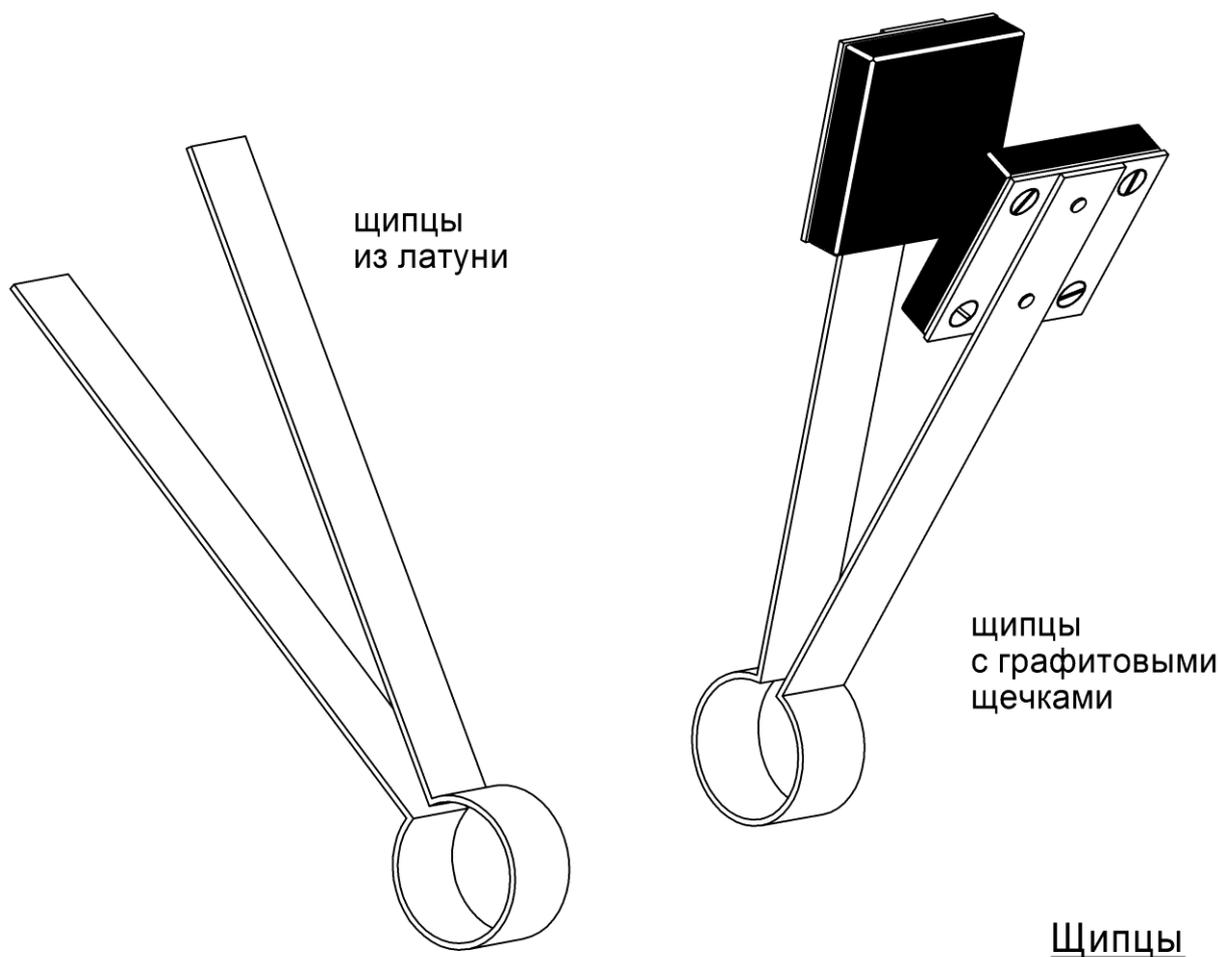
Для прокалывания стекла, вдавливания (например, при изготовлении дефлегматоров), а также изготовления носиков, закрытии отверстий в стекле, разворачивания стекла используются стержни из вольфрама диаметром от 0,5 до 5 мм. Перед работой конец стержня необходимо заострить. Если диаметр небольшой, до 2 мм, то это удобно сделать в пламени горелки выжечь лишний вольфрам. Если диаметр больше 2 мм, то заострять лучше на шлифовальном станке. Чтобы не обжечь руки вольфрамовые стержни обычно зажимают в ручке с цанговым зажимом.



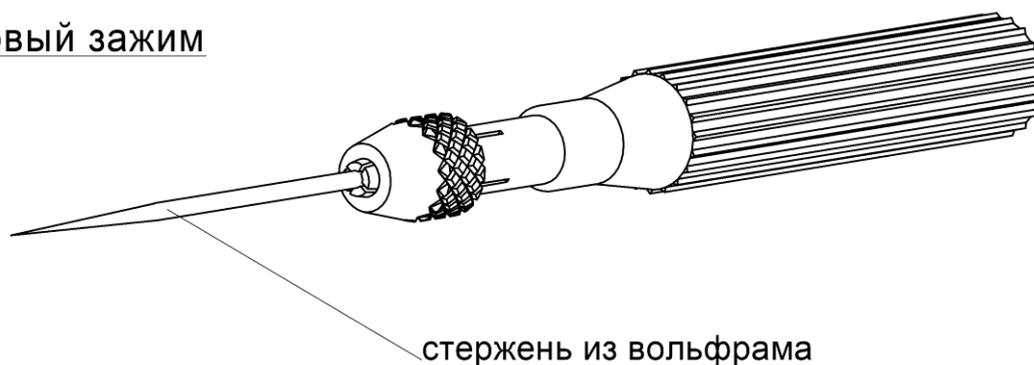
Графитовые ролики



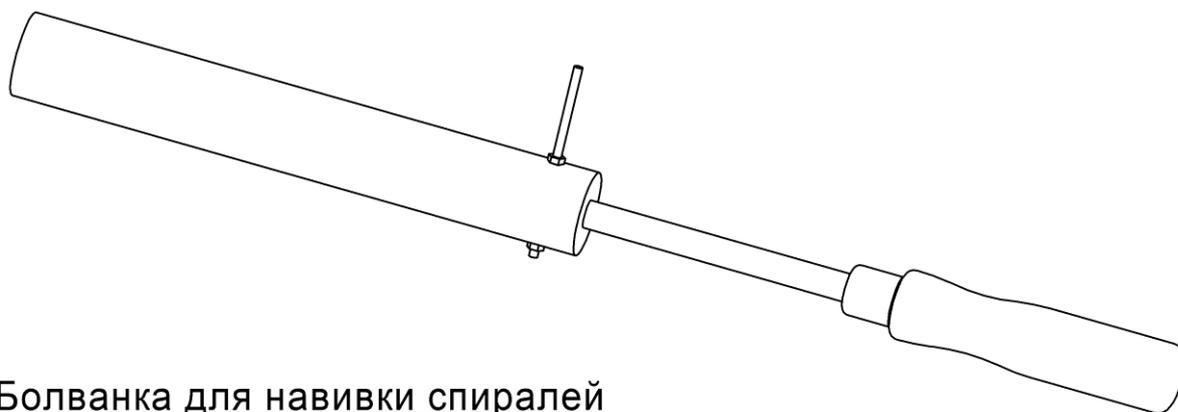
Револьверная подрезка



### Цанговый зажим



Еще один вид формирующего инструмента болванки для навивки спиралей. Они бывают разных диаметров от 10 мм до 60 мм (внутренний диаметр навиваемой спирали) и изготавливаются из латуни или нержавеющей стали. Чтобы навитая спираль легче снималась, болванка имеет цилиндрическую форму с небольшой конусностью. Болванка для навивки спиралей используется вместе с дисковыми роликами. На данный момент этот вид инструмента используется все реже и реже, а все чаще спирали навиваются на специальных станках.



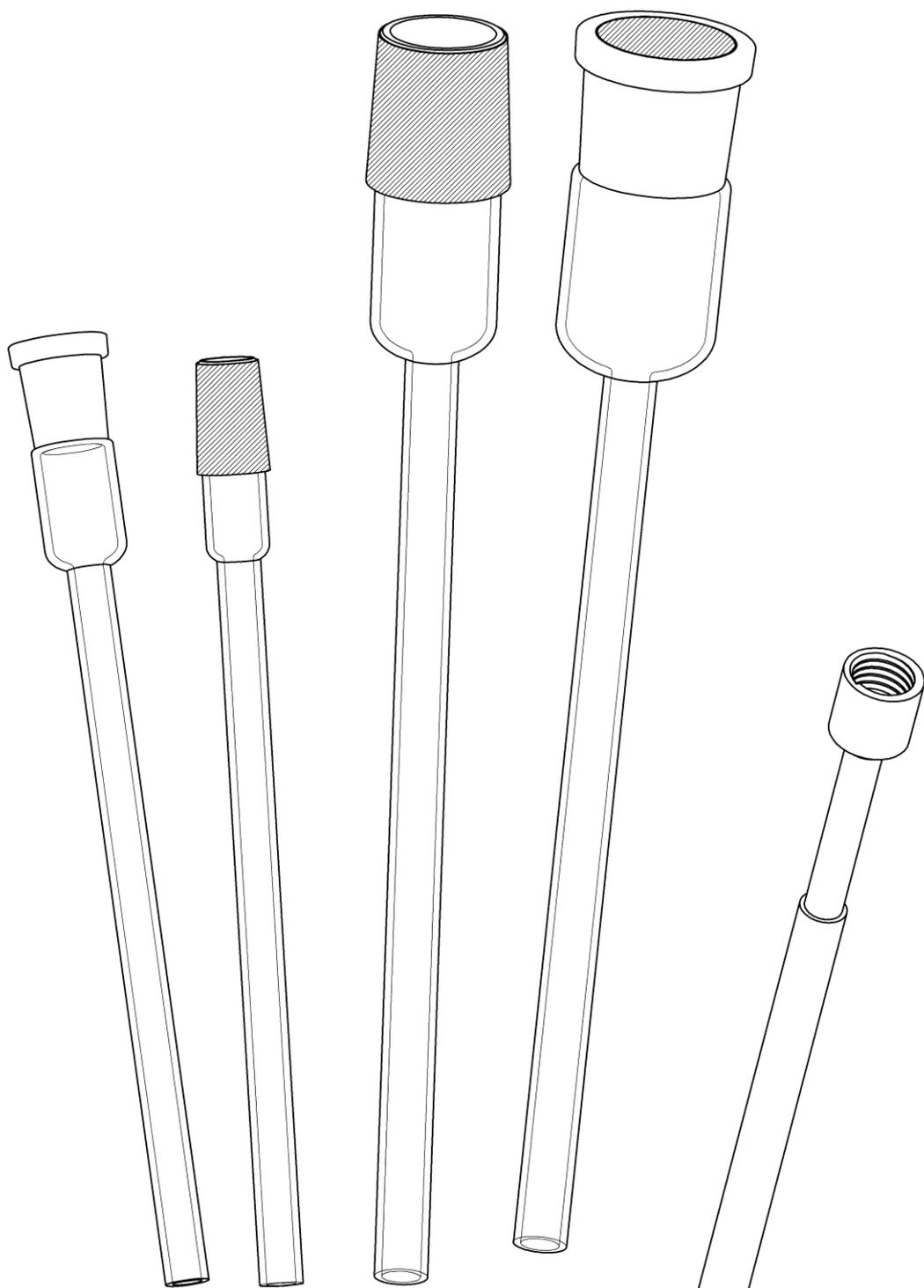
## Болванка для навивки спиралей

### **Удерживающий**

Державки для конических шлифованных соединений обычно стеклодувы изготавливают сами. Для этого необходимую муфту или керн припаивают к отрезку стеклянной трубки диаметром 9-11 мм и длиной 150-200 мм. После отжига шлифованную поверхность смазывают тонким слоем силикатного клея и наклеивают фольгу из терморасширенного графита. После сушки с течением суток, державку, где была наклеена фольга из графита, необходимо немного прогреть. Если этого не сделать, то при первом использовании, если державка сильно нагреется, то силикатный клей вспучит и державку намертво закусит с припаиваемой заготовкой. Если при правильном использовании всё равно сложно снять заготовки с державки, то в этом случае надо немного постучать по стеклу деревянной ручкой.

Промышленно изготавливаются державки для стеклянной резьбы GL. Но резьбовая часть такой державки изготовлена из алюминиевого сплава. При нагревании она расширяется, и стеклянная резьба начинает в ней болтаться. Чтобы этого не происходило необходимо при закручивании подложить полоску из терморасширенного графита.

Анатомические пинцеты используются для удерживания мелких заготовок при впаивании, вытягивания стекла при закрытии дна и выполнении отверстий, вытаскивании из изделий вспомогательных материалов и т. д. Обычно для работы необходимо три пинцета разных размеров.



державки для конических шлифов

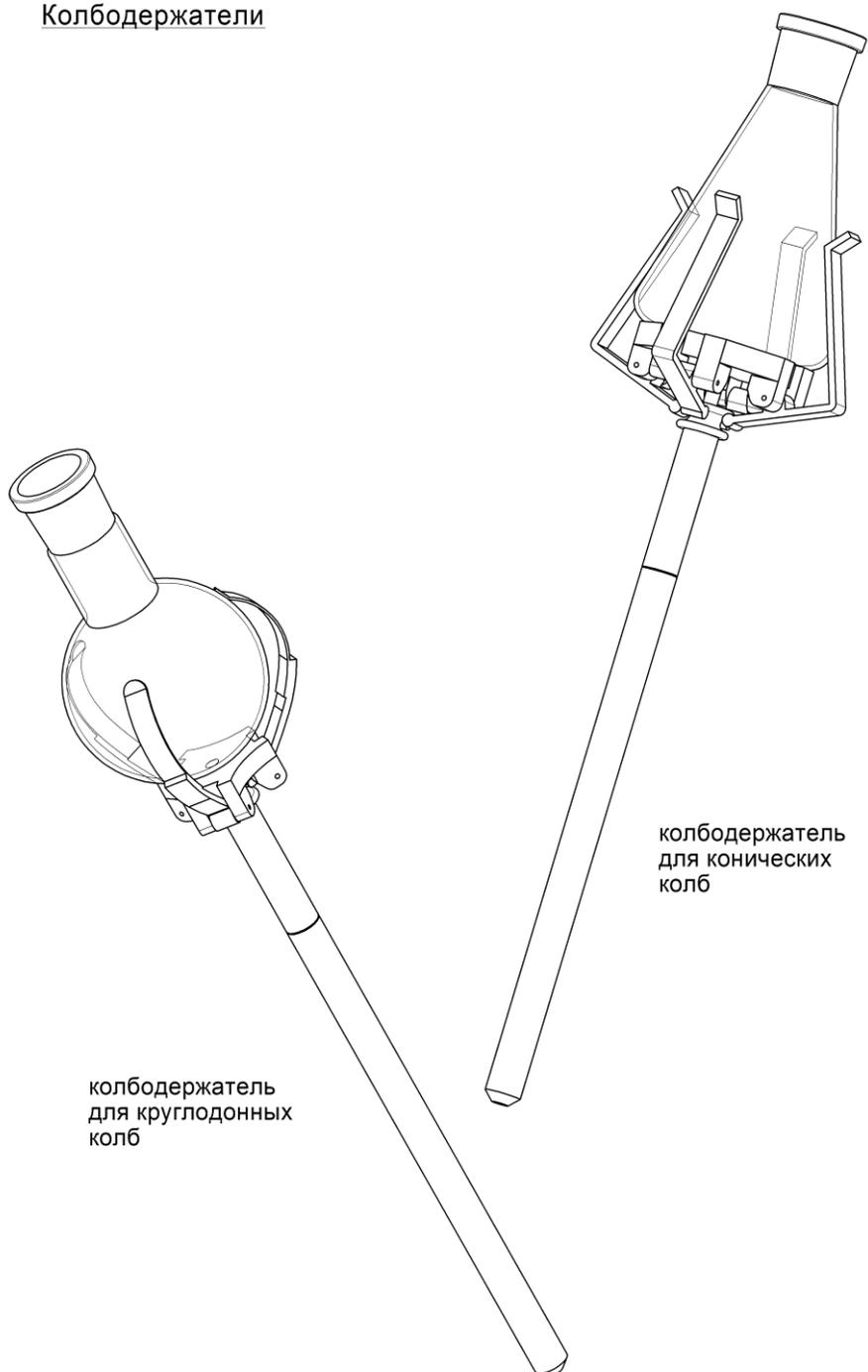
державка  
для резьб GL

## Механические державки

Для удерживания при работе используются различные механические державки где фиксация заготовки обеспечивается пружиной или механизмом, который имеет самоцентрирующиеся губки или лапки способные сводиться и разводиться. Такие державки, как правило, имеют значительный вес и по этой причине используются вместе с дисковыми роликами при работе на столе или на ГЗС.

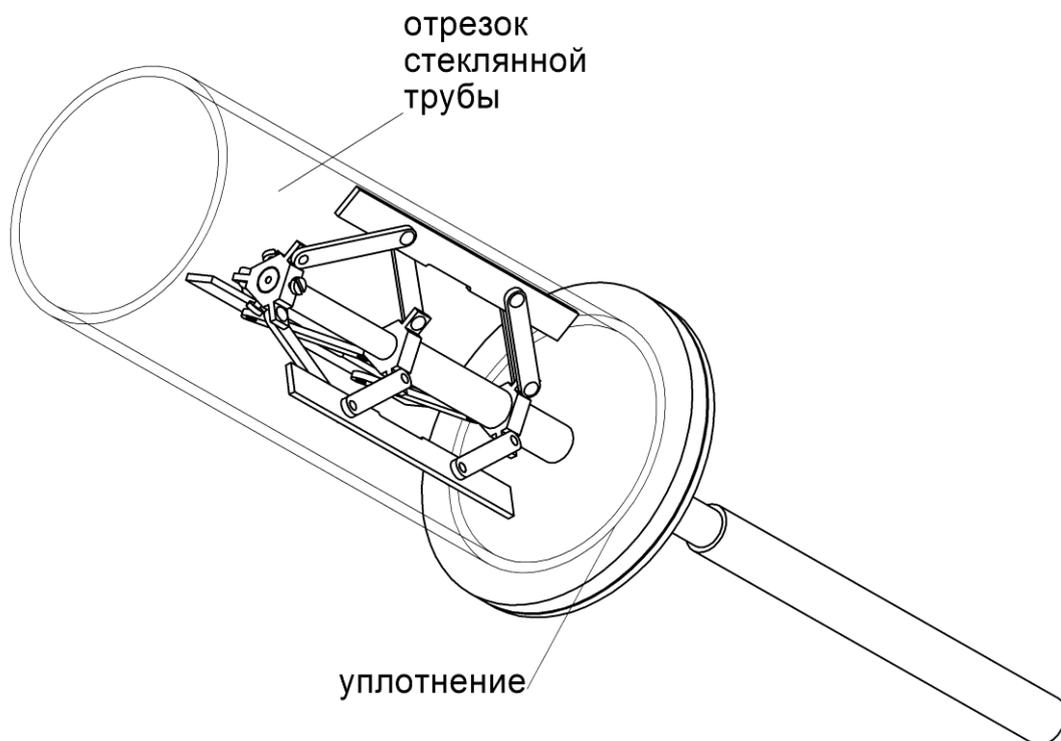
Для удерживания колб при работе используют механические колбодержатели с регулируемыми лапками.

### Колбодержатели



Такие колбодержатели бывают как для шарообразных, так и для конических колб. Для работы необходимо по комплекту разных колбодержателей различных размеров. Колбодержатели изготавливаются для колб от 10 мл до нескольких литров.

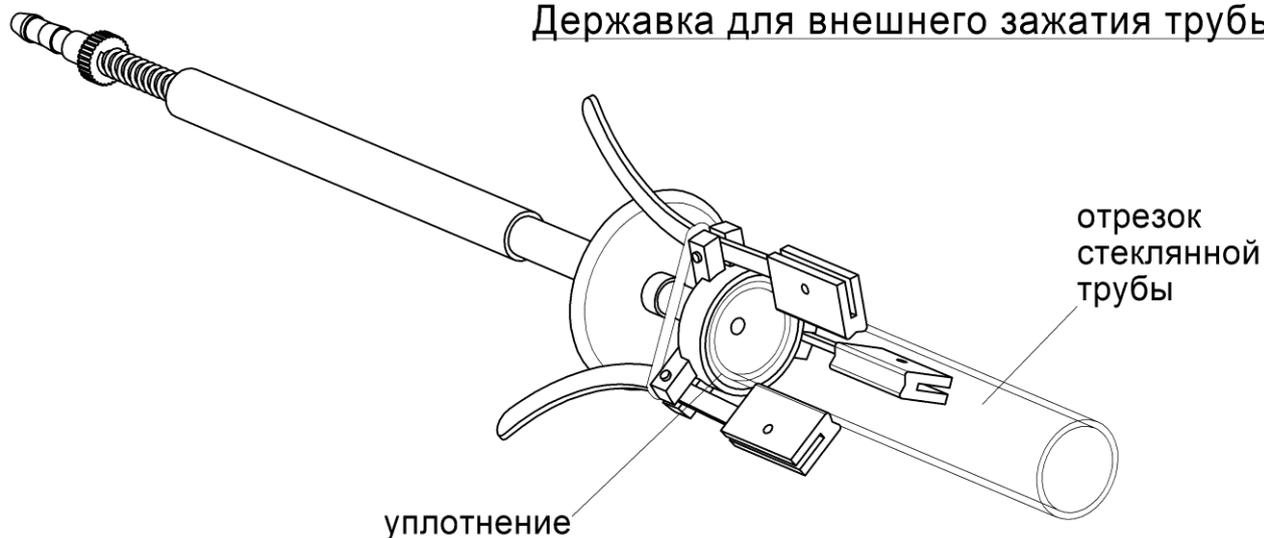
Державка для внутреннего зажатия трубы используется для работы с отрезками трубы. Такие державки позволяют зажимать трубы от 30 мм до 100 мм и при этом производить дутье.



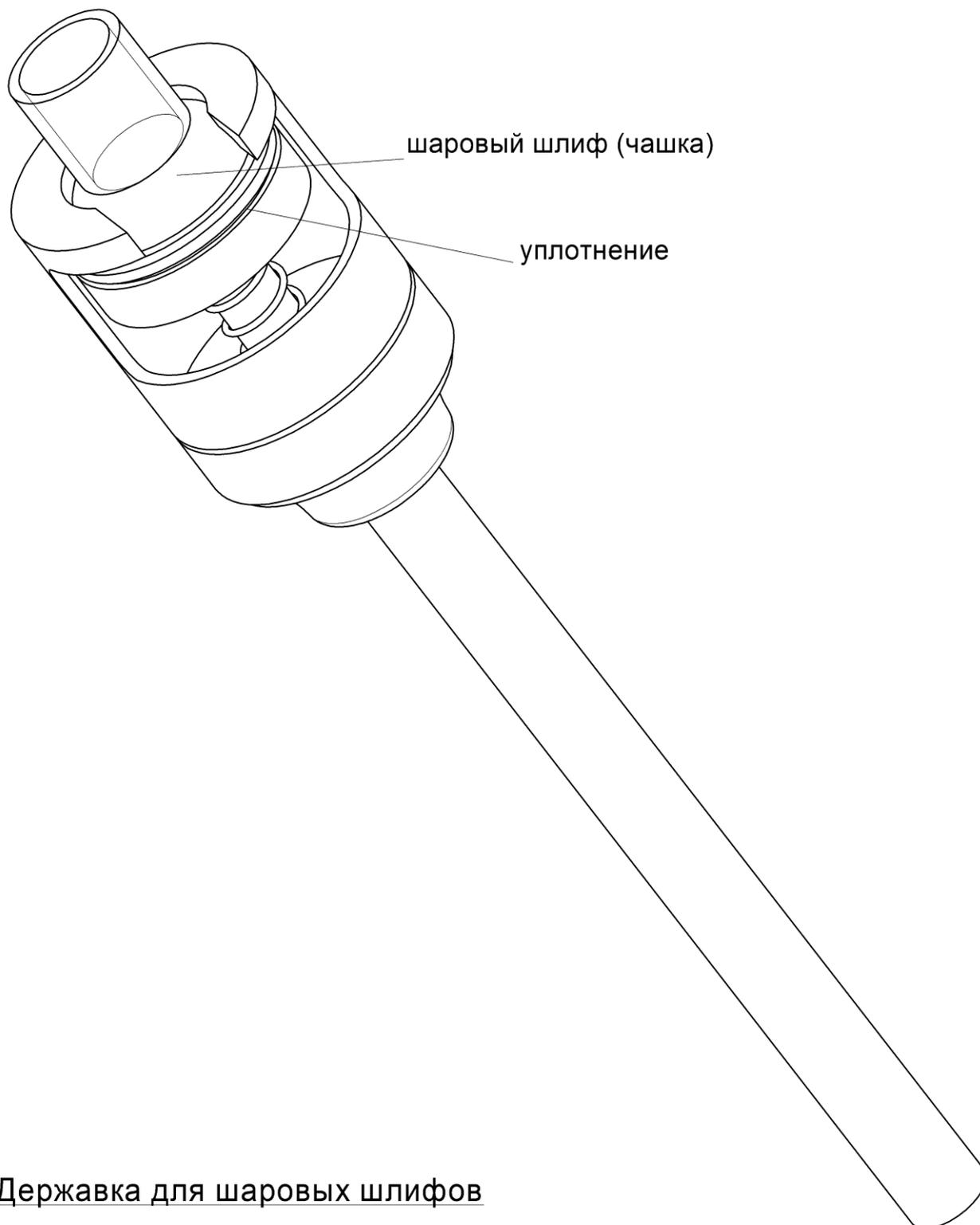
### Державка для внутреннего зажатия трубы

Державка для внешнего зажатия трубы позволяет зажимать отрезок трубы от 7 мм до 100 или длинную заготовку и тоже позволяет производить дутье.

### Державка для внешнего зажатия трубы

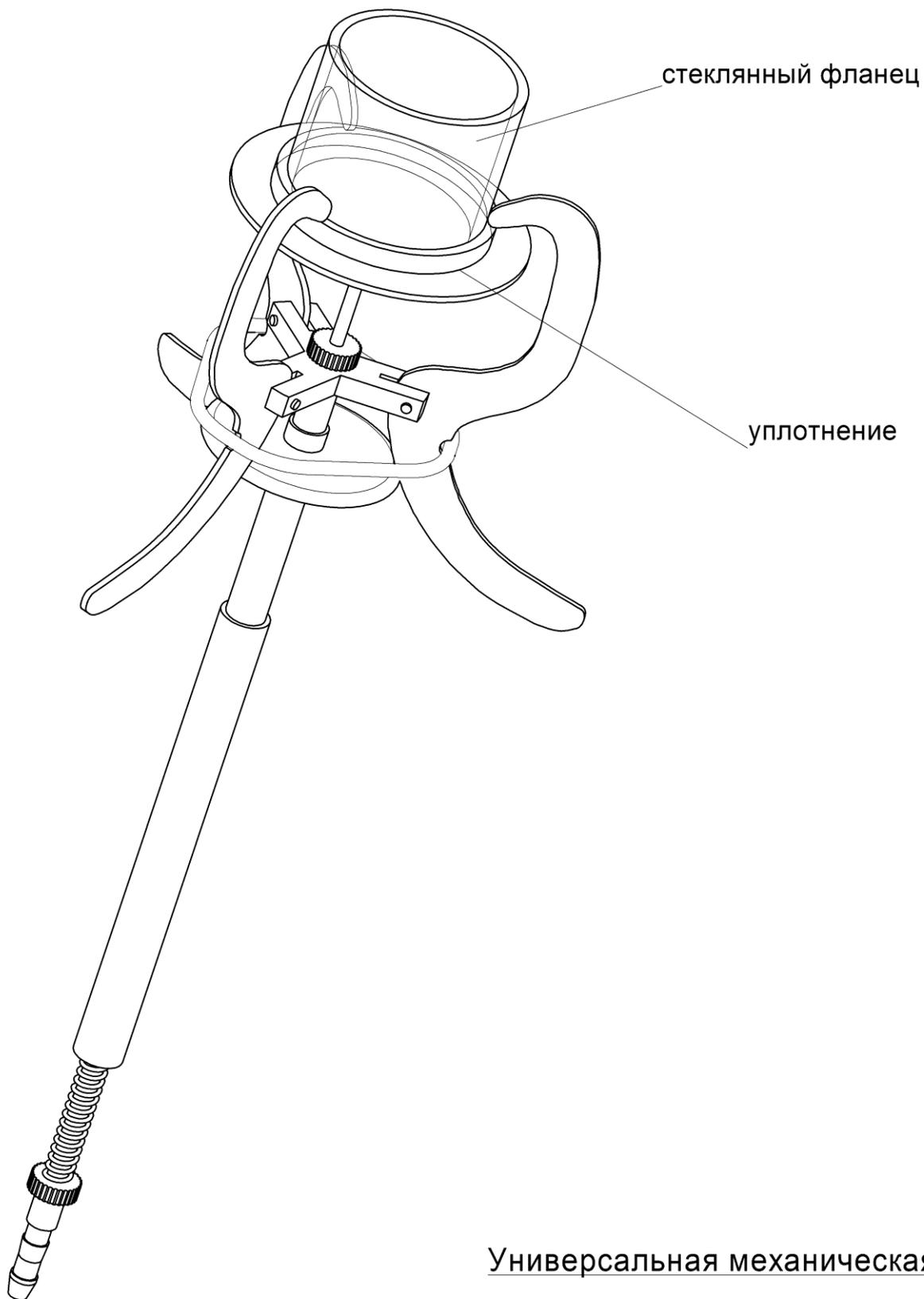


Державка для шаровых шлифов с помощью пружины надежно зажимает шаровые шлифы, как типа шар, так и типа чашка. Чтобы достичь более герметичного соединения при дутье рекомендуется на зажимаемую поверхность силикатным клеем приклеить диск с отверстием из терморасширенного графита.



### Державка для шаровых шлифов

Универсальная механическая державка позволяет зажимать различные фланцы, шаровые и конические шлифы.



### Универсальная механическая державка

Диаметр зажимаемой заготовки при использовании таких державок может изменяться от 20 мм до 100 мм. Как в случае с державкой для шаровых шлифов чтобы достичь более герметичного соединения при дутье рекомендуется на уплотняемую поверхность силикатным клеем приклеить диск с отверстием из терморасширенного графита.

## Вспомогательные материалы

Основной вспомогательный материал для стеклодувных работ это графит и материалы на основе его. В качестве компактного графита используется изостатический графит. Изостатический графит имеет высокую термостойкость и механическую прочность и долго не разрушается даже при продолжительном и сильном нагреве.

В качестве гибкого листового материала используется фольга из терморасширенного графита. Графит в такой фольге должен быть чистым, то есть не должен содержать добавки и быть без подложки или армирования. Оптимальная толщина 0,2-0,25 мм. Терморасширенный графит основной заменитель асбеста при выполнении стеклодувных работ.

Для покрытия рабочих поверхностей металлического инструмента можно использовать коллоидный раствор графита в воде стабилизированный аммиаком или графит напыляемый из аэрозольного баллончика.

Вторым по важности вспомогательный материал в стеклодувной мастерской - гофрированный картон. Основная цель гофрированного картона - фиксация одной стеклянной детали относительно другой. Для зазора 3-4 мм используется двухслойный гофрированный картон - один слой гладкий, другой волнистый. Для зазора 5 мм трехслойный. Для более больших зазоров используют несколько листов картона сложенных вместе. Для зазоров меньше 3 мм можно

использовать бумагу, лучше газетную. Она мягче на изгиб чем письменная бумага и ее чтобы легче было вытаскивать, можно размочить в воде после изготовления изделия.

Медная проволока толщиной примерно 0,3 мм используется для того чтобы вытащить гофрированный картон, различные стенды, вставки и другие вспомогательные материалы используемые для крепления одной стеклянной заготовки относительно другой. Еще до того как вставить стенд или картон, медную проволоку необходимо привязать.

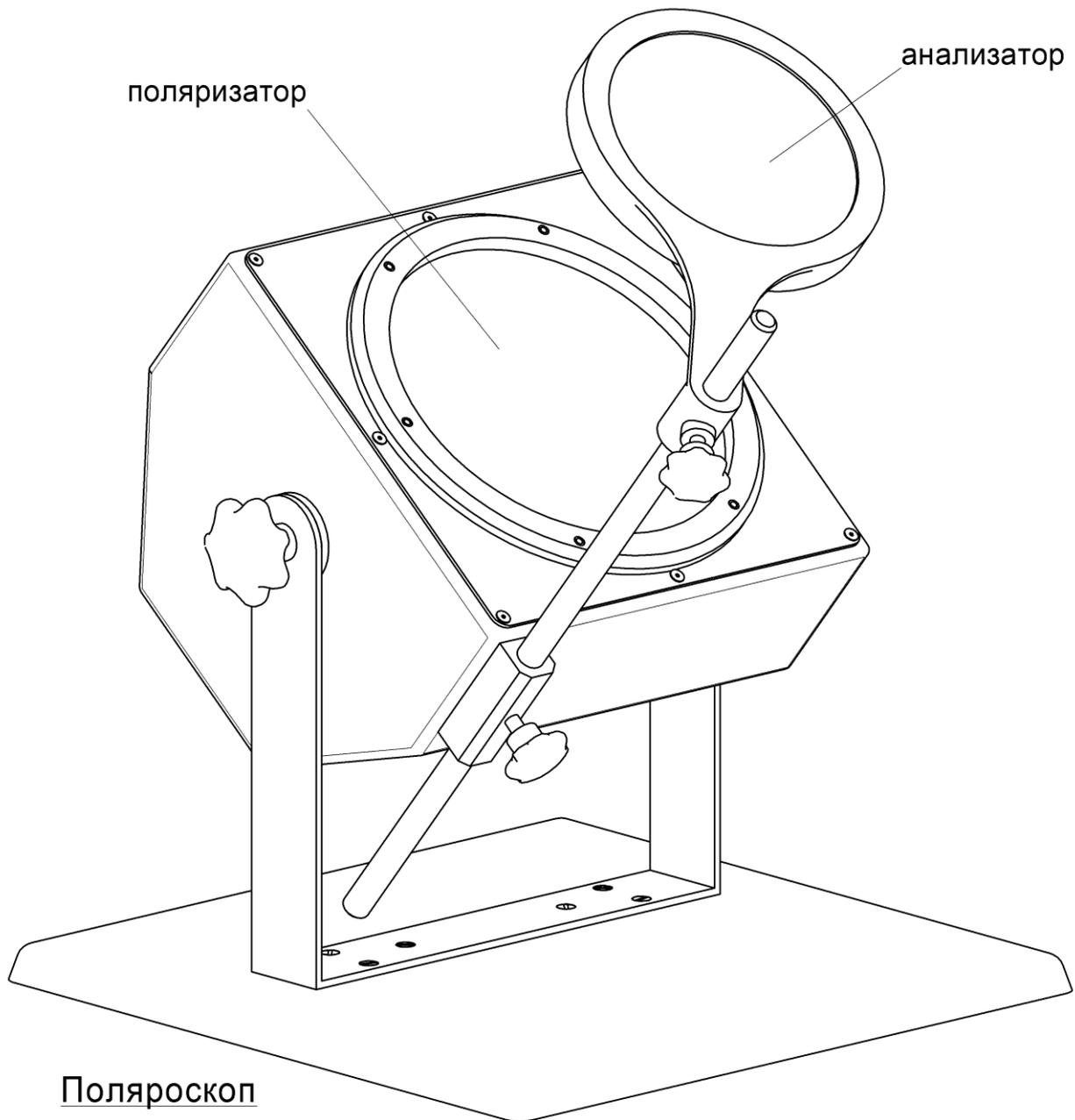
Силикатный клей (раствор силиката натрия в воде, жидкое стекло) используется как термостойкий клей. Им приклеивают терморасширенный графит к стеклу, стекло к стеклу, стекло к металлу. Если необходимо получить прочную термостойкую замазку, то силикатный клей перемешивают с порошком стекла. После соединения данной замазкой, ее сушат в печи при 300 градусах несколько часов. Получается прочное и термостойкое (около 500 градусов Цельсия) соединение. Автор такой замазкой удачно соединял кварцевые трубки с трубками из нержавеющей стали. Порошок такой можно получить, высушив и просеяв через сито накопившееся стекло в станке с алмазным диском. После просушки в печи при 150 градусов Цельсия, несколько часов его необходимо хранить в стеклянной герметичной бутылке, например для реактивов.

## 8. Отжиг стекла

После горячей обработки структура стекла становится неоднородной и возникают механические напряжения. Из-за этого прочность изделия сильно уменьшается. Чтобы восстановить однородную структуру и снять напряжения используют отжиг. Неоднородность структуры стекла вызванного напряжениями, которые хорошо видны в полярископе в виде желтых и фиолетовых зон. Отожжённое стекло в полярископе почти бесцветно. Главная задача

отжига - снять неоднородность стекла и напряжения, но при этом не допустить деформацию стекла.

Чтобы организовать правильный отжиг стекла нужны печи и полярископ.

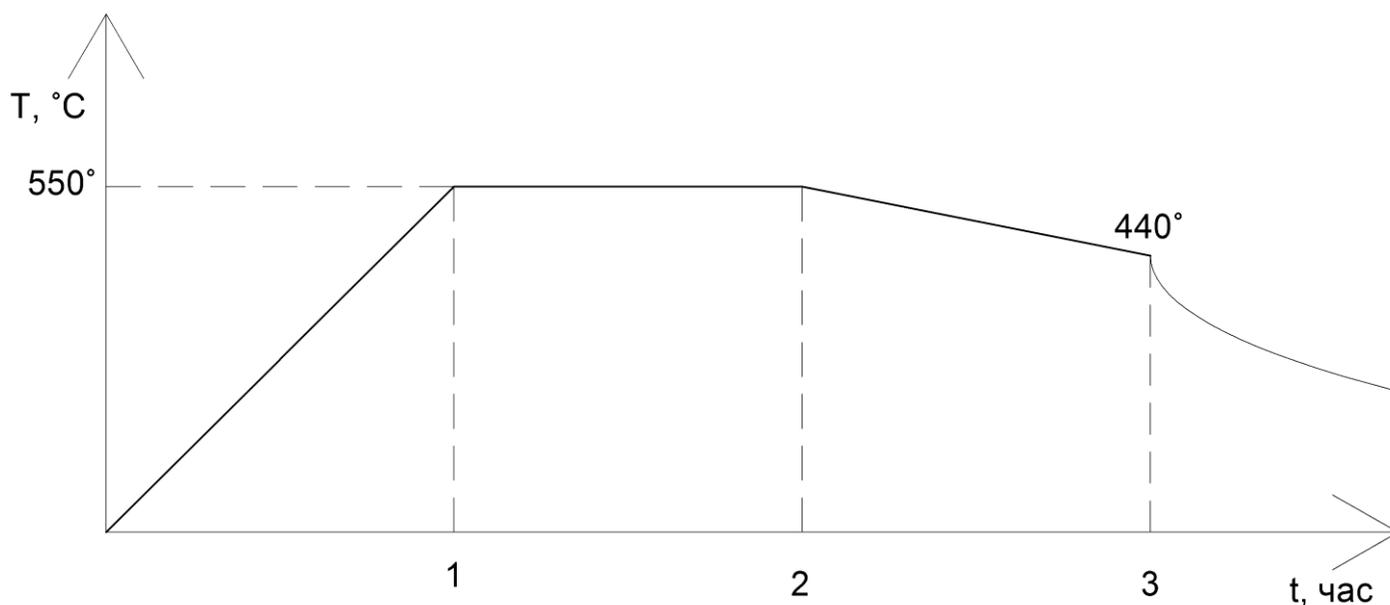


Полярископ

Печи подойдут камерные, общетехнические. Максимальной температуры в 600 градусов для отжига вполне достаточно. Для маленькой мастерской с техническим процессом 50 мм - 600 мм, хватит двух печей с чистовыми размерами камеры 300\*300\*400 и 300\*300\*600. Для нелинейного производства с технологическим циклом 100 мм - 1000 мм, необходима еще одна печь с чистовыми размерами камеры, например 400\*400\*1000. Именно глубина печи обычно определяет максимальную длину изделия, которое может производить стеклодувная мастерская. Если изделие не помещается полностью в печь, то его можно отжечь по частям. При отжиге в печи по частям сначала в печь помещается одна часть при открытой дверце. Чтобы обеспечить нормальную работу печи и избежать потока тепла из нее, вход в печь необходимо аккуратно занавесить шторой из нескольких слоев стеклоткани.

Автор в течение многих лет успешно использовал следующий режим для отжига боросиликатного стекла 3.3. Первый час - нагрев до 550 градусов Цельсия, второй час - выдержка при температуре 550 градусов, третий час охлаждение до 440 градусов и далее охлаждение в печи. Если отжигаемые изделия не сложные, то после охлаждения до 440 градусов дверцу печи можно приоткрыть, чтобы ускорить охлаждение.

### Режим отжига боросиликатного стекла 3,3



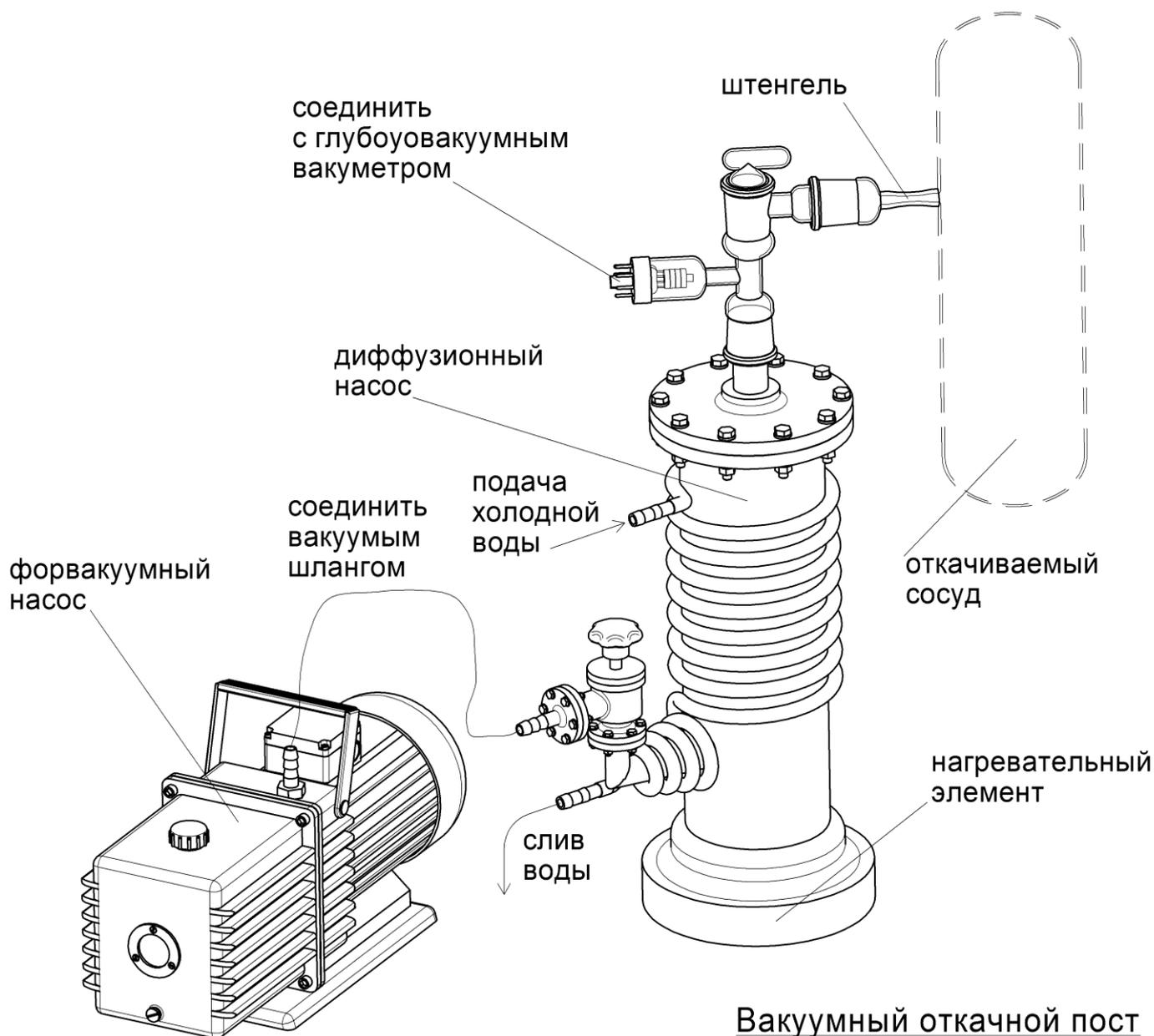
При этом режиме стекло хорошо и равномерно отжигается. Но при отжиге некоторых изделий, которые имеют большую длину, длинные отводы и колена возможна небольшая деформация. Чтобы такую деформацию предотвратить необходимо, чтобы на отжигаемое стекло как можно меньше действовал его вес, и оно не было придавлено чем-то массивным. Например, длинные мешалки можно положить на плоское дно печи, а при отжиге вискозиметров между коленами вставить распорки из стекла, которые не дадут свободному колону, которое висит под собственной тяжестью изогнуться.

Отжигают не только готовые изделия, но и промежуточные заготовки при сложных сборках. Кроме основной цели отжига, также достигается чистота стекла, поскольку выгорают все органические соединения. По этой причине поверхность стекла должна быть перед отжигом отчищена и вымыта. В противном случае зольная органика или минеральное загрязнение после отжига могут оставить несмываемые следы, например отпечатки пальцев стеклодува. Для мытья стекла нужно организовать глубокую нержавеющую мойку с высоким краном.

### **9. Откачка вакуумных изделий**

Когда необходимо изготавливать вакуумные стеклянные изделия такие как например сосуды Дьюара, криостаты, колонны для ректификации с вакуумной рубашкой необходим вакуумный откачной пост.

Откачной пост обычно состоит из роторного масляного форвакуумного насоса, который дает вакуум 0,1 мм рт. ст..



Форвакуумный насос в свою очередь откачивает глубоко-вакуумный диффузионный насос, который и дает необходимый технический вакуум глубиной  $10^{-6} - 10^{-8}$  мм рт. ст..

Для успешной откачки необходимо два вакуумных крана. Один кран отсекает диффузионный насос от форвакуумного. Другой диффузионный насос от откачиваемого изделия. Между диффузионным насосом и откачиваемым изделием также необходим вакуумметр для глубокого вакуума и желательна Дьюаровская ловушка, в которую при откачке незадолго до отпайки можно залить жидкого азота. Жидкий азот позволяет не только улучшить качество вакуума, но и также проверить показания вакуумметра. Чем меньше кипит азот в такой ловушке, тем глубже вакуум. Соединять откачиваемое изделие необходимо через шлифованное конусное соединение не менее 29 размера и тщательно пришлифованное друг другу. При достаточном навыке для соединения можно использовать вакуумный шланг зажатый хомутами. Основа удачной откачки - правильно сделанный штенгель с толстыми стенками, которые предотвратят прорыв стекла внутрь. Перепаивать штенгель лучше ручной горелкой встречного пламени с двумя головами. В отсутствии такой горелки подойдет и обычная ручная горелка.

Откачивать прибор надо сразу после отжига, когда он внутри еще чистый и сухой, а его температура еще не успела остыть до комнатной. Также необходимо отметить, что для питания откачного поста кроме электрической энергии также необходима проточная холодная вода для охлаждения диффузионного насоса. В качестве рабочего тела в диффузионном насосе используется высоковакуумное масло с упругостью паров не более чем  $10^{-6}$  мм рт. ст..

## 10. Материалы и заготовки из стекла

Главный материал для стеклодува – стеклотрубка. Обычно принято стеклотрубку диаметром до 50 мм называть трубкой или дротом, диаметром от 50 мм и больше – трубой. Кроме стеклотрубки часто используется штабик (палочка из стекла). В стеклодувной мастерской для работы обычно необходим разный штабик с диаметром от 3 до 10 мм.

Кроме стеклотрубки и штабика также промышленностью выпускаются калиброванную стеклотрубку (для изготовления мерной посуды) и капилляры, профильную стеклотрубку и профильные капилляры (с профилем в виде треугольника, квадрата, пятиугольника, овала, звездочки и т. д.). А также пластины различной толщины. Но эти виды стекломатериалов используются редко.

При выполнении стеклодувных работ кроме стеклотрубки используются заводские заготовки. Это примитивные соединительные элементы (гладкие и шлифованные), запорные соединительные элементы (краны и клапана) и фильтрующие пластины в виде диска. Из гладких соединительных элементов широко используются штуцера и резьбы. Штуцера используются для соединения со шлангами. Заводские штуцера, как правило, более прочные, чем изготовленные вручную, также на них легче одевать шланги. Резьбы используются для соединения с пластмассовыми штуцерами посредством накидной гайки из пластика. Такие штуцера с накидной гайкой удобнее использовать, чем стеклянные штуцера, если необходимо часто подключать и отключать шланг. Также вместе с накидной гайкой используют септы из силикона, которые можно прокалывать иглой шприца вводя или высасывая вещество. Кроме сплошных септ, есть септы с отверстием, через которое можно достаточно герметично провести мешалку или стеклянную (или пластиковую, или металлическую) трубочку внутрь стеклянного прибора.

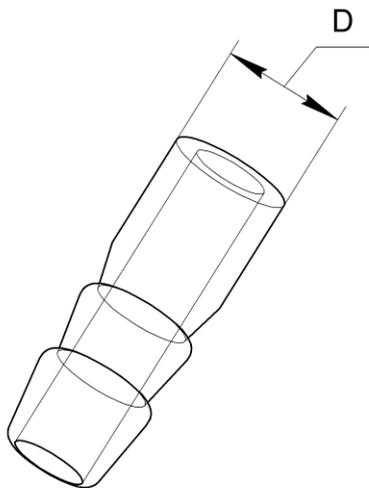
Из разнообразных шлифованных соединительных элементов наиболее употребимы конические и сферические. Конические удобны тем, что обычно не требуют зажима при монтаже прибора, и также имеют возможность вращаться вокруг оси, что часто химиками используется. Основной недостаток конических шлифов – достаточная жесткость соединения. По этой причине сложные и габаритные части установок удобнее соединять сферическими шлифами, которые допускают осевое отклонение до 5-ти градусов. Сферические шлифы в данном случае не только делают монтаж безопасным и более удобным, но и позволяют немного сместить отдельные части уже при работе с сохранением герметичности прибора. Также серьезное достоинство сферических шлифов против конических – полное отсутствие заедания при разборке.

Рекомендуемые значения диаметров и толщины стенок  
стеклотрубки для стеклодувной мастерской

OD	t	ID	V стекла, мл на 1 мм длины	V воздуха, мл на 1 мм длины	штуцер	резьба	кern шлиф	муфта шлиф	сферический шлиф
3	0,7	1,6	0,005	0,002					
4	0,8	2,4	0,008	0,005			5		
5	0,8	3,4	0,011	0,009					
6	1,5	3	0,021	0,007	6		7		
7	1,5	4	0,026	0,013					
8	1,5	5	0,031	0,020	8		10	5	S 13/5
9	1,5	6	0,035	0,028					
10	1,5	7	0,040	0,038				7	
11	1,5	8	0,045	0,050	11		12		
12	1,5	9	0,049	0,064		GL 14			S 19/9
13	1,5	10	0,054	0,079			14	10	
14	1,5	11	0,059	0,095					
15	1,8	11,4	0,075	0,10				12	
16	1,8	12,4	0,080	0,12		GL 18			
17	1,8	13,4	0,086	0,14			19	14	
18	1,8	14,4	0,092	0,16					
19	1,8	15,4	0,097	0,19					S 29/15
20	1,8	16,4	0,10	0,21					
22	1,8	18,4	0,11	0,27		GL 25	24	19	
24	1,8	20,4	0,13	0,33					
26	2	22	0,15	0,38			29		
28	2	24	0,16	0,45		GL 32		24	S 35/25, S 40/25
30	2	26	0,18	0,53			34		
32	2	28	0,19	0,62					
33	2	29	0,19	0,66				29	
34	2	30	0,20	0,71					
36	2	32	0,21	0,80					S 51/30, стенка 2,8
38	2	34	0,23	0,91					
40	2,3	35,4	0,27	0,98		GL 45	45	34	

Рекомендуемые значения диаметров и толщины стенок  
стеклотрубки для стеклодувной мастерской

<b>OD</b>	<b>t</b>	<b>ID</b>	<b>V стекла, мл на 1 мм длины</b>	<b>V воздуха, мл на 1 мм длины</b>	<b>штуцер</b>	<b>резьба</b>	<b>кern шлиф</b>	<b>муфта шлиф</b>	<b>сферический шлиф</b>
42	2,3	37,4	0,29	1,10					
44	2,3	39,4	0,30	1,22					
46	2,3	41,4	0,32	1,35					
48	2,3	43,4	0,33	1,48					S 64/40, стенка 3,2
50	2,5	45	0,37	1,59				45	
52	2,5	47	0,39	1,73					
54	2,5	49	0,40	1,88					
56	2,5	51	0,42	2,04			60		
58	2,5	53	0,44	2,21					
60	2,2	55,6	0,40	2,43					
60	3,2	53,6	0,57	2,26					
65	2,2	60,6	0,43	2,88					
65	3,2	58,6	0,62	2,70			71	60	
70	2,2	65,6	0,47	3,38					
70	3,2	63,6	0,67	3,18					
75	2,2	70,6	0,50	3,91					
75	3,2	68,6	0,72	3,69				71	
80	2,5	75	0,61	4,42					
80	3,5	73	0,84	4,18			85		
85	2,5	80	0,65	5,02					
85	3,5	78	0,90	4,78					
90	2,5	85	0,69	5,67					
90	3,5	83	0,95	5,41			100	85	
95	2,5	90	0,73	6,36					
95	3,5	88	1,01	6,08					
100	3	94	0,91	6,94					
105	3	99	0,96	7,69					
110	3	104	1,01	8,49					
110	5	100	1,65	7,85				100	



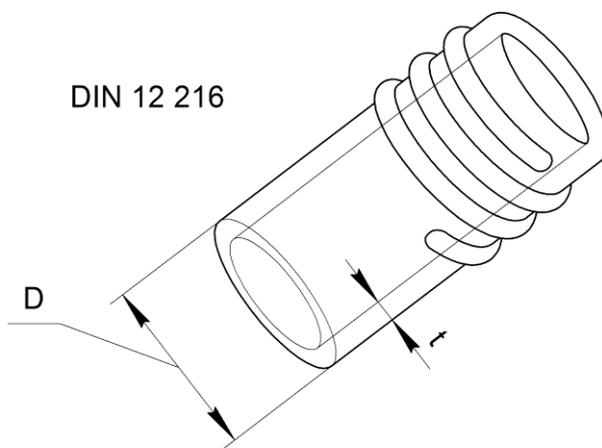
Штуцера

DIN 12 215

D= 6, 8 или 11мм

Резьбы GL

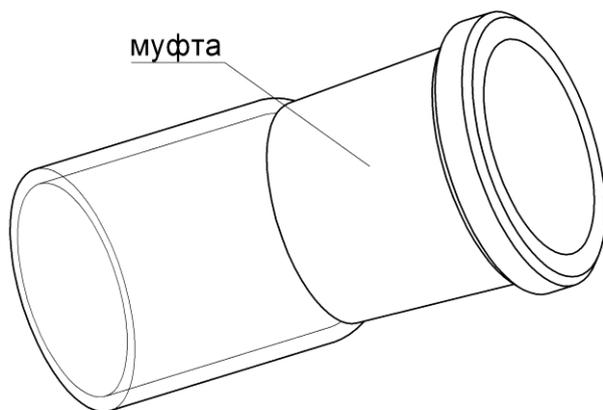
GL	D	t
14	12	1,5
18	16	1,8
25	22	1,8
32	28	2,0
45	40	2,3



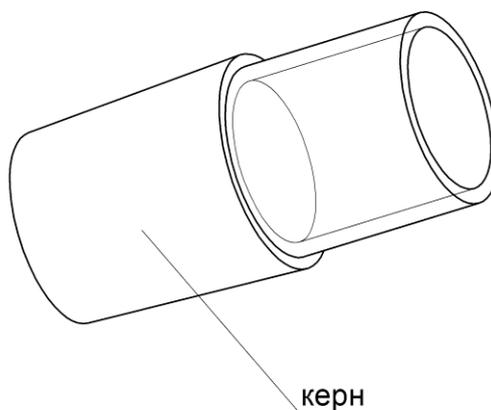
DIN 12 216

Конусные шлифованные соединительные элементы

DIN 12249



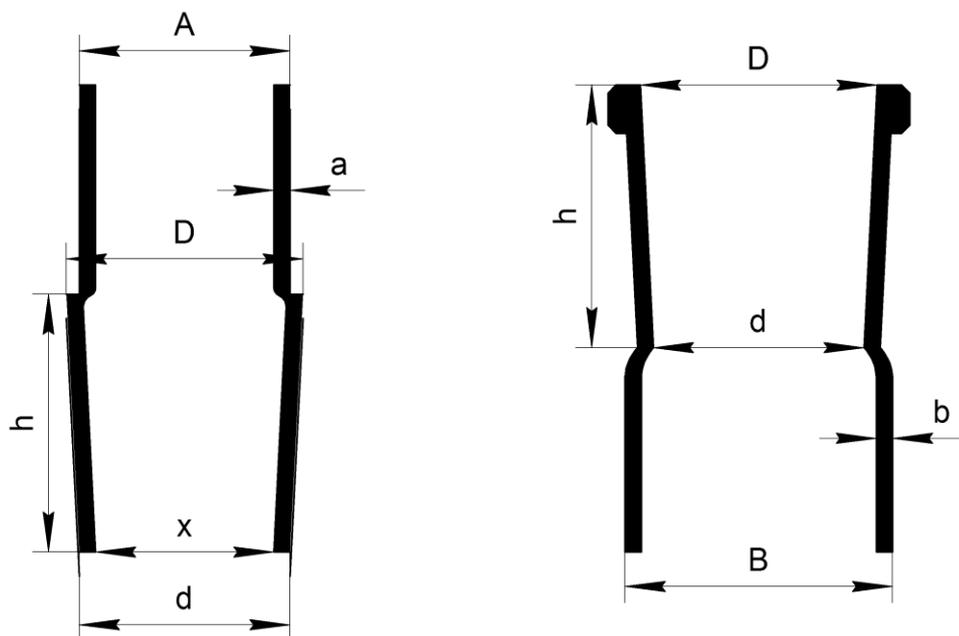
муфта



керн

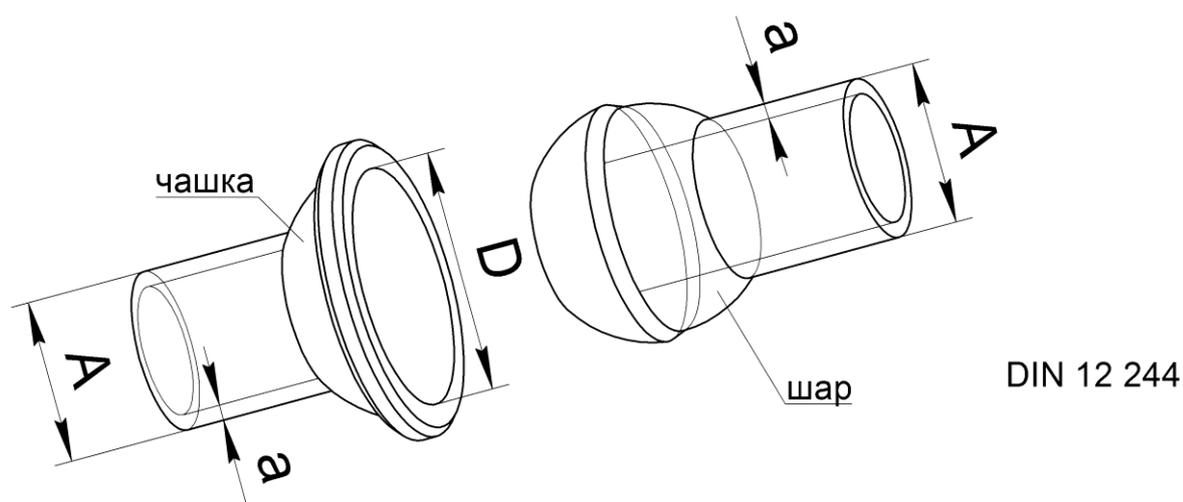
DIN 12 242

Основные размеры конусных  
соединительных шлифованных элементов



№	D	h	d	A	a	x	B	b
5/13	5	13	3,7	4	0,8	2,1	8	1,5
7/16	7,5	16	5,9	6	1,5	2,9	10	1,5
10/19	10	19	8,1	8	1,5	5,1	13	1,5
12/21	12,5	21	10,4	11	1,5	7,4	15	1,8
14/23	14,5	23	12,2	13	1,5	9,2	17	1,8
19/26	18,8	26	16,2	17	1,8	12,6	22	1,8
24/29	24	29	21,1	22	1,8	17,5	28	2
29/32	29,2	32	26	26	2	22	33	2
34/35	34,5	35	31	30	2	27	40	2,3
45/40	45	40	41	40	2,3	36,4	50	2,5
60/46	60	46	55,4	55	2,5	50,4	65	3,2
71/51	71	51	65,9	65	3,2	59,5	75	3,2
85/55	85	55	79,5	80	3,5	72,5	90	3,5
100/60	100	60	94	90	3,5	87	110	5

## Сферические шлифы



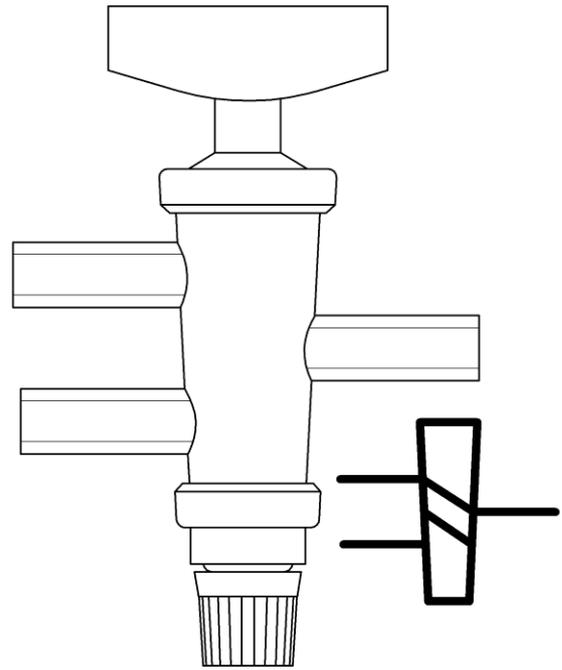
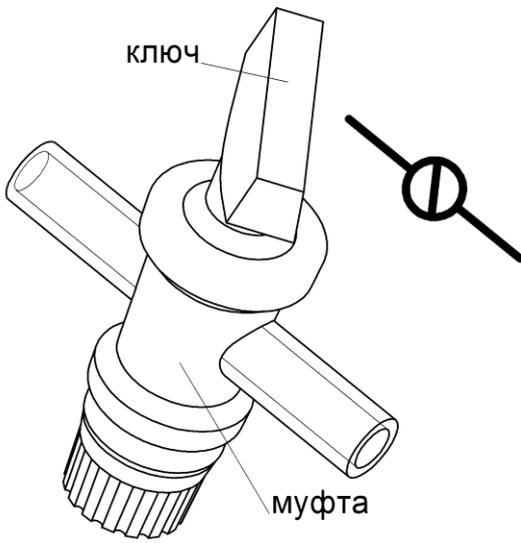
№	D	A	a
S 13/5	12,5	8	1,5
S 19/9	18,9	12	1,5
S 29/15	28,3	19	1,8
S 35/25	34,6	28	2
S 40/25	37,7	28	2
S 51/30	49,3	36	2,8
S 64/40	62,9	48	3,2

Кроме описанных соединительных элементов, также используют фланцы разнообразных форм (шлифованные или гладкие с прокладкой из фторопласта или резины) и цилиндрические шлифы, если необходимо изменять объем или передать механическое движение (как вращательное, так и поступательное) внутрь сосуда без нарушения герметичности.

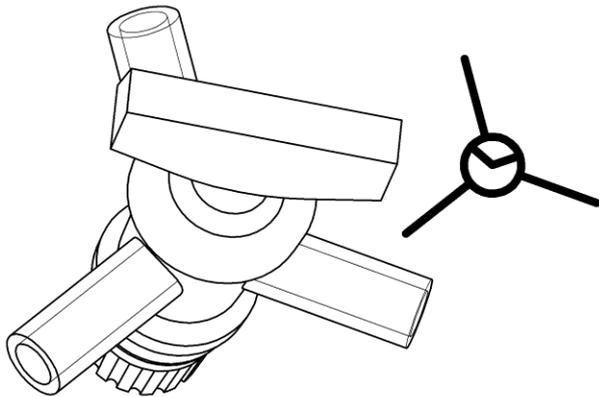
В качестве запорных соединительных элементов чаще всего используются конусные краны, ключ которых удерживается в муфте благодаря пластмассовой гайке. Такие краны могут работать как в вакууме, так и при избыточном давлении.

# Конусные краны

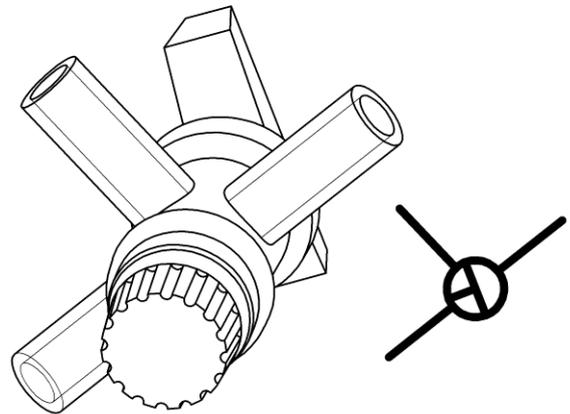
одноходовой кран, DIN 12 541-1



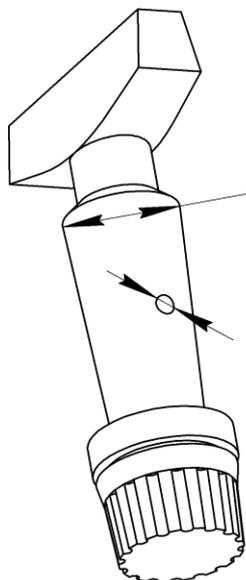
трехходовой, DIN 12 563



двухходовой, DIN 12 553



четырёхходовой, DIN 12 554



диаметр  
ключа

10 12,5 14,5 18,8 21,5 24 29,2 34,5 45

диаметр  
отверстия  
в ключе

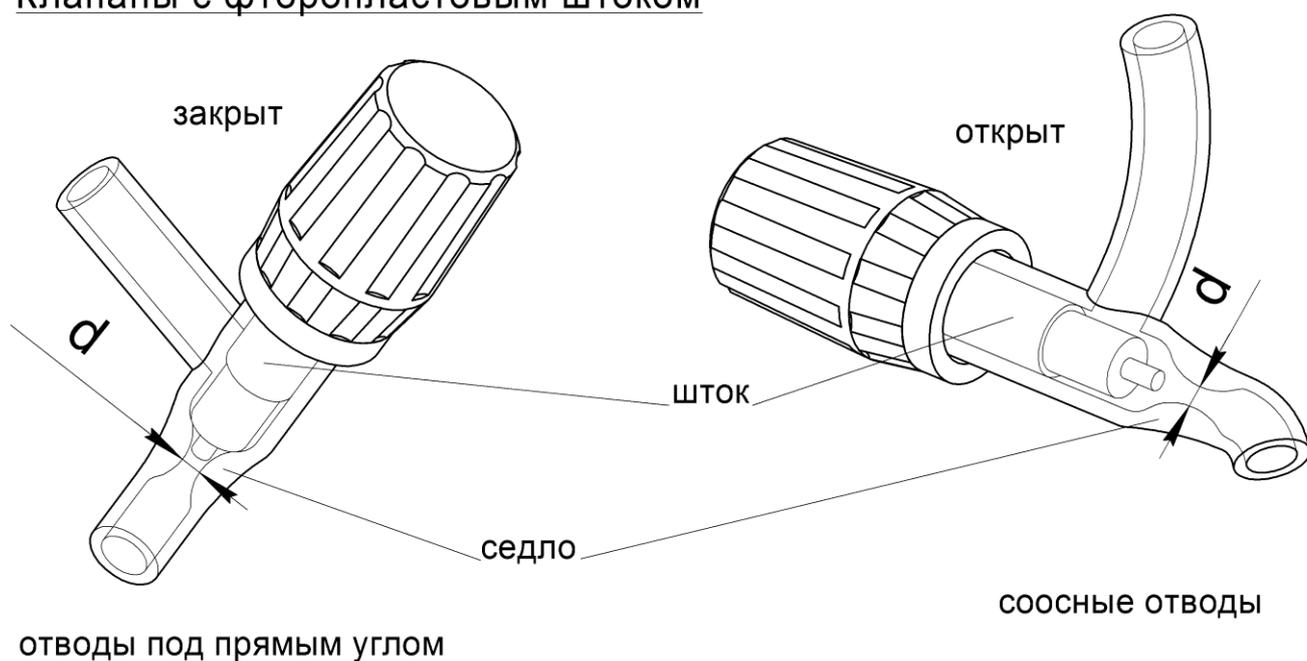
1 1,5 2,5 4 6 8 10 12 15

Ход - уникальное положение ключа крана, при котором сообщаются два или более отводов

Если необходимо работать без смазки, то используют ключ из фторопласта. Но кран с фторопластовым ключом имеет два недостатка, его надо периодически подтягивать иначе он потеряет уплотнение, также он не подойдет для работы при температуре выше 200 градусов и при повышенной температуре ключ может заесть или даже раздавить муфту, поскольку фторопласт расширяется при нагревании значительно сильнее, чем термостойкое боросиликатное стекло. Если наличие смазки не критично, то лучше использовать кран с полнотелым ключом, такой кран более всего распространен и популярен у химиков. Недостаток такого крана – возможность разрушения ключа при высоких температурах. Кроме кранов с фторопластовым или полнотелым стеклянным ключом, также выпускаются краны с пустотелым (дутым) ключом из стекла. Не смотря на меньшую механическую прочность (у них часто отлетает стеклянная резьба вместе с пластмассовой гайкой) кран с дутым ключом лучше работают при высоких температурах, чем конусные краны с другими ключами. Краны с дутым ключом выпускающиеся промышленно, как правило, имеют более высокое качество шлифовки, чем краны с полнотелым ключом и их рекомендуется использовать для работы с глубоким вакуумом.

Главный недостаток конических кранов кроме заедания – невозможность тонкой регулировки. Это актуально при маленькой подаче жидкостей (например, в капельных воронках) и газов. В этом случае используют клапан с фторопластовым штоком.

### Клапаны с фторопластовым штоком

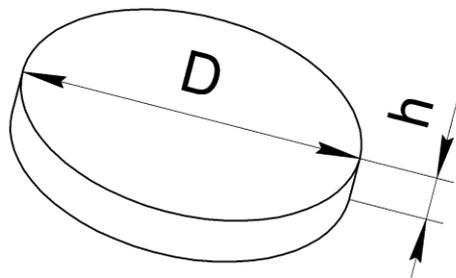


$$d = 2,5 \text{ или } 4, 6, 10$$

Стоит заметить, что у такого клапана отводы разные и, как правило, отвод со стороны седла лучше уплотнен в закрытом состоянии, чем со стороны фторопластового штока. И конечно клапан никогда не заест в отличие от конического крана. Использование для химического эксперимента вакуумных конических кранов совершенно не оправдано. Пробки у таких кранов, будучи не зафиксированы, могут выстреливать из муфты с высокой скоростью

при избыточном давлении. Применение специальных клипс удерживающих ключ в муфте чтобы избежать этого не всегда удобно. Кроме соединительных элементов для изготовления химической аппаратуры также используют фильтрующие пластины обычно в виде диска из спеченного стекла с разной пористостью.

### Фильтрующие диски



D	5	10	20	25	30	40	50	60	65	70	80	90	100
h	2.8	2.8	3	3	3.8	4.5	4.5	5	5.5	5.5	6.2	7	8.5

пористость	00	0	1	2	3	4	5
размер пор, мкм	250	160	100	40	16	10	1
	-	-	-	-	-	-	-
	500	250	160	100	40	16	1,6

Этот краткий справочник, конечно, не охватывает полностью все существующие и возможные варианты. Но автор с одной стороны старался описать то, что актуально для настоящего времени. С другой стороны то, что широко используется и получило признание в стеклодувной практике.

### Рекомендуемая литература

1. Веселовский С. Ф. «Стеклодувное дело». – М.: Издательство АН СССР, 1952.
2. Зимин В. С. «Стеклодувное дело и стеклянная аппаратура для физико-химического эксперимента». – М.: Издательство «Химия», 1974.
3. Дуброво С. К. «Стекло для лабораторных изделий и химической аппаратуры». – Л.: Издательство «Наука», 1965.