

## **Проектирование установки для получения цифровых послойных изображений биологического объекта для его последующей виртуальной реконструкции.**

В статье речь идет о проектировании установки для получения цифровых послойных изображений биологического объекта в автоматизированном режиме. Показаны пути обеспечения точности, автоматизации и функционирования установки. Приведены результаты функционирования установки.

Ключевые слова: морфология, гистологический срез, реконструкция биологических объектов, трехмерное моделирование.

В настоящее время в биологии и медицине широко применяются различные методики исследования, разрушающие и неразрушающие, основанные на изучении изображений исходных объектов и препаратов. Постепенное замещение аналоговых технологий получения и обработки изображений цифровыми, обусловленное бурным развитием компьютерной техники, дает почву для более широкой разработки и внедрения технологий создания и методик исследования виртуальных трехмерных моделей биологических объектов. Вытеснение плоских изображений объемными позволяет перейти на новый качественный уровень во всех областях биологии и медицины, от подготовки специалистов на уровне среднего и высшего образования, в плане учебных пособий и симуляторов, до хирургических методов лечения, в плане моделирования сложнейших операций. В этой связи особого внимания и тщательности требует этап создания виртуального трехмерного объекта-модели, связанный с получением исходного изображения объекта-оригинала. Это наиболее актуально для медицинских исследований, так как, например, ошибки при гистологических исследованиях тканей организма человека могут привести к постановке ошибочного диагноза и к неправильному выбору лечения больного. Работы по совершенствованию технологии получения исходного изображения и дальнейшего трехмерного моделирования ведутся как в нашей стране, так и за рубежом. Наибольший интерес представляют проекты Visible Human (NLM, США) и VOXEL-MAN (Гамбургский университет, Германия).

Установка, проектирование которой рассмотрено в этой статье, предназначена для послойного разрушения специально подготовленного исходного биологического препарата и ввода цифровых изображений его поверхностей в компьютер, обратное наложение которых является сутью виртуальной реконструкции биологического объекта методом послойного наложения. Под «реконструкцией» мы понимаем получение объекта-модели, являющегося цветовой копией объекта-оригинала. Эксперименты, проведенные с сериями срезов, приготовленных по традиционным гистологическим методикам, показали непригодность таких срезов для реконструкции (рис.1). Основных причин тому две: деформация срезов при

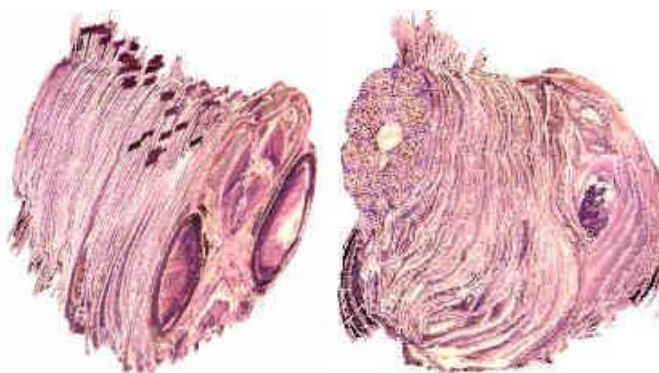


Рис.1. Аксонометрические проекции реконструкции фрагмента малька корюшки. Хорошо видны цветовые несоответствия срезов и деформации их формы.

манипуляциях и потеря естественных цветов ткани. К наиболее существенным деформациям относятся смятия, разрывы и «параллелограммные» деформации. Вероятность появления механических повреждений увеличивается с уменьшением толщины среза.

Установка, изготовленная фирмой «Морена» (г. Коломна), и технология, реализованная с ее помощью, позволяет существенно повысить качество получаемых изображений, их информативность и пригодность для дальнейшей трехмерной реконструкции биологических объектов. Главной особенностью технологии является автоматизация процесса подготовки поверхности исходного объекта (заготовки) и транспортирования его в зону получения цифровых изображений. При этом оцифровывается изображение не снимаемого слоя, то есть среза в привычном гистологическом понимании, а поверхность, которая остается на объекте после удаления этого слоя. Благодаря этому механические деформации малы и не приводят к искажениям анализируемой поверхности, а толщина слоя при этом может составлять весьма малую толщину – 50 мкм и менее. Разработке этой технологии предшествовали опытные работы, проведенные авторами совместно с фирмой COROMANT SANDVIK по обработке замороженных органических объектов торцевой фрезой  $\varnothing 200$ мм, которые показали, что замороженные биологические объекты могут обрабатываться на режимах резания аналогичным обработке алюминия. Наличие материалов разной твердости (кости, ткани) при обработке замороженного объекта не оказывают заметного влияния на качество срезаемого слоя.

На основе опытных данных были установлены следующие требования к качеству и параметрам обработки: удельная сила резания  $K_c=650-700$ Н/мм; шероховатость обработанной поверхности  $R_a \leq 0,63$ ; требуемое максимальное отклонение от прямолинейности перемещения стола с заготовкой – не более 0,02мм. Размеры заготовки: длина – 200 мм; ширина – 100 мм; высота – 100 мм. Масса заготовки: без паллеты  $\approx 2,5$  кг; с паллетой из нержавеющей стали  $\approx 8$  кг. Температура заготовки  $T = -18 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Процесс функционирования установки включает следующие этапы:

1. Оператор устанавливает и закрепляет паллету с примороженной заготовкой в приспособлении;
2. В режиме ручного управления осуществляется подвод заготовки к фрезе и удаление нескольких слоёв материала толщиной  $a_{max}=0,56$  мм;
3. Оператор устанавливает необходимую толщину срезаемого слоя, скорость резания, подачу и число слоёв необходимое для получения трёхмерного изображения объекта с заданными параметрами.
4. В автоматическом режиме производится удаление слоёв заданной толщины с послойным получением цифровых изображений обработанной поверхности.

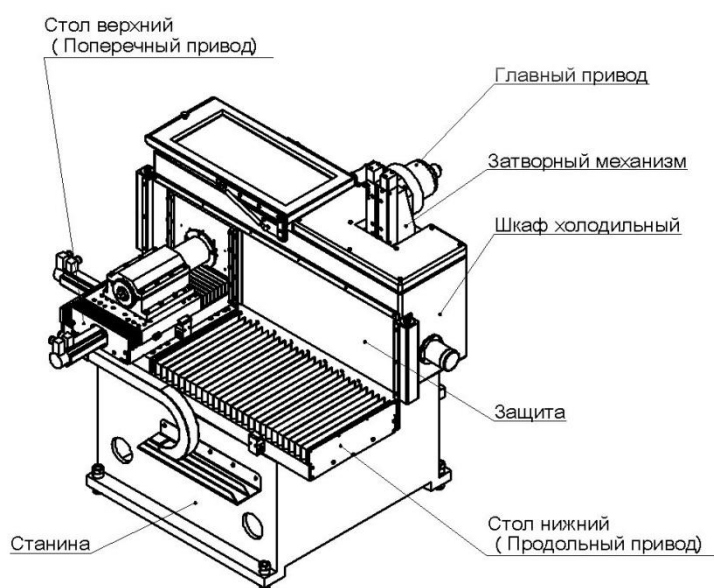


Рис.2. Общий вид

На рис. 2 представлен общий вид установки с отмеченными основными подсистемами. Установка выполнена в виде горизонтально-фрезерного станка с «крестообразным столом». Приспособление для установки и закрепления паллеты с прикрепленной к ней заготовкой показано на рис. 3. Для уменьшения отвода холода от заготовки, она закреплена на текстолитовом листе, который имеет малую теплопроводность. С той же целью механизм закрепления паллеты на установке сделан из нержавеющей стали, которая так же имеет пониженную теплопроводность. Главный привод со шпиндельным узлом, осуществляющий движение резания, выполнен в виде мотор-шпинделя с номинальной мощностью  $P_n=3,5$  кВт, номинальным моментом  $M_n=20$  Нм. Максимальная частота вращения  $n_{max}=5000$  об/мин, номинальная частота вращения  $n_n=1500$  об/мин. Радиальное биение на переднем конце шпинделя 2...3 мкм, осевое биение 1 мкм. Поперечный стол с направляющими и механизмом подачи, обеспечивающий перемещение заготовки вдоль оси фрезы для удаления с её поверхности слоёв заданной толщины.

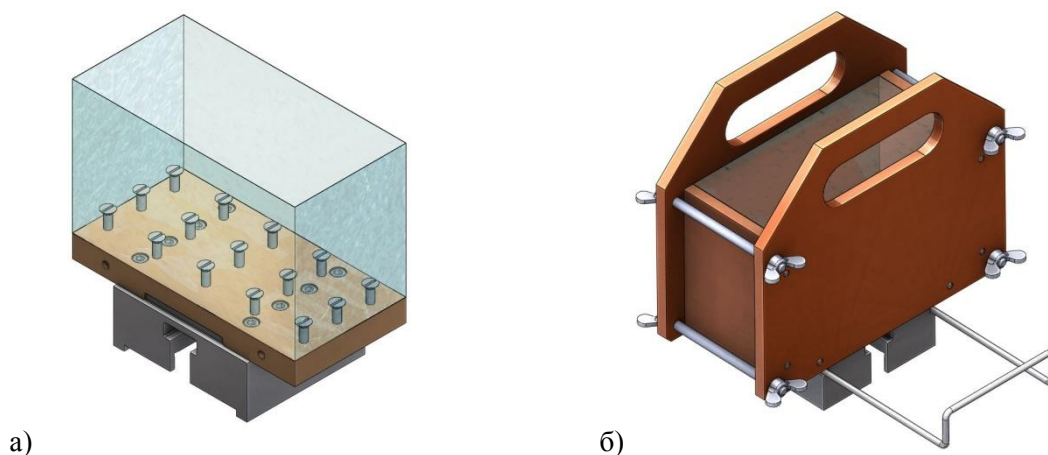


рис.3. а) паллета без опалубки, готовая к закреплению на установке.  
 б) паллета с опалубкой предназначенной для формирования заготовки и переноски паллеты.

Для обеспечения движения подачи используются профильные рельсовые направляющие качения и передачи винт гайка качения с предварительным натягом что обеспечивает высокую точность и требуемую дискретность перемещений. Привод поперечной подачи обеспечивает перемещение в пределах 100 мм с дискретностью не более 0,05мм с точностью позиционирования  $\pm 0,003$  мм.

Продольный стол с направляющими и механизмом подачи, обеспечивающий перемещение заготовки перпендикулярно оси фрезы для распространения движения резания на всю обрабатываемую поверхность, а так же подвод заготовки в зону получения цифровых изображений. Привод продольной подачи должен обеспечить перемещение в пределах 700 мм.

И повторяемость установки образца на позицию получения цифровых изображений с точностью позиционирования  $\pm 0,003$  мм.

Специальный контейнер (рис. 4 а), в котором обеспечивается необходимая температура для удержания заготовки в замороженном состоянии на всё время её обработки и сканирования выполнен в виде сварного короба с двойной стенкой заполненной теплоизолирующей пеной и установленного на станине. Охлаждение производится путем подачи внутрь охлажденного воздуха. Окно предназначенное для перемещения заготовки из зоны резания в зону получения цифрового изображения тепло-изолировано рулонной защитой фирмы HESTEGO.

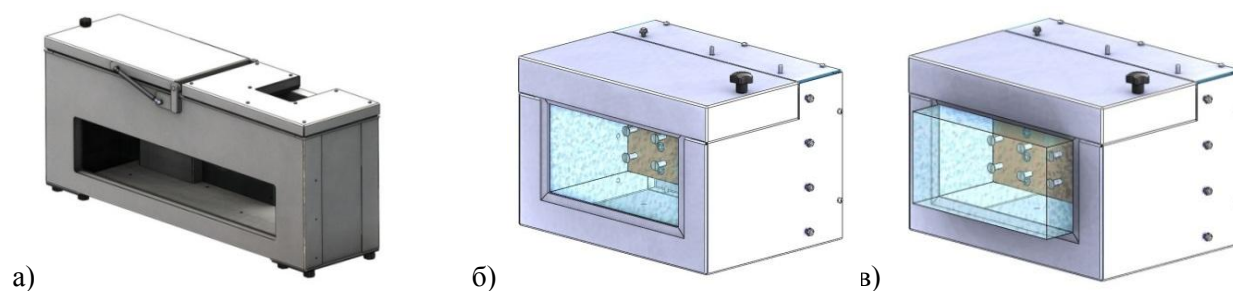


Рис.4. а) Основной холодильник, б,в) Холодильник с элементами Пельтье.

Так как основной холодильник имеет большие габариты, а, следовательно, и большую теплоотдачу, он предназначен только для предварительного охлаждения заготовки и рабочей зоны до 0 °С. Дальнейшее охлаждение заготовки происходит в дополнительном холодильнике работающем на элементах Пельте (принцип действия которого базируется на эффекте Пельте — возникновении разности температур при протекании электрического тока) (рис.4.б), благодаря которому можно добиться требуемой температуры -18°С. Он закреплен внутри основного холодильника, а заготовка выдвигается из него к фрезе (рис.4 в). После фрезерования заготовка перемещается в зону получения цифровых изображений и фотографируется фотоаппаратом Canon XXXX с объективом Canon L XXXXXX. Фотоаппарат установлен вне рабочей зоны, доступ к фотографируемой поверхности осуществляется с помощью

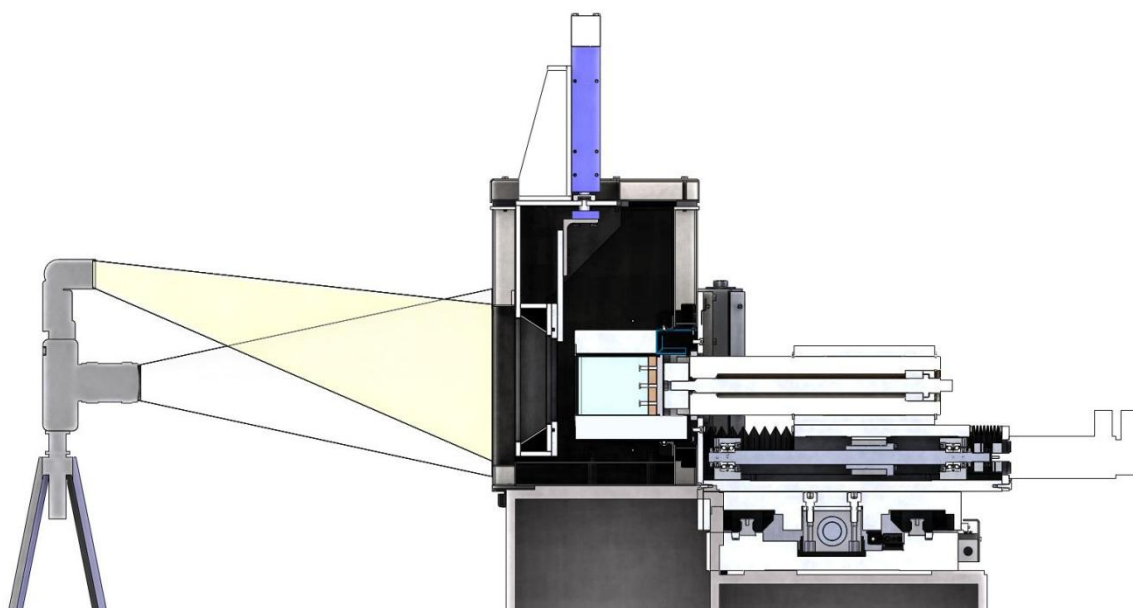


Рис.5. Затворный механизм.

затворного механизма (рис. 5). Он выполнен в виде кронштейна с установленным на нем пневматическим приводом с направляющими фирмы FESTO который обеспечивает открытие и закрытие шторки механизма. Время цикла открытие шторки-фотографирование-закрытие шторки до 1 секунды. На рис.6 показаны положения затворного механизма. Все перечисленные механизмы и узлы установки закрепляются на станине, которая устанавливается на специальных, гасящих вибрации опорах.



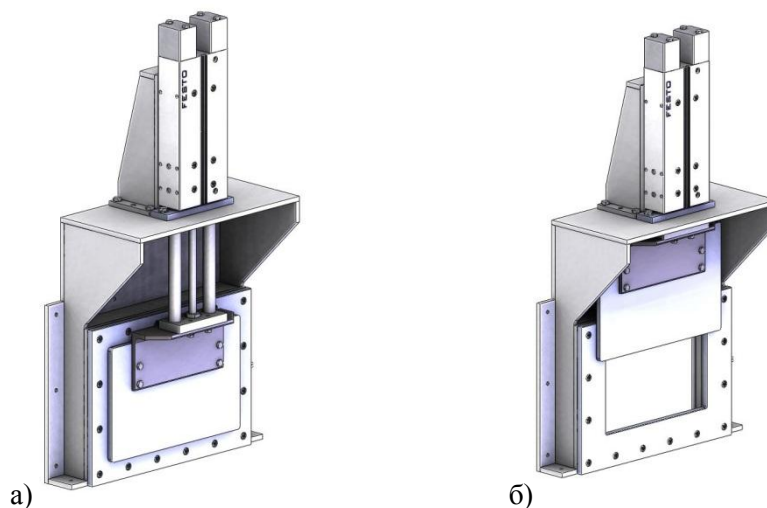


Рис.6. Затворный механизм. а) закрыт б) открыт.

После проведения опытов по обработке различных биологических объектов (например лабораторная крыса рис.7.) было установлено, что данная установка позволяет получать изображения без деформации срезов и потери естественных цветов тканей (рис. 1)

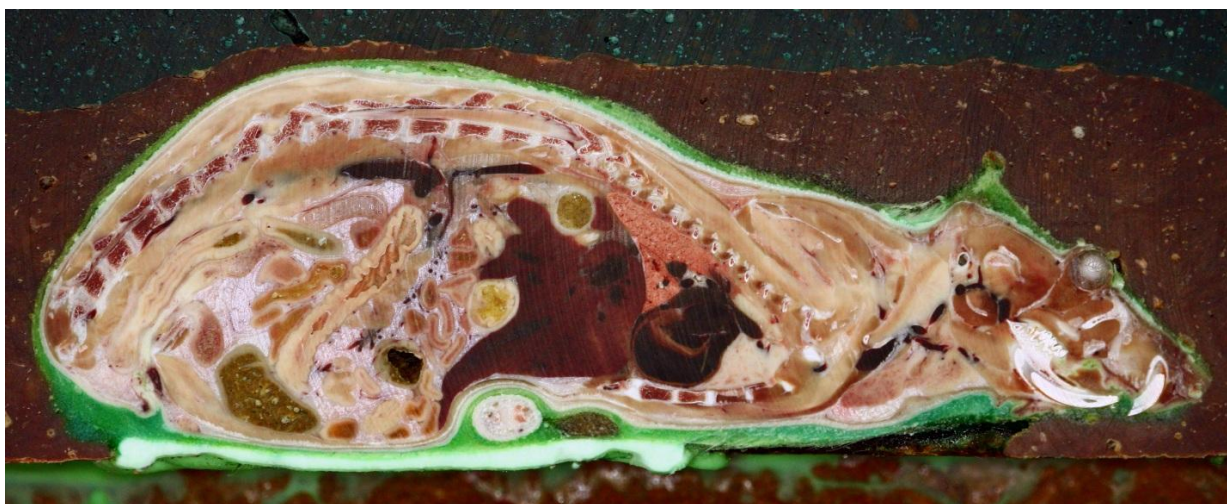


Рис.7. Один из срезов лабораторной крысы.

Заключение:

1. Установка позволяет в автоматизированном режиме получать послойные изображения биологического объекта-оригинала без искажения геометрии и цветовой информации;
2. Отсутствие геометрических искажений получаемых на установке изображений позволяет исключить из технологии реконструкции этап сборки - ручного или автоматизированного процесса восстановления и подгонки изображений друг к другу;
3. Как показали опытные работы, на установке можно получать более 10000 последовательных срезов без промежуточного технического обслуживания и переналадки, что особенно важно для получения серий изображений при одинаковой освещенности и неизменном температурном режиме. Такое количество срезов является достаточным в большинстве случаев для выбранных размеров заготовки;

4. Конструкция позволяет проводить частичное обслуживание и модернизацию основных технологических модулей, участвующих в получении изображения, без полного вывода установки из эксплуатации и в кратчайшие сроки, что является большим преимуществом в условиях ограниченного финансирования;
5. Основными направлениями модернизации установки на современном этапе являются: доработка узла сопряжения установки с оборудованием цифровой фотосъемки и совершенствование холодильного оборудования.