

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЭРГОНОМИЧНОГО СТЕКЛОДУВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Пилькина А.А.¹, Вехтер Е.В.²

¹ ТПУ ИШИТР ОАР, студент гр. 8Д01, e-mail: aak296@tpu.ru

² ТПУ ИШИТР ОАР, доцент, к.п.н. e-mail: vehter@tpu.ru

Аннотация

Статья посвящена анализу процесса ручного стеклоделия в традиционной технике «Мурано». В исследовании использовались описательные и инструментальные методы профессиографирования для выявления эргономических проблем. Был разработан передвигающийся тросовый манипулятор со специальным рабочим органом. Итоговое решение позволяет избавить мастера от вредных и опасных факторов, не нарушает традиционную технологию и сохраняет ценность ручного труда.

Ключевые слова: стеклодувная трубка, эргономика, манипулятор, рабочий орган.

Введение

На сегодняшний день стеклянные изделия, выполненные в традиционных техниках, например «Мурано», ценятся не меньше, чем во время расцвета стеклоделия. Ручная работа со стеклом предполагает высокое качество материала, прочность конструкции и уникальные эстетические характеристики, несравнимые с изделиями массового производства. Однако условия труда стеклодувов не соответствуют современным требованиям эргономики и безопасности.

Стеклодувы вынуждены выполнять множество физически тяжёлых и опасных для здоровья операций. Специфика их работы заключается во всевозможных манипуляциях со стеклодувной трубкой и заготовкой, закреплённой на ней. Представленное на рынке оборудование не позволяет полностью автоматизировать механические операции. Существующие устройства являются статичными или направлены на работу непосредственно с заготовкой (без стеклодувной трубки), что не позволяет раскрыть возможности традиционной технологии.

Целью данной работы является анализ эргономических проблем в области ручного стеклоделия и разработка способов их решения. В результате будет представлена концепция оборудования для рабочего места стеклодува. Устройство направлено на выполнение физически тяжёлых для человека операций.

Особенности работы стеклодува в современных условиях

Стеклодув – мастер по созданию различных объектов утилитарного и эстетического назначения путём выдувания их из стекломассы специальной металлической трубкой [1]. Данная работа помимо творческих способностей требует множество физических ресурсов и выносливости, так как условия в мастерской и особенности технологии довольно тяжёлые.

Стеклодувная трубка – основной инструмент мастера. Представляет собой полую металлическую трубку из толстостенной стали, на треть, обшитую деревом. Её длина достигает от 900 до 1500 мм, диаметр – 8-35 мм. Именно ей зачерпывается расплав стекла, температура которого выше 1000 °С [2]. Согласно традиции, стекломасса находится на трубке во время всей работы за исключением финальной обработки. Придание необходимой формы может осуществляться на данный момент 3-мя способами: выдувание, литьё, формование. Ни один из способов не обходится без вращения заготовки, ведь именно оно позволяет добиваться идеально круглого в сечении сосуда.

Современные реалии так или иначе наложили отпечаток на процесс создания муранского стекла. Сегодняшние стеклодувы могут приобрести шихту вместо того, чтобы её готовить, выбор составов, пигментов и свойств стал шире. Топливные печи были заменены на электрические, более безопасные, удобные и не требующие регулярного обслуживания. Появились такие вспомогательные механизмы как автоматические дверцы печей, стойки с роликами, шлифовальные диски для финальной обработки и так далее. Использование горелок значительно упростило процесс поддержания необходимой температуры заготовки, особенно для средних и мелкогабаритных изделий. Но вместе со стремительно развивающейся техникой меняется и общественный уклад, выраженный в нормативных требованиях и законодательных актах. Современные условия труда должны быть безопасными для жизни и здоровья человека.

Учитывая размер стеклодувной трубки и назначение предметов, а часто это люстры, вазы, движения мастера должны компенсировать вытянутую тяжёлую конструкцию в руках. Это требует больших физических затрат и множество пространства вокруг. Серьёзные физические затраты на регулярной основе со временем приводят к заболеваниям и общему ухудшению самочувствия, а свободное пространство в мастерской порождает проблему удалённости рабочих областей друг от друга, которая также приводит к первой проблеме.

По данным причинам очень важно провести анализ эргономических проблем в области ручного стеклоделия и разработать концепцию их решения при помощи соответствующего оборудования.

Эргономический анализ рабочего процесса стеклодува

Для осуществления полноценного эргономического исследования будут подключены описательные и инструментальные методы профессиографирования для получения первичной информации [3]. Также, будут использоваться такие методы эмпирической группы как наблюдение, анализ процессов и продуктов деятельности и беседы со специалистом. Наблюдение будет осуществляться при помощи видеоматериалов о работе стеклодува, анализ процессов – базироваться на методической литературе о стеклодувном деле, беседы – проходить в формате общения через электронные ресурсы. Из интерпритационных методов будут использованы приёмы измерения рабочей нагрузки и субъективной оценки утомления [4]. В дальнейшем эти данные будут систематизированы по принципам первичной обработки.

Вращение стеклодувной трубки сопровождает практически каждую операцию мастера. Особенно тяжёлым является многочасовое прокручивание инструмента с большим весом стекломассы. Вес может достигать до 30-ти килограмм при производстве крупных ваз или плафонов. Помимо снижения производительности труда ввиду физической утомляемости, это может привести к тендовагиниту, карпальному туннельному синдрому и артриту кистей рук [5].

В самом наименовании профессии кроется такая операция, как выдувание стекла. Это самое первое действие для формирования из стеклянной капли – сосуда [6]. Процесс выдувания происходит в один заход, с минимальными паузами для вдоха. Сопротивление естественному дыханию приводит к барогипертензии, а вследствие увеличения артериального давления, одышке и головокружению. Барогипертензия может стать хроническим сосудистым заболеванием, в таком случае неизбежно снижение работоспособности, постоянные боли в лёгких и затрудненное дыхание. Также, ткани лёгких могут травмироваться и пропустить воздух из внутренней части в плевральную [7].

Тепловое облучение – влияние теплового излучения от технологического оборудования и заготовок на человека. Тепло излучается от поверхностей печей и от заготовки, находящейся в непосредственной близости с мастером. Рабочая температура стекломассы достигает 650-720 °С. К последствиям регулярного теплового облучения можно отнести нарушение в работе терморегуляционного механизма, повышенную нагрузку на сердечно-сосудистые и дыхательные системы [8]. Сгущение крови, вызванное утратой возможности удерживать воду, ухудшает питание тканей и органов, появляются резкие судороги.

Физическая утомляемость в результате длительных перемещений – результат неграмотного размещения рабочих зон. Работа со стеклом в муранской технике – априори физически тяжёлый процесс. Дополнительная нагрузка в виде ходьбы от верстака до печи усиливает усталость мастера. Следует понимать, что все перемещения сопровождаются нагрузкой – весом стеклодувной трубки и стекломассы. Порой нужно перемещать заготовку не только по горизонтали, но и по вертикали. К примеру, при необходимости погрузить заготовку в форму. То есть сначала нужно повернуть трубку на 90 градусов, затем поднять настолько, чтобы нижняя точка стекломассы не касалась верхней поверхности формы, и вращательными движениями полностью опустить её внутрь, а далее извлечь из формы обратно.

Процесс создания сложных, крупногабаритных или сильно вытянутых объектов, коих производится большое множество – характеризуется парной работой мастеров. В то время как один человек удерживает и прокручивает заготовку, второй – может оттягивать её часть, брать на понтию, выравнивать лопатками и так далее. Порой даже довольно простую операцию невозможно совершить самостоятельно из-за того, что до конца или середины заготовки сложно удобным образом дотянуться. Таким образом, одной из эргономических проблем рабочего места является отсутствие вспомогательных средств для самостоятельной работы с крупными или вытянутыми по одной из сторон объектами.

Таким образом, были выявлены следующие эргономические проблемы:

1. Большие нагрузки на кисти рук при ручном прокручивании стеклодувной трубки с большим весом стекломассы.
2. Серьёзные нагрузки на дыхательную систему в процессе выдувания изделий.
3. Тепловое облучение.
4. Большие физические затраты мастера в процессе перемещения заготовки.
5. Отсутствие возможности самостоятельно работать со средними и крупными заготовками.

Формирование концепции эргономичного оборудования для стеклоделия

Некоторые выявленные эргономические проблемы могут быть решены созданием и внедрением в пространство мастерских многофункционального мобильного устройства. Оно не сможет являться универсальным рабочим местом, так как работа над крупными изделиями требует множества манёвренного пространства. Но оно может выступать в качестве помощника, когда в нём появляется необходимость.

Первостепенными задачами устройства являются удержание и прокручивание стеклодувной трубки. Передавать вращательный момент инструменту способны ролики. Эффективность передачи вращательного движения от ролика трубке может регулироваться их размерами и количеством. Фиксация осуществляется силой прижима роликов к заготовке. Такой способ применяется в харвестерных головках [9]. Силы вальцов (харвестера средней мощности) достаточно чтобы удерживать и протаскивать стволы до 1000 кг. Таким образом, оптимально будет использовать несколько прокручивающихся вальцов в двух местах фиксации заготовки.

Для того чтобы избавить мастера от необходимости самостоятельного перемещения тяжёлых заготовок, необходимо предусмотреть принцип движения устройства. При этом важно учитывать следующие особенности:

- Пространство мастерской ограничено.
- В процессе работы мастер совершает множество передвижений, которым не должны препятствовать посторонние объекты.
- Движение должно осуществляться по горизонтальной и вертикальной осям.
- Траектория движения не линейна.

Исходя из данных особенностей, оптимальным будет использование принципа автоматического перемещения трубки навесу, а не по поверхности пола. Это позволит сохранить пространство, использовать любые типы направляющих, которые не будут подвергнуты загрязнению и не будут выступать препятствиями, как в случае монтажа на полу. Также, это увеличит диапазон выбора конструкции, поскольку объект может опускаться вниз под собственным весом.

Таким образом, оборудование должно представлять собой размещённую на поверхности потолка мобильную установку, фиксирующую, прокручивающую и перемещающую стеклодувную трубку. Непосредственно с объектом перемещения будет взаимодействовать рабочий орган, осуществляющий захват, прокручивание и поворот. Управление оборудованием должно осуществляться автоматически через пульт.

При разработке и внедрении такого оборудования в стеклодувную мастерскую в компетенции промышленного дизайнера входят следующие **задачи**:

1. Выбор механизмов в соответствии с поставленной целью.
2. Изучение принципа работы и основных деталей.
3. Анализ сценария пользования оборудованием и его учёт при дальнейших задачах.
4. Компонировка частей механизма исходя из пространства и особенностей рабочего процесса.
5. Проектирование корпуса и оболочек для удобного и безопасного взаимодействия человека с оборудованием.
6. Подбор оптимальных материалов.

Также, важно обозначить **требования к проектируемому оборудованию**. Это позволит выдержать баланс между требованиями безопасности пользователя, возможностями технологий и особенностями пространства.

1. Осуществление фиксации стеклодувной трубки, её поворота вокруг своей оси и относительно точки в пространстве, перемещение по трём осям.
2. Компактность оборудования и процесс эксплуатации, не создающий препятствия для работы мастеров.

3. Понятный, удобный и безопасный способ взаимодействия с пользователем.
4. Лёгкая адаптация к различным по площадям и планировкам пространствам мастерских.
5. Эффективная работа оборудования с учётом особенностей микроклимата и порядка рабочего процесса мастеров.

6. Небольшое энергопотребление, так как в пространстве очень много крупных потребителей.

В качестве подхода в проектировании был выбран системный подход. Системный подход основан на представлении объекта в качестве системы, и включает в себя разложение крупных проблем на более мелкие составляющие, их анализ, рассмотрение способа их взаимосвязи, удержания этих составляющих в неразрывном единстве [10]. По этой причине процесс проектирования был разложен на 2 уровня: комплексный, в котором планируются основные узлы и связи между ними, и компонентный, в котором узлы раскладываются на детали и рассматриваются более подробно.

Комплексный уровень проектирования

На данном уровне раскрываются общие задачи проектирования. Необходимо рассмотреть оборудование как систему, состоящую из нескольких взаимосвязанных частей. За перемещение стеклодувной трубки по длине и ширине мастерской будет отвечать устройство по типу кран-балки. За перемещение по высоте и поворот относительно пола – система электролебёдок. За другие повороты будет отвечать основание манипулятора, одновременно выступающее в качестве платформы с креплением тросов и опорно-поворотного устройства. Рабочий орган должен фиксировать и вращать стеклодувную трубку. Таким образом, разрабатываемое оборудование представляет собой мобильный тросовый робот со специальным рабочим органом (рис. 1).

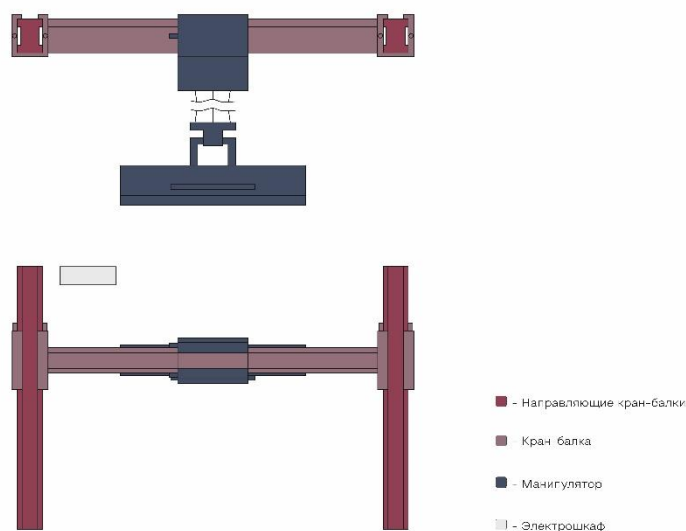


Рис. 1. Комплексная схема оборудования

Части данной системы имеют последовательные и параллельные связи. Все парные элементы друг с другом находятся на одном уровне. Представленные на схеме части имеют иерархическую структуру (рис. 2).

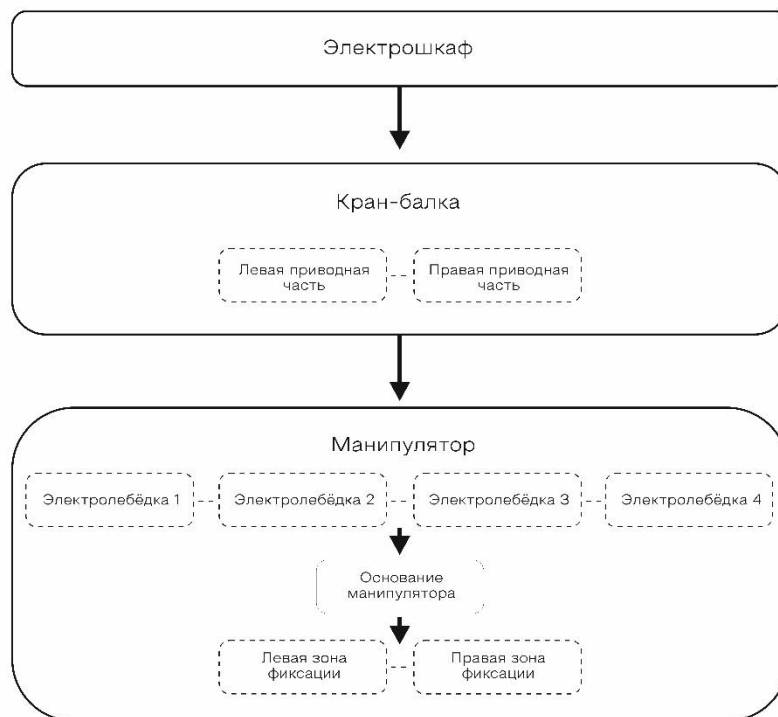


Рис. 2. Взаимосвязь компонентов

Однако важно рассматривать взаимосвязи не только внутри разрабатываемой системы, но и способ её взаимодействия с непосредственным пользователем в контексте среды. Для этого был составлен сценарий пользования.

Перед началом работы мастер должен будет откинуть крышку на рабочем органе. Будучи уже со стеклодувной трубкой в руках, он разместит её между роликами и закроет рабочий орган. Так как вращение практически нельзя прекращать, запуск роликов будет осуществляться не только с пульта, но и на самом РО. После запуска трубка уже прочно зафиксирована и вращается вокруг своей оси, мастер имеет возможность отойти за пульт управления или инструментом. При размещении стеклодувной трубки в зоны фиксации, важно сместить её таким образом, конец трубки с заготовкой оставался на весу больше, чем другой. Это необходимо для того, чтобы тепло от стекла и нагревающейся трубки не передавалось устройству. Также, это важно в случае погружения заготовки в печь. Для того чтобы мастер быстро сориентировался в степени смещения, на трубку заранее будут надеты насадки в двух местах. Именно они должны вступить в контакт с роликами. Их материал будет дополнительно предотвращать проскальзывание, и обеспечивать меньший износ роликов.

Компонентный уровень проектирования

Данный уровень подразумевает детальное рассмотрение имеющихся частей. Конструкция кран-балки представляет собой 2 линейных направляющих оси, прикреплённых к поверхности потолка. По ним при помощи механических крепёжных пластин с шарико-винтовым приводом передвигается балка – в виде такой же направляющей оси. На балке имеется крепёжная пластина для каретки, контроллер, блок питания, гибкий короб-канал с проводами. На направляющих так же размещены контроллер, блок питания и провода. Электрошкаф представляет собой стандартную конструкцию.

Отдельное внимание следует уделить манипулятору. На крепёжной пластине балки расположена каретка с 4-мя электрическими лебёдками со стальными тросами. Тросы перекрещиваются для компенсации нагрузки. На них подвешено основание и рабочий орган (РО) манипулятора. Основание имеет платформу для крепления тросов, а также серводвигатель. Относительно него происходит поворот РО. Устройство РО представляет собой вытянутую полую балку с 2-мя захватными зонами. Конструкция захватной зоны представлена на рис. 3.

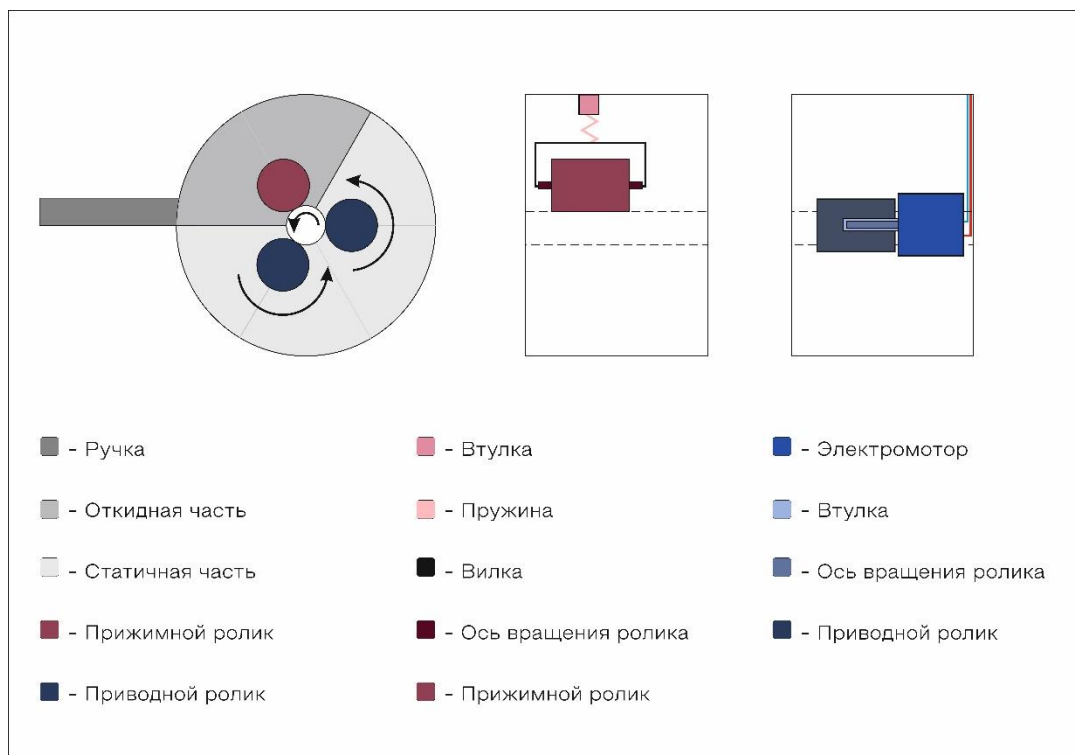


Рис. 3. Устройство зоны захвата

Рабочий орган представляет собой 2 участка для взаимодействия со стеклодувной трубкой, соединённые полой балкой, к которой крепится опорно-поворотное устройство. Внутри участков располагаются по 3 ролика (1 из которых ведущий, 2-прижимных). Конструкция прижимного ролика состоит из втулки, фиксирующей положение пружины, пружины, прикреплённой к ней вилки, оси, располагающейся на 2-х концах вилки, ролика, надетого на ось. Пружина позволяет максимально прижать ролик к трубке, благодаря чему осуществляется фиксация. Ведущий ролик имеет электромотор, ось, втулку, надетую на ось, ролик, надетый на втулку. Именно он запускает вращательное движение, передаёт его трубке и прижимному ролику. К электромотору необходимо подводить электричество, поэтому ведущий ролик не может быть изолирован от каркаса конструкции РО. Прижимной можно вынести на крышку, так как для его работы не требуется электроэнергия.

Таким образом, были составлены схемы разрабатываемого оборудования, которые дают общее представление и детальное видение отдельных компонентов. Они будут использованы в дальнейшем процессе проектирования.

Заключение

В результате проделанной работы был сформулирован ряд эргономических проблем, возникающих в процессе работы стеклодува, и предложена концепция их решения. Данная область требует бережного отношения к традиционному порядку работы и при этом нуждается в усовершенствовании условий труда мастера. Разрабатываемое оборудование способно снизить нагрузку на стеклодува в таких ситуациях как: длительное удерживание и прокручивание стеклодувной трубки, перемещение инструмента по мастерской, погружение в форму или печь. При этом рабочая область устройства способна адаптироваться под размеры помещения, увеличивать количество манипуляторов для одновременной работы нескольких мастеров и сохранять свободное пространство. От другого стеклодувного оборудования концепция отличается мобильностью, гибкостью системы и многофункциональностью, которые были достигнуты в результате глубокого анализа деятельности мастеров.

Список использованных источников

12. Современный стеклодув // Veryimportantlot: сайт. – 2022. – URL: <https://veryimportantlot.com/ru/news/blog/kto-takoj-stekloduv>

13. Сергеев Ю. П. Выполнение художественных изделий из стекла: учебник для художественных вузов и училищ. – Москва: Высшая школа, 1984. – 240 с.
14. Методы и технические средства эргономики. Классификация эргономических методов// Московский энергетический институт (ТУ) Кафедра инженерной экологии и охраны труда: сайт. – 2012. – URL: http://femk.mpei.ru/bgd/bgd_.htm#Metod_erg
15. Воронин В. М. Эргономика больших систем: учебник. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – 385 с.
16. Последствия синдрома запястного канала: основные причины и симптомы, осложнения // Первая медицинская клиника: сайт. – 2015. – URL: <https://pervaya-medklinika.ru/posledstviya-sindroma-zapyastnogo-kanala>
17. Фролов К. В. Машиностроение // Энциклопедия – Москва: Машиностроение, 1995. – 622 с.
18. Буллезная эмфизема легкого// Красота и медицина: сайт. – 2010. – URL: https://www.krasotaimedicina.ru/diseases/zabolevanija_pulmonology/bullous-pulmonary-emphysema
19. Действие высоких температур на человека // Роспотребнадзор: сайт. – 2011. – URL: <https://34.rosпотребнадзор.ru/content/193/5764/>
20. Колесников П.Г., Долматов С.Н., Федорченк И.С. Харвестеры. Устройство, эксплуатация, сервисное обслуживание // Учебное пособие – Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2023. – 92 с.
21. Малыгин Д. В. Введение в инженерную специальность: учебное пособие. – Санкт-Петербург: БГТУ, 2023. – 104 с.