

УДК 62

## АГРЕГАТЫ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ ИЗ ЛИСТОВОГО ПЕНОПЛАСТА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И АВИАМОДЕЛЕЙ

**Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.**

*ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru*

Представленное техническое решение относится к сравнительно дешевым технологиям изготовления малоразмерных агрегатов и оболочек двойной кривизны из плоского листового пенопласта (экструзивного пенолиста). Предлагаемый способ изготовления таких оболочек с подкрепляющими внутри их элементами каркаса применим для беспилотных малоразмерных летательных аппаратов, испытывающих незначительные аэродинамические нагрузки, а также для летающих моделей-копий различных летательных аппаратов. Данная технология в том числе применима в серийном производстве малоразмерных технических средств двойного назначения с относительно низким ресурсом.

**Ключевые слова:** оболочка двойной кривизны, формование пенолиста, установка конструктивно-силового набора, формообразующая матрица

## AGGREGATES OF DOUBLE CURVATURE SHEET OF FOAM FOR SMALL UNMANNED AIRCRAFT AND MODEL AIRCRAFT

**Voronkov J.S., Voronkov O.J.**

*ANTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru*

Presented technical solution relates to the relatively cheap technology manufacturing small units and shells of double curvature of a flat sheet of foam (extrusion of penalista). The proposed method of manufacture of such membranes with supporting inside their elements of the framework is applicable for small-size unmanned aircraft experiencing minor aerodynamic loads, as well as for flying models-copies of various aircraft. This technology can be applied in mass production of small technical items with relatively low resource.

**Keywords:** shell of double curvature, forming penalista, installation of structural force set, forming matrix

Известен способ изготовления малоразмерных агрегатов двойной кривизны из плоского листового пенопласта (экструзивного пенолиста), при котором придание формы двойной кривизны производится при комнатной температуре путём вдавливания в заготовку из пенолиста формуемого предмета с поверхностью двойной кривизны (пуансона) и распределения такого воздействия по всей площади заготовки. Другими словами, при перемещении пуансона под нагрузкой по плоскости заготовки последней придается необходимая форма. Полученная в результате такого воздействия оболочка двойной кривизны накладывается на каркас беспилотного летательного аппарата или летающей модели, подгоняется по размерам и приклеивается к элементам каркаса, образуя окончательную поверхность агрегата летательного аппарата (см. сайт [www.vikybrvik.narod2.ru](http://www.vikybrvik.narod2.ru)).

### Недостатки

Используемый способ имеет существенные недостатки, заключающиеся в следующем:

1. Изготовление малоразмерных агрегатов двойной кривизны данным способом может удовлетворять только довольно низким требованиям к соблюдению теоретического контура (формы) их поверхности.

2. Формование посредством внешнего приложения сил к заготовке при комнатной температуре окружающей среды разрушает структуру материала и создаёт концентраторы напряжений в заготовке, со временем искажающие окончательную форму агрегата.

3. Способ приводит к уменьшению толщины и прочности материала.

4. Указанный способ может быть использован только для элементов оболочек с достаточно большим радиусом кривизны, что приводит к ограничению его технологических и конструктивных возможностей.

5. Использование данного способа изготовления оболочек в серийном производстве не обеспечивает их взаимозаменяемости.

### Задачи разработки способа формования

Одной из задач предлагаемого технического решения является расширение технологических возможностей изготовления малоразмерных агрегатов и оболочек двойной кривизны из листового пенопласта (пенолиста). Новое решение такой задачи должно привести к повышению точности выдерживания теоретического контура и обводов с обеспечением их прочности, жесткости, радиусов кривизны и качества поверхностей.

Реализация способа изготовления малоразмерных агрегатов двойной кривизны из листового пенопласта должна быть направ-

лена на исключение операций вдавливания пуансона произвольной формы в заготовку формуемого предмета при комнатной температуре и неконтролируемого распределения такого воздействия по всей площади заготовки.

**Описание предлагаемого способа формирования оболочек**

Суть предлагаемого технического решения состоит в том, что при изготовлении оболочек двойной кривизны из листового пенопласта (пенолиста) перед их формированием производится нагрев заготовки в кипящей жидкости. После нагрева и извлечения каждой заготовки из кипящей жидкости их укладывают в разъемную формообразующую матрицу, каждую заготовку в свою половину матрицы, обеспечивая плотное прилегание к её внутренним поверхностям. Обрезают излишки пенопласта, соединяют и скрепляют половины матрицы, охлаждая заготовки

в матрице. После охлаждения матрицы с заготовками разъединяют её половины и извлекают из их внутренних полостей отформованные оболочки. Протирают оболочки и внутренние поверхности матрицы насухо и снова размещают оболочки в тех же самых половинах матрицы. Внутри одной из половин отформованных оболочек устанавливают конструктивно-силовой набор из специально обработанной гнутой древесины или композита на синтетическом клее согласно конструктивно-силовой схеме агрегата. После установки конструктивно-силового набора в одной из половин отформованных заготовок обе половины матрицы соединяют между собой. Последующее полное отверждение клея дает возможность получения окончательной конфигурации агрегата. По завершении процесса отверждения клея половины матрицы разъединяют и извлекают готовый отформованный агрегат.

Перечень графических материалов:

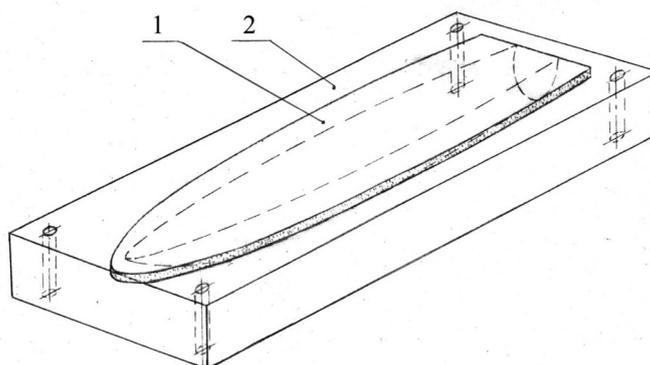


Рис. 1. Плоская заготовка пенолиста на поверхности нижней половины матрицы, подготовленная к формированию

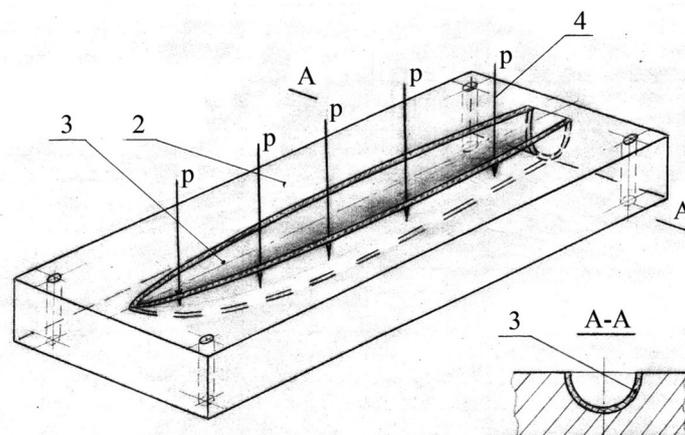


Рис. 2. Процесс формирования изделия в нижней половине матрицы после нагрева заготовки

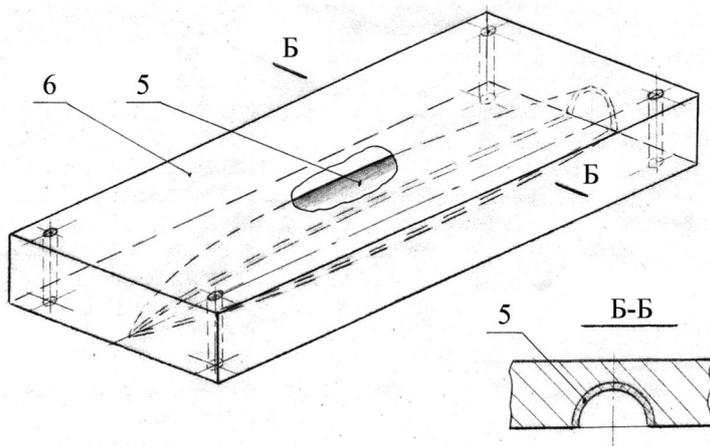


Рис. 3. Отформованное и подрезанное изделие в верхней половине матрицы

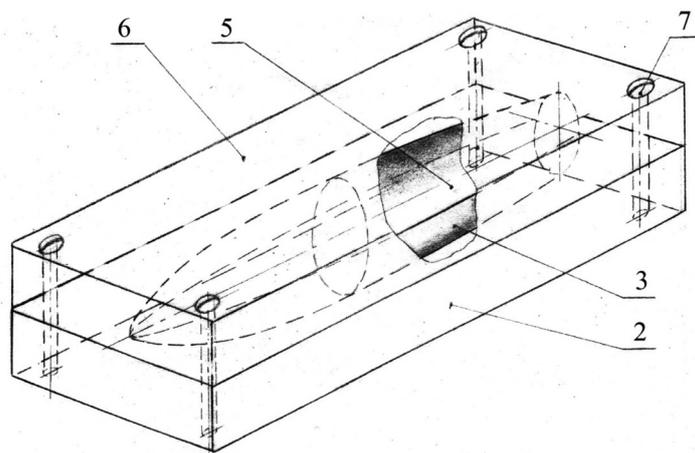


Рис. 4. Верхняя и нижняя половины изделия, вложенные каждая в свою половину матрицы, совмещенные в процессе обжатия и охлаждения

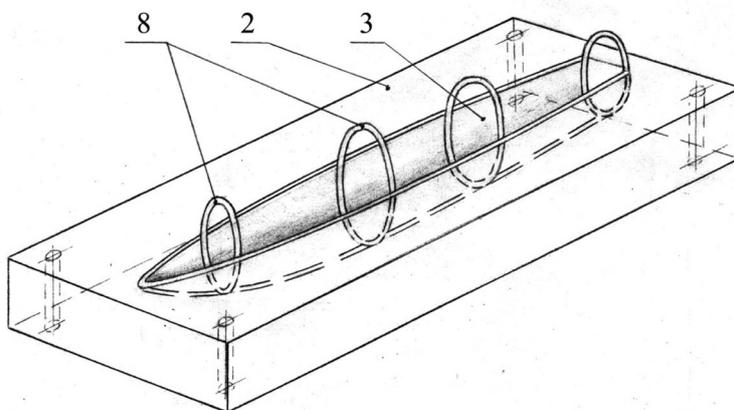


Рис. 5. Размещение и склейка шпангоутов в соответствии с конструктивно-силовой схемой агрегата в нижней половине отформованного изделия

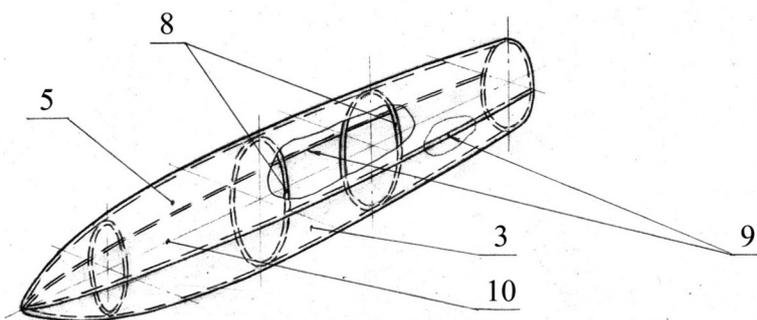


Рис. 6. Готовый агрегат с поверхностями двойной кривизны и вклеенными элементами каркаса

На представленных фигурах использованы следующие обозначения:

- 1 – заготовка формируемого изделия;
- 2 – нижняя половина матрицы;
- 3 – изделие в нижней половине матрицы;
- 4 – векторы формирующих воздействий;
- 5 – отформованное в верхней половине матрицы изделие;
- 6 – верхняя половина матрицы;
- 7 – крепёж, соединяющий половины матрицы;
- 8 – элементы каркаса (шпангоуты), устанавливаемые в изделие;
- 9 – стыки отформованных и склеенных половин агрегатов;
- 10 – готовое изделие.

#### Описание процесса изготовления агрегата

Изготовление малоразмерных агрегатов двойной кривизны из пенолиста («потолочки») производится следующим образом. Заготовки 1 помещают в кипящую жидкость (например, воду с растворенными в ней веществами, обеспечивающими повышенную температуру кипения) при температуре 102–108 °С на 5–6 минут. Нагрев заготовок 1 из пенолиста в кипящей жидкости приводит к размягчению материала, его некоторому объемному расширению (вспуханию), позволяя под действием внешней силы легко придать заготовке заданную форму. Затем (рис. 1) каждую из заготовок 1 быстро извлекают из кипящей жидкости и размещают в каждой из половинок 2, 6 матрицы. При этом глянцевые поверхности заготовок 1 должны оказаться внутри формируемых изделий 3, 5. Каждую из заготовок 1 укладывают и расправляют по формообразующим поверхностям половинок 2, 6 матрицы (рис. 2) так, чтобы поверхности заготовок 1 приняли форму каждой из внутренних поверхностей половинок 2, 6 матрицы. В матрице заготовки плотно прилегают

к её поверхностям двойной кривизны и при остывании принимают их форму. Припуск заготовок 1 обрезают на 2–3 мм выше уровня поверхности разреза половинок 2, 6 матрицы. В результате получаем (рис. 2, 3) отформованные в половинках 2, 6 изделия 3, 5, имеющие поверхности двойной кривизны. Остывшие изделия 3, 5 извлекают из половинок 2, 6 матрицы, протирают их насухо и снова размещают на своих местах, в половинках 2, 6 матрицы. Одну из половинок матрицы (например, 2), содержащую изделие 3, используют в качестве базовой (рис. 5). В её внутренней полости на синтетическом клее закрепляют элементы 8 (шпангоуты) формируемого каркаса. В некоторых случаях, используя свободный доступ, в соответствии с разработанной технологией производят установку и монтаж системы управления, размещают необходимое целевое оборудование, устанавливают различного рода датчики, антенны и т.д. После покрытия слоем клея элементов 8 на них накладывают вторую половину 6 матрицы, содержащую отформованное ранее изделие 5. Отверстия половинок матрицы 2, 6 совмещают, в них вставляют крепёж 7 и его затягивают. Далее выдерживают сборку в сушильном шкафу до полной просушки клея ~ 24 часа. После просушки обе половинки 2, 6 матрицы разбирают, извлекая из них готовое, собранное на клею изделие 10, наружная поверхность которого образована пенопластовыми панелями двойной кривизны, повторяющими внутреннюю поверхность формообразующей матрицы, и подкреплена элементами каркаса, положение которых задавалось «от обшивки». В дальнейшем в соответствии с разработанным технологическим процессом во внешней поверхности полученной пенопластовой «скорлупы» вырезают технологические и эксплуатационные лючки, крышки. Через них выполняют монтаж систем и механизмов, электронного, электромеханического

оборудования, установку и монтаж элементов остекления и т.п.

#### **Формование стеклопластиковой поверхности агрегата**

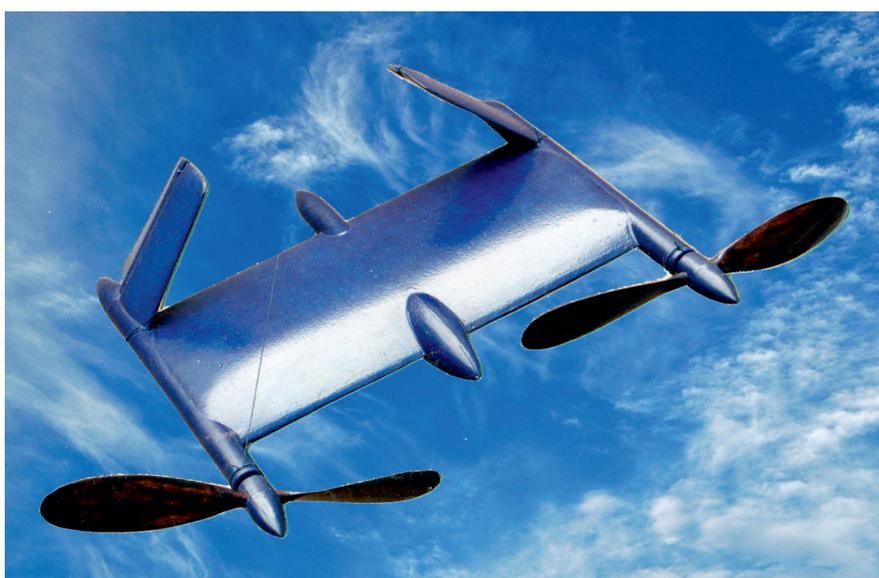
При необходимости получения внешней стеклопластиковой поверхности готового агрегата с внутренним подкрепляющим слоем из пенолиста, изготовленного по данной технологии, применяется следующий способ.

Внутренние поверхности вышеуказанных половин матрицы покрывают разделительным слоем и на их поверхности выкладывают на эпоксидном связующем холодного отверждения тонкую,  $\delta = 0,03-0,05$  мм, ото-

жженную стеклоткань в один-два слоя. После неполного отверждения «на отлип» эпоксидного связующего, пропитавшего заготовки из стеклоткани в обеих половинах матрицы, готовый, ранее отформованный из пенолиста агрегат с внутренним силовым набором охватывается половинами матрицы, и они крепежом скрепляются между собой. После окончательного отверждения эпоксидного связующего внешняя поверхность изготавливаемого агрегата оказывается упрочненной стеклопластиком, повторяющим теоретический контур (форму) изделия. Агрегат готов к зашивке стыков и дальнейшим операциям в соответствии с разработанными технологическими процессами.



*Рис. 7. Летящие модели-копии реактивных самолетов Як-32 и Би-1. Выполнены из пенолиста по описанной технологии*



*Рис. 8. Прототип разрабатываемого микро-БЛА «Микрон-02К». Выполнен по описанной технологии*



Рис. 9. Летящая модель-копия реактивного самолета-истребителя МиГ-15. Выполнена по описанной технологии с последующим упрочнением стеклотканью  $\delta = 0,005$  мм, 2 слоя

### Выводы

Способ изготовления малоразмерных агрегатов двойной кривизны из листового пенопласта путём нагрева заготовок в кипящей жидкости и последующего формования в формообразующей матрице с установкой элементов конструктивно-силового набора в их внутренних полостях позволяет создавать удобообтекаемые, легкие, прочные конструкции, в некоторых случаях с заранее установленными элементами электронной аппаратуры и оборудования.

Предлагаемый способ изготовления малоразмерных агрегатов беспилотных летательных аппаратов, летающих на малых числах Рейнольдса, может быть использован для серийного и массового производства летающих моделей из листового пенопласта, расширяет технологические возможности изготовления элементов конструкции, при этом повышает их прочностные характе-

ристики, точность изготовления оболочек и возможность стабильного сохранения конфигурации поверхностей двойной кривизны.

### Список литературы

1. Эльштейн П. «Конструктору моделей ракет», перевод с польского. – М.: издательство «Мир», 1978.
2. Материалы сети Internet 1998–2014 г.
3. Журналы «Моделист-конструктор» 1980–2000 гг.
4. Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В., Филатов В.И. «Поиск новых идей: от озарения к технологии». – Кишинев, 1989.
5. Половинкин А.И. «Основы инженерного творчества». – М.: «Машиностроение», 1988.
6. Гайдачук В.Е., Гречка В.Д. и др. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов. – Харьков, ХАИ, 1989.
7. Васильев В.В. Основы проектирования и изготовления конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов. – М.: МАИ, 1985.
8. Материалы Благотворительного общества научно-технического творчества и экологии «Ювенал» г. Таганрога.