

Здравствуйте , уважаемые коллеги !

Не знаю, насколько полезной для Вас окажется моя информация по трехслойным (сэндвич) конструкциям, но что знаю и умею. Достаточно много можно найти информации по ним, но как ни странно, все как-то больше теоретически изложено, а по- простому, у шибко заначенных товарищей, уже не получается видимо. Поскольку ко мне обратилось несколько человек, пишу во множественном числе.

Мой опыт основан на авиационном образовании (Куйбышевский авиационный), 10-ти летней работе на АРЗ в Кубинке , некотором опыте работы на фирме Гидроплан по строительству Корветов (ЧЕ22), ремонту вдрызг разбитой нами при авиакатострофе в шторм ЧЕ22, строительству своей Цикады (с\х самолет проекта Гидроплана). Да и просто руками много чего пришлось делать.

Трехслойные конструкции, как правило панели различной кривизны, давно и широко применимы в авиаконструкциях. Из них можно делать как силовые, так и декоративные элементы. Обычно панель представляет собой две обшивки приклеенные в двух сторон к заполнителю. В качестве заполнителей используются пенопласты различной плотности, сотовые или бальзовые. Мы будем говорить о пенопластовых, как наиболее доступных.

Пенопласты доступны полистирольные (белые,ПС) и полихлорвиниловые (ПХВ, желтоватого или светло-кофейного цвета). Различаются по плотности : ПС40,ПС60, ПС65, ПС100. Цифра-это вес в кг\м³. Чем больше цифра, тем тверже и прочнее пенопласт. Пенопласты применяемые в строительстве или упаковке практически бесполезны, т.к. очень рыхлые и не прочные. Может быть только звукоизоляционные панели, несилловые перегородки. С заполнителем из ПС100 можно делать весьма ответственные части, нагруженные значительными силами, в частности днище лодок. Панель из ПС100 толщиной 7мм оклеенная конструкционной стеклотканью типа СТ10, СТ13 по прочности практически равна сосновой доске толщиной порядка 10-12 мм, но втрое легче. Из ПС40 толщиной 5мм можно делать хвостовое оперение, навесные панели фюзеляжа (при ферменной конструкции), элероны, закрылки и т.п. Из СТ60-65 делают панели передней части крыла, центропланов, боковые панели лодок и поплавков. Из пенопласта типа ПХВ можно делать практически любые части, но там где есть, или возможно, воздействие бензина или масла ПХВ незаменим, т.к. совершенно не подвержен их воздействию. Пенопласты ПС легко растворяются в бензине. Поэтому центропланы с бензобаками, фюзеляжи в районе бензобака, днище лодки гидросамолета в месте возможного пролива бензина должны быть из ПХВ.

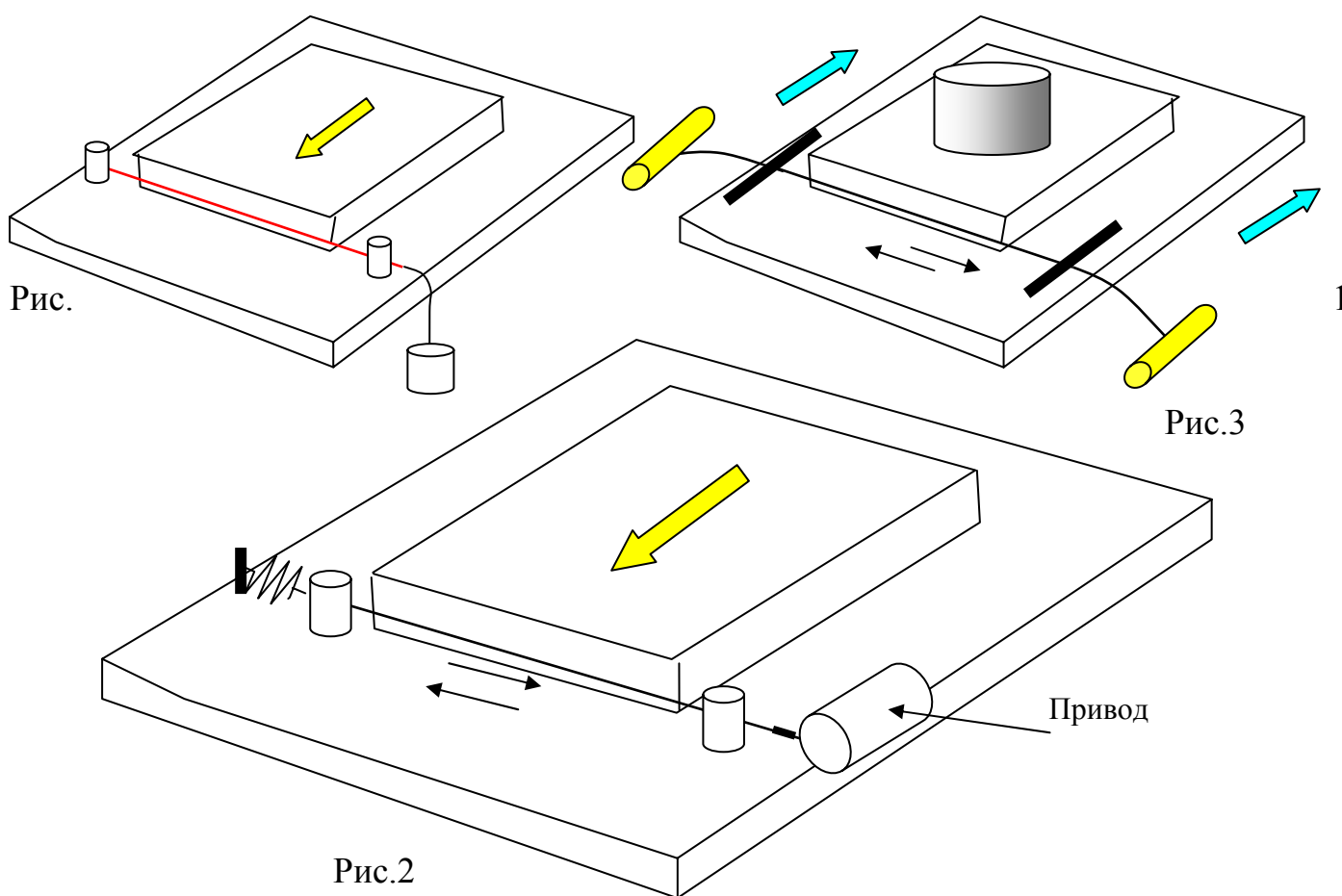
В конструкции самолета применяются как плоские, так и панели двойной кривизны. Толщина слоя пенопласта колеблется обычно от 4-х до 7мм. Для ПС100 можно увеличить толщину и до 10мм. При большей толщине менее плотных пенопластов конструкция может начать разрушаться по самому заполнителю. В качестве клея обычно применяется эпоксидная смола ЭД20 с отвердителем типа ПЭПА. Также необходим пластификатор. Весовое соотношение смолы\отвердитель обычно 8\1-10\1, пластификатора добавляют порядка 15-20% от веса смолы. При приготовлении клея лучше использовать весы для дозирования, а не объемные емкости. Обязательно тщательное перемешивание, желателен подогрев смолы до 30⁰-40⁰ перед смешиванием компонентов. Однако если объем однократно используемой смолы порядка 0.8-1.0 л, то лучше не рисковать с подогревом – может «закипеть» смола и все быстро схватится. То же самое, если Вы делаете матрицу. Быстрое наложение многих слоев стеклоткани и увеличение толщины смолы тоже приводит к саморазогреву и «закипанию», особенно с перебором отвердителя. Тут без воздушного охлаждения не обойтись. Особая неприятность при разогреве - порча болванки-образца за счет прихватывания ткани к болванке.

Изготовление панелей.

Изготовление панелей состоит из нескольких этапов :

1. Нарезка панелей заполнителя необходимой толщины;
2. Выполнение насечки на поверхности заполнителя;
3. Отжиг стеклоткани;
4. Раскрой заполнителя и ткани;
5. Подготовка клея;
6. Пропитка ткани клеем;
7. Нанесение клея на поверхность заполнителя;
8. Приклеивание ткани к заполнителю.

1. **Нарезку** панелей из пенопласта ПС можно произвести с помощью разогретой нихромовой струны (рис 1) или механическим способом (рис2). Пенопласт ПХВ режется только механическим способом. И ПХВ и ПС режутся с выделением вредных веществ, поэтому надо позаботиться о вентиляции. Схематически изображаю способы разрезки листов пенопласта, с деталями думаю сами легко справитесь. Как показала наша практика, самым приятным оказался механический способ с помощью струны из скрученной вдвое корды (от кордовых моделей). Один конец струны крепится через пружину или резиновый амортизатор на краю стола на нужной высоте на стойке, а другой закрепляется в возвратно-поступательном приводе (вместо пилки) электролобзика или маятниковой насадки к дрели. Привод закрепляется на столе, настраивается высота реза, включается привод, сильно прижимая лист грузом к столу начинают подачу на разрезку. Можно просто применить струну с двумя ручками и вдвоем вручную двигать ее туда-сюда перемещаясь вдоль листа. В качестве ограничителей высоты применяются круглые стержни необходимой высоты (рис.3). Обычно верхний слой листа не используется, т.к. к нему не пристает клей. Простая зачистка грубой шкуркой сохранит Вам еще пару листов. Да к тому же плотность здесь повыше.



2. **Насечку** (нарезку) на обеих поверхностях заполнителя производят для повышения местной устойчивости панели (за счет разбиения ее на маленькие участки), лучшего проклея, значительного повышения прочности на изгиб. Кроме того, без насечки практически невозможно изготовить качественные панели одинарной и двойной кривизны. Для плоских панелей и панелей одинарной кривизны насечку достаточно делать по рис.4. Для панелей двойной кривизны лучше получается по рис.5 (по диагонали). Следует избегать совпадения насечек с двух сторон, т.к. панель прорежется. Глубина насечек 0.25-0.3 толщины листа. Насечки выполняются острым ножом с углом заточки порядка 30° . Шаг насечки примерно 25мм. При нанесении клея на поверхность заполнителя следует тщательно заполнять насечки клеем шпателем. В дальнейшем, насечки с клеем будут выполнять армирующую роль (рис.6). Конечно все это ведет к увеличению веса и расходу клея. Компенсировать можно грамотным расположением облегчающих отверстий в панели, там где возможно.

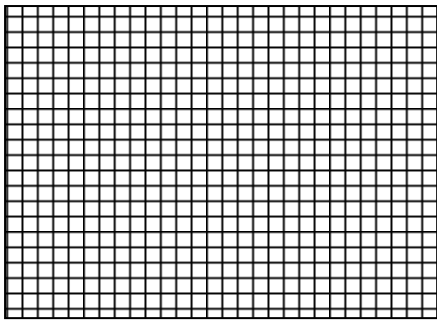


Рис.4.

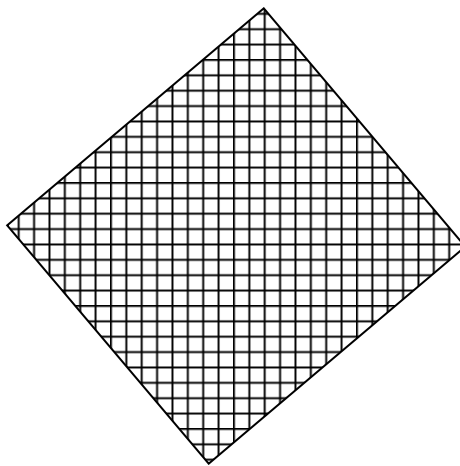


Рис. 5



Рис.6

3. **Отжиг** стеклоткани необходимо проводить для удаления защитного парафинового покрытия. Другие способы удаления как правило не дают нужного эффекта. Неполное удаление парафина ведет к ухудшению адгезии при склеивании, отслоению от наполнителя, а это уже не сэндвич. Отжиг производится на простом устройстве с помощью электронагрева. Процесс весьма дымный, дым едкий. Поэтому нужна вытяжка или вентиляция. Можно на открытом воздухе, если экологи не зверствуют. Цвет стеклоткани должен быть светло-бежевым, допускаются легкие подпалины, нити плетения хорошо просматриваются. Перегрев нежелателен, т.к. ткань становится хрупкой. Схема устройства на рис.7 . Можно сделать за пару-тройку часов. Делали временно, работает шестой год. Спираль примерно на 2 квт. Скорость протяжки ткани подбирается экспериментально.

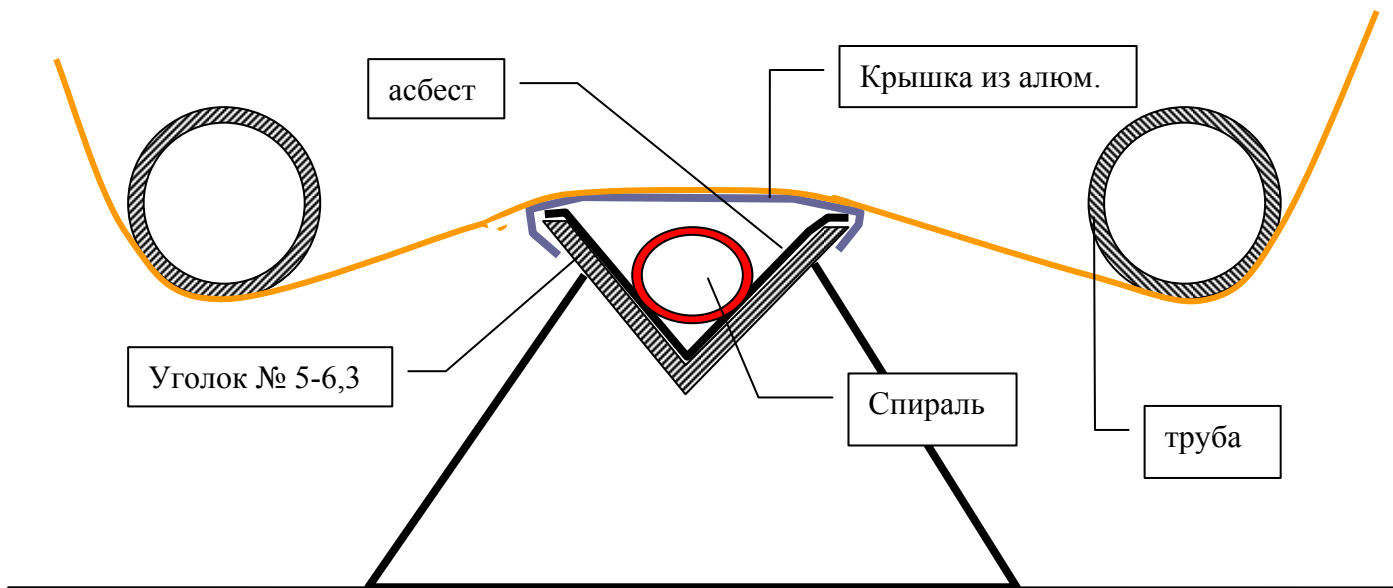


Рис 7

4. **Раскрой** наполнителя и ткани должен быть рациональным, т.к. « овес нынче дорог». Поэтому желательно заранее продумать схему укладки деталей на листе. Если для экономичности материала необходимо делать деталь из частей – ничего страшного. Только стык хорошо проклеить надо.

5. **Подготовка клея.** Об этом я уже немного говорил. Поскольку мне приходилось работать только со смолой ЭД20, ЭД16, К153 , я не могу ничего сказать о полиэфирных и других смолах. Применение смолы ЭД20 и К153 сертифицировано при производстве на фирме Гидроплан. Смола ЭД16 повышенной вязкости, очень трудно пропитывает ткань. Подогрев смолы улучшает текучесть, но резко возрастает возможность «вскипания». Поэтому мы не применяем эту смолу. По возможности надо применять компоненты с гарантированными характеристиками.

6. **Пропитка** ткани клеем. Ткань пропитывается клеем непосредственно перед наклеиванием на наполнитель. Ткань укладывается на лист алюминия, текстолита, оргстекла или на стол, покрытый полиэтиленом. Листы желательно натереть несколькими слоями жидкого мыла, дать ему хорошо высохнуть. Это облегчит отделение ткани и сохранит листы от порчи. Каждый раз остатки высохшего клея нужно удалять полностью и готовить стол перед пропиткой ткани. На разложенный кусок ткани выливается «змейкой» готовый клей. Быстро, равномерно и тщательно клей шпателем (из оргстекла, резины и т.п.) втирается в ткань. Хорошо пропитанная ткань становится как бы прозрачной. Излишки клея необходимо согнать с поверхности. Если есть признаки белесого цвета на ткани – значит отжиг произведен не очень хорошо. Необходимо следить за состоянием рабочей поверхности шпателя и зачищать ее. Заусенцы и неровности будут рвать и затягивать ткань при пропитке. После нанесения клея желательно дать 5-15 минут на подсушку и выравнивание пропитки.

7. **Нанесение клея** на поверхность наполнителя производится в общем так же, как и на ткань, только как уже говорилось, необходимо тщательно заполнять клеем насечки. Для этого можно изгибать лист, насечки раскрываются и их легче заполнять. На отблеск проверить чтобы не было мест без клея.

8. **Приклеивание ткани**. Пропитанные листы ткани накладываются на поверхность наполнителя, тщательно прикатываются шпателем, валиком и т.п. не допуская воздушных пузырей. Там где пузырь не удастся разогнать, делаются проколы или надрезы ткани для выпуска воздуха. Чтобы уверенно не иметь проблем с отслоением ткани, лучше выдержать панель не менее суток. Если есть возможность, то нужно использовать пригруз на всю поверхность любым способом (мешочки с песком, мет. плитки, вакуум). Прижатие порядка $1\text{кг}/\text{см}^2$ значительно повышает прочность и качество панели.

Будем считать что трехслойная панель или деталь получилась. Теперь ее надо установить на место и закрепить.

Существует несколько стандартных, проверенных и простых способов для этого. Обязательное общее правило – там где к панели прикладывается нагрузка, там должны быть поставлены закладные детали. Площадь закладной примерно в 2-3 раза больше площади прилегаемой детали. Чаще всего закладные делаются из водостойкой фанеры. В панели вырезается гнездо равное закладной, один слой обшивки панели сохраняется. Закладная вклеивается в гнездо и переклеивается с перехлестом на 20мм снаружи слоем ткани. Для того чтобы обеспечить надежную склейку закладной с наполнителем и тканью используем так называемую «кашу» (рис.8). Она готовится так: в готовый клей всыпается древесная пудра, перемешивается до консистенции размягченного масла. По объему замес увеличивается примерно в 2-2.5 раза. Наилучшие результаты с применением древесной пудры (опилок) остающейся при шлифовке древесины, естественно сухой. После полимеризации «каша» превращается в монолит, разбить который можно только молотком, и то постаравшись. При стыковке панелей между собой «под углом» соединение выполняется согласно рис.9, 10. Применение «каши» позволяет избежать тщательной подгонки деталей, увеличивает местную прочность. Не стоит злоупотреблять чрезмерной толщиной «каши». Будучи весьма прочной на сдвиг, она не лучшим образом работает на изгиб при большой толщине слоя. Применение переклея из 1-3-х слоев обязательно.

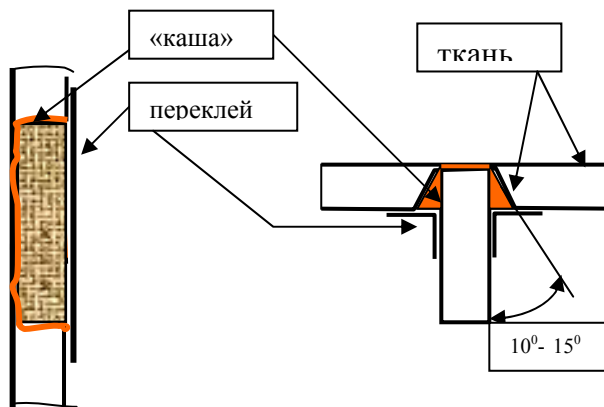


Рис. 8

Рис.9

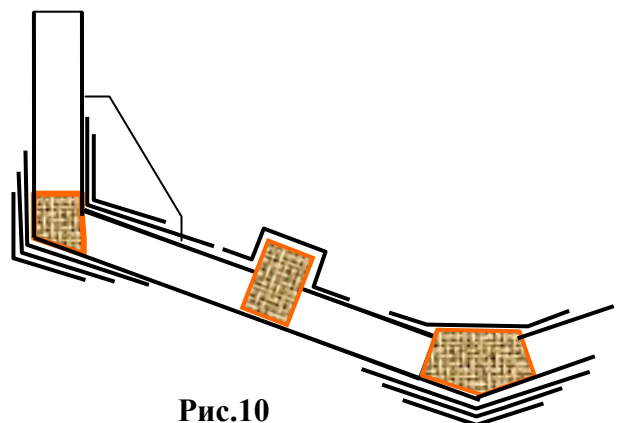


Рис.10

Ленты для переклея лучше вырезать «по диагонали», пропитывать как ткань панели.

Варьируя толщиной заполнителя, его плотностью, количеством слоев ткани, вклеиванием усиливающих элементов (стрингеров и т.п.) можно получать требуемые характеристики изделия. Для большинства частей легкого самолета достаточно толщины заполнителя 5-7 мм и по одному слою ткани. На днище лодки гидросамолета желательно ставить ПС100 и ПХВ толщиной 7-10мм. Количество внешних слоев на килевой части равно трем, далее двум, на бортах -2-1. Следует учесть, что при слишком тонком слое заполнителя большой площади, панель может ощутимо загудеть с переменной частотой под воздействием струи от винта. А вообще, правильно сделанная трехслойная конструкция, хорошо демпфирует шум и вибрацию.

Очень хорошо получаются панели выполненные в матрицах с вакуумированием. Помимо высокого качества и прочности, при вакуумировании выдавливается лишний клей из панели. Качество внешней поверхности определяется качеством матрицы. Такую важную часть самолета, как крыло, следует делать в матрице. Конечно можно обойтись и без нее, но вес и трудозатраты будут больше, а качество крыла похуже. Из сэндвича достаточно сделать носовую часть обшивки до лонжерона, нервюры, межполочную часть лонжерона. Полки нервюр из трех слоев ткани шириной 30-40мм. Там где устанавливаются кронштейны элеронов и механизации, в нервюрах делаются закладные. При креплении к закладным металлических деталей с помощью болтов, трубок и т.п. не обязательно стремиться к идеальному выполнению отверстий. Смазываем болт маслом или несколькими слоями жидкого мыла, в отверстие закладываем «кашу», ставим болт. В итоге после схватывания смолы все зазоры по телу болта выбираются «кашей», отверстие становится классным и гладким. Такой способ позволяет «лечить» любые грубые ошибки при сверлении. За одним получается контроль клею. Приложив приличные, но плавные усилия болт отворачивается и вынимается. Всегда следует помнить – **приклеивание на эпоксидке к уже имеющемуся эпоксидному соединению требует тщательной зачистки мест склейки !**

Если в панели сделаны облегчающие отверстия, то их края нужно переклеить или зашпаклевать эпоксидкой с наполнителем из алюминиевой пудры. Кстати, это отличная шпаклевка для финишной обработки поверхностей. Шлифовка водостойкой шкуркой с водой.

Панели двойной кривизны можно делать без матриц, если набирать поверхность на каркасе их отдельных полосок заполнителя - пенопласта (наподобие клепок для бочек). Полоски скалываются между собой иголками наискосок и в отдельных местах к каркасу. Далее «кашей» заполняются зазоры между полосками. После схватывания смолы иглы убираются, поверхность обрабатывается по контуру, оклеивается тканью в два слоя, после схватывания смолы обрабатывается, шпаклюется и доводится до товарного состояния. Деталь снимается с каркаса, затем оклеивается внутренняя поверхность. При качественном исполнении эти детали могут служить болванкой для изготовления матрицы.

Вот так кратко, в самых общих чертах, выглядит работа с сэндвич панелями. Здесь я не рассматривал вопросы изготовления матриц, подробно работу с выклейкой в матрицах и многое другое. О фантастической ремонтпригодности трехслойных конструкций можно говорить долго и отдельно.

Но не могу не предупредить о следующем :

Эпоксидная смола и ее составляющие, а также стеклоткань, являются очень вредными и аллергическими веществами. Каждый переносит это индивидуально. Широко известны случаи, когда люди получали неизлечимые аллергические болезни, кожные, дыхательные и пр. Поэтому промсанитарии, ради себя самого любимого, нужно уделять большое внимание. Вентиляция, местный отсос, респираторы, перчатки, очки, закрывающая все тело одежда, защита рук жидким мылом – это необходимый минимум для личной безопасности. Пылесосами необходимо убирать все отходы, особенно частицы стеклоткани с одежды и рабочих мест.

Творческих успехов, с уважением ко всем самоделщикам – авиаторам, Владимир Егельницкий.