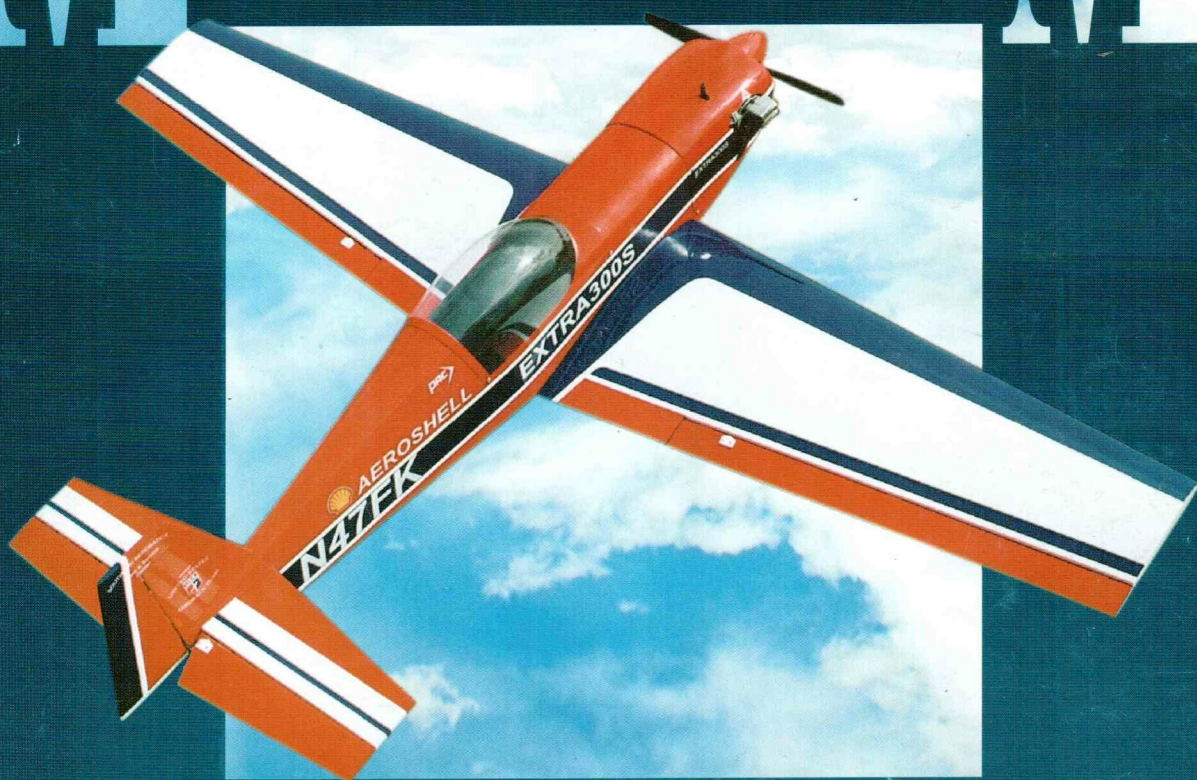


5 • 2002

ЖУРНАЛ ДЛЯ АВИАМОДЕЛИСТОВ

МОДЕЛИЗМ



СПОРТ И ХОББИ

Темы номера:

- Репортаж с Чемпионата Мира по RC воздушному бою WAGS 2002
- RC модель пилотажного типа дальнейшее развитие «Ленивого-2»
- Учебная RC модель для тренировки навыков управления при простом пилотаже
- Уникальный материал по прочностному расчету лонжерона крыла современной модели

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 48999 (РОСПЕЧАТЬ)

Фотографии с чемпионата 2002 по F2B

Фото взяты с сайта www.tts.esoo.ru



Бenedito Rodrigues из Бразилии с пилотажкой в стиле P-51D «Мустанг», на модели установлен двигатель Super Tigre 51 с четырехлопасным воздушным винтом 11x7".



Братья Юрий и Андрей Яценко с кордовым акробатом собственной постройки Discovery Retro 60 были представителями от Украины.



Участник из Франции Serge Delabarde с оригинальной пилотажной моделью стилизованной под Як-55М и оснащенной четырехтактным мотором Saito FA 56.



Pavel Oziuba - польский спортсмен, выступавший на модели изготовленной по заказу братьями Яценко.



Спортсмен Zdenek Krizka из Чехии с самодельным акробатом бальзовой конструкции в котором соблюдены пропорции чешской школы кордовых пилотажек.



Известнейший и уважаемый «дедушка» итальянского кордового пилотажа Luciano Compostella со своей стильной моделью, оборудованной двигателем OS MAX 70 FS.



КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Внимание!

Редакция нашего журнала приглашает к сотрудничеству всех, кто может поделиться со своими коллегами-читателями собственными материалами. Это могут быть: репортажи с соревнований всевозможных рангов (желательно с фотографиями), описания и конструкции моделей (даже собранные вами из наборов заготовок) и их летные качества. Придуманные вами или вашими друзьями и коллегами новые узлы и детали для моделей и двигателей, технологические советы, размышления на тему аэродинамики моделей, достоверные материалы о моторах и топливе для них, в общем, все, о чем вы пожелали бы поведать вашим единомышленникам на русском языке.

Тот автор, который предложит наиболее интересный, познавательный и грамотно оформленный проект, будет награжден (помимо гонорара) ценным специальным призом редакции.

Ваши работы можете присылать по почте на адрес редакции: 103009, г. Москва, а/я 111 или в электронном виде на наш сайт www.flight-models.com в раздел «Контакты», а так же договориться о непосредственной встрече по тел. (095)262-29-70.

© Моделизм — спорт и хобби

Журнал для авиамodelистов.
№ 5-2002

Главный редактор
А.Б.Аронов

Учредитель журнала
ООО «Моделизм — спорт и хобби».
Журнал зарегистрирован
в Министерстве печати
и информации РФ:
свидетельство о регистрации
№ 017743 от 22.06.1998.

Адрес редакции:

Москва, 125009, а/я 111.

Адрес Web-страницы:

<http://www.flight-models.com>

Подписано в печать 21.10.02

Формат 60x84 1/8. Печать офсетная.

Усл. печ. листов 4,5. Общий тираж 5000,
отпечатано в ГУП «ИПК «МП» — 1000 экз.

Цена — договорная.

Отпечатано в ГУП «ИПК «Московская
правда». 101990, Москва,
Потаповский пер., д. 3.
Заказ 891

СЕГОДНЯ В НОМЕРЕ

Чемпионат мира по радиобою 2002, Ю.Матюшкин 2

*Репортаж с Чемпионата по радиобою (WAGS 2002)
моделей-копий из Чешского города Замберка.*

Ленивый «Хоббит», Ю.Павлов 4

*Эффективный RC самолет пилотажного типа на основе
известного постоянным читателям «Ленивого-2»*

R4 Радиотренер, А.Чевычелов 8

*Несложный радиоуправляемый тренер подходит для
обучения простому пилотажу.*

Крылья «Аналога», В.Тихомиров 13

*Уникальный аналитический материал по прочностному
расчету элементов крыла летающей модели.*

Летная доводка OS MAX 91 FX, А. Шишов 24

*Подробные и всесторонние тестовые испытания
известного мотора с выводами по его эксплуатации.*

Как работает карбюратор, А.Самсонов 28

*Отклик читателя на нашу просьбу, аналитически грамотно
описать и объяснить работу карбюратора современного
RC мотора.*

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ

Благодаря высоким летным характеристикам и привлекательному дизайну, пилотажные модели серии «Extra» во всевозможных модификациях завоевали огромнейшую популярность во всем мире моделизма. И не случайно многие фирмы специализирующиеся на производстве авиамodelьных товаров почти всегда в своем каталоге представляют наборы акробатов типа «Extra-300S». Широкий выбор наборов заготовок этого акробата теперь стал доступен и большинству российских модельистов.

Подмосковный авиамodelист Александр Виленский собрал изображенный на снимке самолет из ARF набора китайской фирмы «Funkey» и установил двигатель SC-52 FS. Размах крыла модели — 1380 мм, длина — 1060 мм, полетный вес составил 2200 г. Получившаяся пилотажка, по летным характеристикам и по соотношению «цена — качество», заслужила высшую оценку своего пилота.



Чемпионат мира по радиобою 2002

Наши друзья авиамodelисты из Белорусского города Витебска, увлеченные классом копийных радиоуправляемых боев, прислали репортаж с Чемпионата мира 2002 года, в котором они приняли активное участие. Про свою технику они уже рассказывали на страницах нашего журнала №5 за 2001 год.

В конце нынешнего лета в чешском городе Замберке проходили Мировые Игры по радиовоздушному бою копийных моделей самолетов (World Aircombat Scale Games 2002), на которых и выступила сборная команда белорусских спортсменов. Всего в Чемпионате участвовало более 70 участников из 11 стран – Австрии, Чехии, Финляндии, Белоруссии, Англии, Германии, Польши, Словакии, Словении, Швеции, США. Кроме пилотов в составе команд были помощники и болельщики. По прибытию участников, всех разместили в гостинице. Затем провели техкомиссию моделей на соответствие правилам чемпионата. Организаторы и спонсоры соревнований раздали участникам стартовые номера, а также памятные подарки.

В первый день соревнований была обозначена зона безопасности, а потом проведены тренировочно-отладочные запуски участников. Далее прошли неофициальные показательные выступления, которые были рассчитаны на многочисленных зрителей, пришедших на этот праздник авиамodelьного творчества. В показательных выступлениях продемонстрировали свою технику и умения спортсмены, которые создали модели аэропланов времен Первой Мировой войны. Эти

«паркфлаеры» как правило, оснащены моторами типа «Speed-300» с редуктором и трехканальным управлением. Воздушные бои, проведенные на «этажерках» вызвали огромный восторг и восхищение многочисленной публики. Затем прошли демонстрационные пилотажные полеты на моделях вертолетов, ночные запуски моделей с иллюминацией и прочие забавные аэротрюки.

Каждый день выдавалась компьютерная сводка погоды. Местные условия гор, разреженность воздуха внесли свои коррективы в настройку техники. Моторы, которые отлично работали на равнине, не хотели развивать свою полную мощность, недокручивая при этом по паре тысяч оборотов. После добавок в топливную смесь форсирующих присадок и дополнительных регулировок удалось добиться вполне приемлемой работы двигателей.

После официальной церемонии открытия Чемпионата провели разделение участников на полетные группы по семь экипажей и начались первые три тура соревнований. Во время всех событий специальный ведущий вел прямой репортаж для зрителей, в котором рассказывалось об истории возникновения таких соревнований, о спортсменах и их моделях, об реальных прототипах самолетов и многое другое. Также велся комментарий скоротечных событий, происходящих в каждом воздушном бою. И это было очень кстати, ведь когда в воздухе носятся, словно рой разъяренных пчел семь моделей с лентами, уследить за лидером и отрубами лент, для неискушенного зрителя явно непросто. Почти в каждом авиасражении происходили

столкновения с моделями соперников, но это никого не огорчало, т.к. из специфики класса ясно, что авиамodelь строится не на века и ее спортивная жизнь может быть всего лишь один бой. Многие спортсмены привезли с собой целые эскадрильи одинаковых аэропланов, почти как у бойцов-кордовиков. Но по правилам радиокласса, в одном бою можно использовать только одну модель.

Техника представленная на соревнованиях, весьма разнообразна по выбору прототипов, послуживших для создания радиобойцовок. Очень возросло количество двухмоторных моделей (по сравнению с предыдущими годами). А вот импеллерных и электрических мотоустановок не встретилось, хотя ограничений на применение электродвигателей нет. Похоже, что главенствует тенденция «среднего уровня» когда двигатели, согласно правилам «зажимаются» по оборотам (для 3,5 см³ – до 16000 об/мин.; для 2,5 см³ – до 17000 об/мин.) и максимальному размеру пропеллера. При этом рабочий объем двигателей колеблется от двух до четырех кубов. Скорее всего, это связано со стремлением привлечь, как можно большее количество моделлистов к этому виду состязаний и при этом не повторить аналогии с кордовым боем, где тот, кто сам делает или имеет возможность купить специальные элитные моторы, тот и является претендентом на призовое место. Для обладателей серийных моторов надежда на выигрыш стала ничтожной.

Согласно принятым правилам в радиобое можно устанавливать только стандартные заводские



двигатели. Переделки полностью запрещены. В основном встречаются изделия от японской фирмы OS MAX и чешской фирмы MVVS. Последняя даже выпускает серийный микродвигатель «MVVS 4,2 CFS/R RC Combat» специально созданный для данного класса.

По конструкции самих моделей можно отметить, что в основном преобладают смешанные технологии изготовления. Но встречаются полностью пено-композитные или цельнобальзовые произведения умелых моделистских рук.

Во второй день соревнований проводились два тура, в которых выявились претенденты на участие в полуфинале. В конце дня организаторы провели лотерею среди участников, где каждый выиграл какой-нибудь приз. В качестве призов послужили всякие вещи необходимые моделисту –

различные клеи, моторы, наборы инструментов, наборы заготовок моделей и многое другое. Большинство иностранных спортсменов страстно желали выиграть набор деталей для постройки модели советского истребителя 30-х годов И-16. После лотереи всех пригласили на дружескую вечеринку с традиционным чешским пивом и гуляшом, которые для участников чемпионата были бесплатными.

В третий день соревнований проводились два полуфинала и финал. Борьба достигла апогея, и выявились победители, а также определены командные места. Семеро пилотов, которые вышли в финал получили приз и кубок, а трое победителей получили дополнительные награды от спонсоров и заслуженный душ из шампанского.

Спонсорами Чемпионата стали различные фирмы и модельные

магазины из Чехии. В дни проведения соревнований в полевых условиях были организованы торговые места, где представители чешской модельной отрасли очень неплохо рекламировали и реализовывали всем желающим свою продукцию – всевозможные модели самолетов, воздушные змеи, самодвижущиеся игрушки, модельные аксессуары и прочие товары.

В заключение хочется сказать, что Чемпионат – это большой праздник для увлеченных людей, веселая интернациональная тусовка, на которую все участники и зрители приезжают для дружеского общения, обмена опытом, активного отдыха и, конечно же, для испытания себя и своих моделей в напряженной обстановке честного спортивного состязания.

Ю. Матюшкин
г. Витебск

Итоговая таблица результатов в личном первенстве

Место	Стартовый номер	Имя	Страна	Отрубы	Время	Аварии	Общий счет
1	49	Попивчак Кристиан	Словакия	13	58:57	1	2316
2	23	Пехан Либор	Чехия	10	49:25	3	2136
3	50	Баджер Михал	Словакия	12	51:07	1	2130
4	15	Скотника Якуб	Чехия	10	51:17	2	2123
5	66	Бергенфельдт Кристер	Швеция	9	54:24	1	2055
6	14	Пек Дан	Чехия	8	53:32	0	2008
7	72	Демпстер Дэн	Англия	9	46:50	1	1954
17	10	Якавлев Артем	Белорусия	4	31:55	1	1207
19	11	Якавлев Дмитрий	Белорусия	3	37:14	0	1183
24	9	Кривков Александр	Белорусия	4	33:20	0	1136
28	12	Матюшкин Юрий	Белорусия	4	29:01	1	1098
49	8	Десюкевич Алех	Белорусия	1	30:46	0	843
69	13	Артюховский Владимир	Белорусия	1	19:45	0	424

Результаты командного зачета

Место	Страна	Первый пилот	Очки	Второй пилот	Очки	Третий пилот	Очки	Общий счет
1	Чехия	Пехан Либор	2136	Скотника Якуб	2123	Пек Дан	2008	6267
2	Словакия	Попивчак Кристиан	2316	Байер Михал	2130	Крайчевич Томас	1097	5543
3	Швеция	Бергенфельдт Кристер	2055	Лейчовиус Хенри	1487	Хеландер Томас	1345	4887
4	Словения	Скледар Сергей	1503	Гайзер Горазт	1495	Знидарчич Сречо	1378	4376
5	Англия	Демпстер Дэн	1954	Шин Энди	902	Шин Джеймс	821	3677
6	Австрия	Таммер Хеймо	1291	Парзер Йозеф	1225	Брунмаир Маркус	1130	3646
7	Белоруссия	Якавлев Артем	1207	Якавлев Дмитрий	1183	Крюков Александр	1136	3526
8	Германия	Мюллер Петер	1163	Кляйнитц Дитмар	1034	Раец Стефани	982	3179
9	Финляндия	Койвунен Юха	1102	Жеблом Ерик	1028	Лусто Ерки	1022	3152
10	Польша	Урбанский Мирослав	764					764



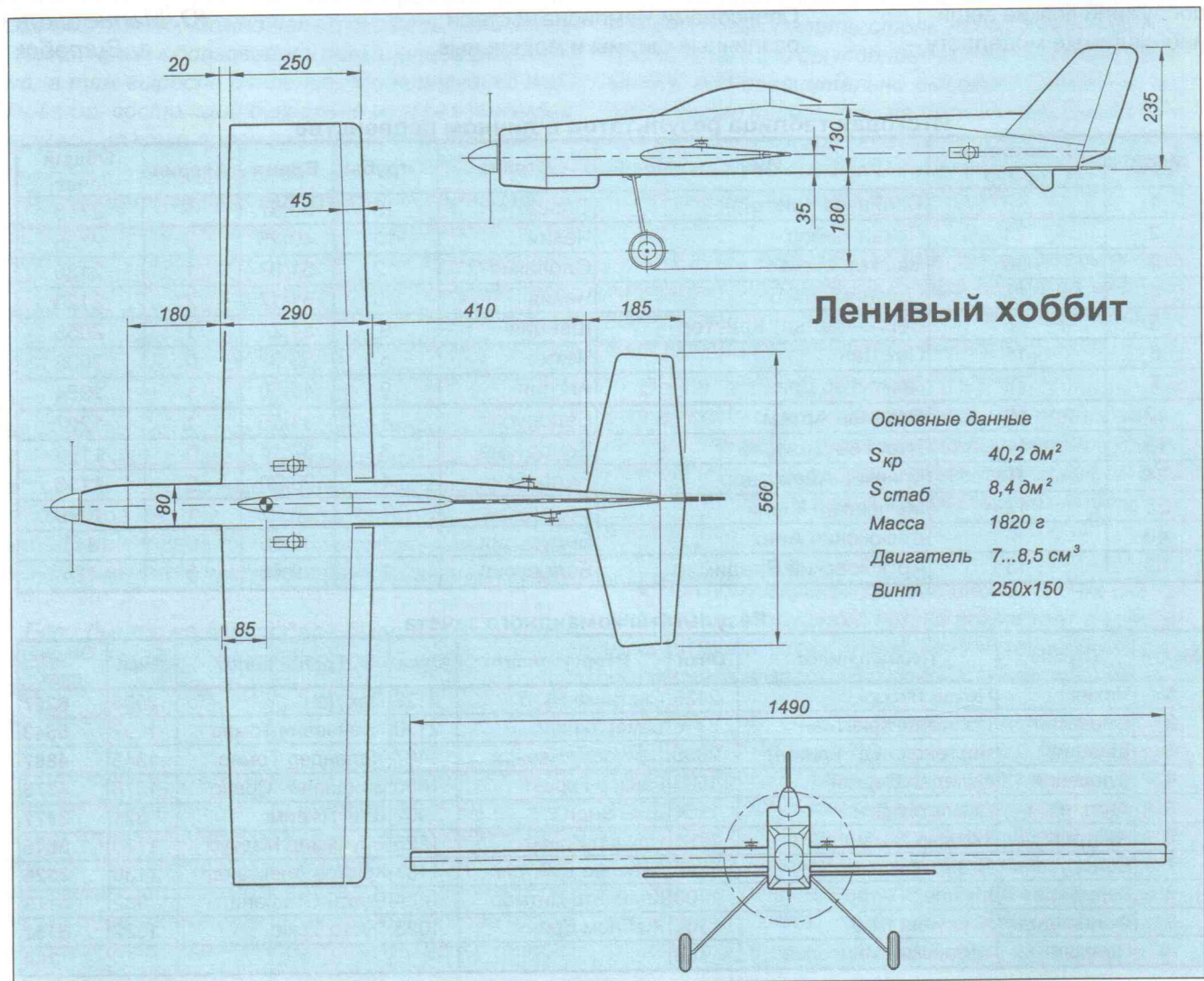
Ленивый Хоббит

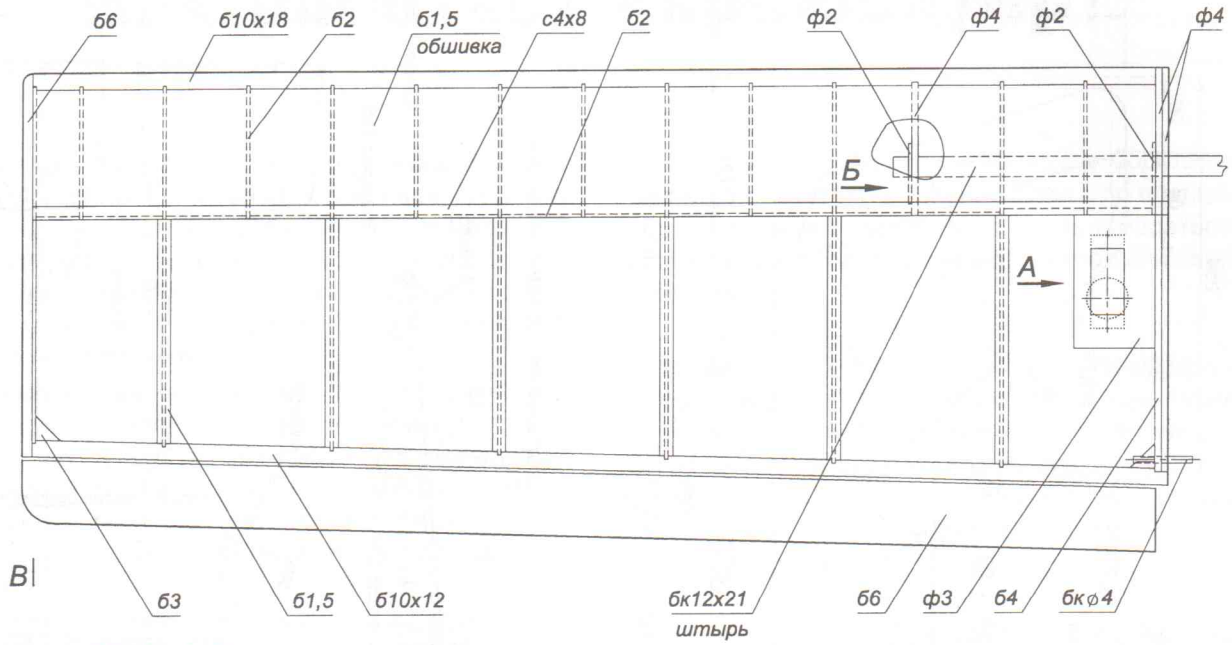
Модель предназначена для моделистов, которые уже попробовали свои силы в радио моделизме, и теперь хотят освоить азы высшего пилотажа. Предлагаемая вашему вниманию машина проста в изготовлении. При ее проектировании за основу был взят «Самолет для ленивых – второе поколение» (его подробные чертежи и описание проходили в ранних номерах журнала). Правда, в начальную разработку модель внесен немалый ряд изменений. Так, поменялась геометрия крыла (теперь оно приобрело сужение), и его конструкция. Кроме того, применен раздельный привод элеронов, и поэтому вместо центральной фюзеляжной рулевой машинки теперь использованы две, – по одной на каждой консоли крыла. Также была реализована идея автора по монтажу рулевых машинок привода рулей высоты и направления вблизи оперения, на хвостовой части фюзеляжа.

Фюзеляж корбочатой формы. Его основой являются относительно толстые боковые панели (бальза средней плотности 4 мм). Верхняя панель выполнена

из двух половин и имеет такую же толщину, что и боковины. П-образный бальзовый короб замкнут днищем, изготовленный из фанеры толщиной 1,5 мм. Бортовые панели усилены изнутри фанерными накладками толщиной 1 мм имеющими окна для уменьшения веса и снижения площади клеевых соединений. Накладки имеют пазы под панель рулевой машинки управления газом. Фанеру приклеивают к бальзе эпоксидной смолой. Чтобы избежать избыточного впитывания эпоксидки в бальзу, ее поверхность в зоне армирования грунтуют жидким нитролаком. Смолу наносят на обе детали, их сжимают, убирают излишки клея, и кладут под груз. Сразу нужно отметить, что остальные швы допустимо выполнить на ПВА, но все же лучше весь фюзеляж собрать на пластифицированной смоле.

Шпангоуты имеют простую прямоугольную форму. Передний шпангоут выполнен многослойным (два слоя березовой авиационной фанеры толщиной 4 мм), имеющим окна облегчения. Накладку со стороны моторамы, вырезают из фанеры толщиной 1 мм. После

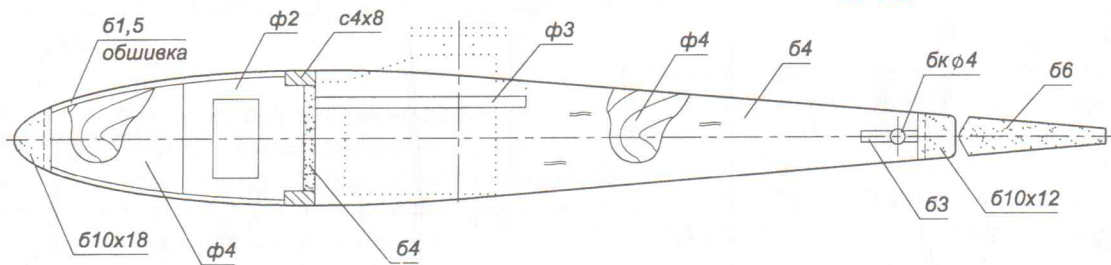




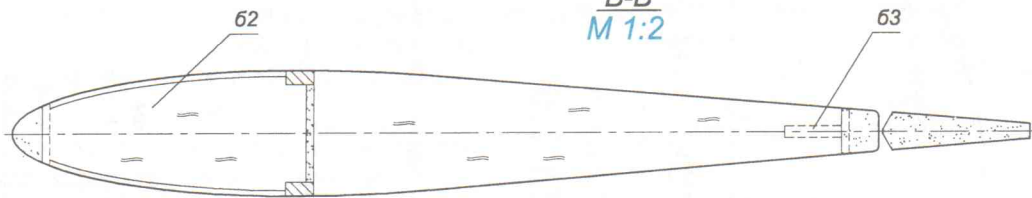
Крыло **M 1:4,5**

Вид А на корневую нервюру

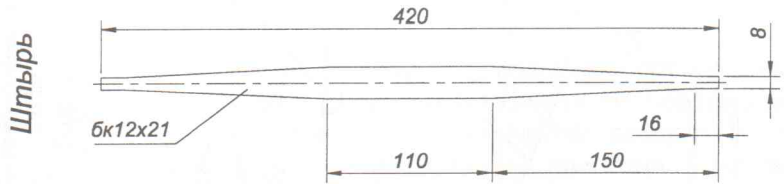
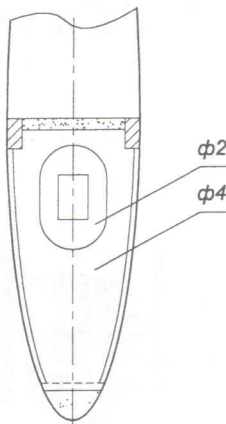
M 1:2



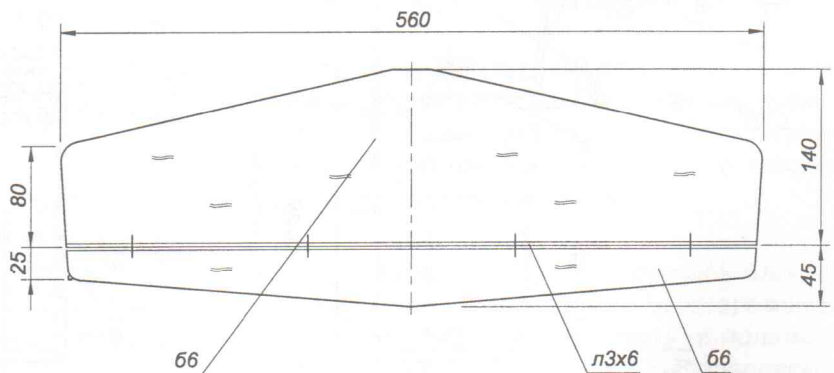
В-В
M 1:2



Вид Б на полунервюру
M 1:2



Стабилизатор





полимеризации производят разметку под винты крепления моторной рамы и тягу газа. Подкрыльевые шпангоуты выпиливаются из фанеры 3 мм и согласно чертежу, облегчаются окнами. Остальные шпангоуты выпиливают из плотной бальзы 3 мм. Хвостовую проставку вырезают из заготовки легкой бальзы 10 мм.

Сборку фюзеляжа ведут на стапеле, в качестве которого можно использовать кусок хорошо высушенной и оструганной доски. К одной из боковин приклеивают шпангоуты №1-№3 и концевую бобышку. При склейке необходимо контролировать перпендикулярность шпангоутов и боковин. После высыхания клея устанавливают вторую боковину фюзеляжа. Не забудьте установить панель рулевой машинки газа. Стяжка боковин осуществляется резиновыми кольцами, а хвостовую часть стягивают прищепкой. Выполняя эту операцию, тщательно контролируйте смещение боковин. Приклейте верхнюю обшивку фюзеляжа.

Для продолжения работ по фюзеляжу Вам необходимо будет изготовить штырь соединяющий два полукрыла. Он выполняется из буковой рейки согласно чертежу. Бук можно заменить на мелкослойную сосну. По этой детали в боковинах фюзеляжа выпиливаются окна, которые усиливаются фанерными накладками. Эти накладки предохраняют бальзовые боковины от "выламывания" при неудачной посадке. Для монтажа стоек шасси вклеивают две 10 мм фанерные бобышки. В задней половине фюзеляжа размечаются и выпиливаются окна под рулевые машинки рулей высоты и направления, внутри окна окантовываются накладкой из фанеры 3 мм.

Монтируют днище фюзеляжа. В днище вырезается окно под люк для монтажа радиоаппаратуры. Крышка люка фиксируется с помощью 4-х шурупов к сосновым рейкам.

После сборки, поверхность фюзеляжа грунтуют двумя слоями нитроклея и обрабатывают мелкой шкуркой, а отсеки двигателя и топливного бака покрывают одним-двумя слоями двухкомпонентного паркетного лака или одним слоем жидкоразведенной эпоксидной смолы. Подготовленный фюзеляж окрашивают стойкими к топливу синтетическими эмалями или оклеивают цветной термоклящейся полиэфировой пленкой.

Стабилизатор и киль цельно бальзовые, вырезаются из пластины толщиной 6 мм согласно чертежу. Заднюю кромку стабилизатора усиливают липовой рейкой 3×6 мм. В стабилизаторе выпиливают прямоугольный паз для прохождения "языка" киля, к тому же выполняющего роль посадочного "костыля". Для предотвращения стирания "костыля" он усилен сосновыми накладками.

Рули высоты и поворота, так же выполняют из легкой бальзы толщиной 6 мм. Ножом и шкуркой ему придают трапецевидное сечение.

При отсутствии бальзы киль и стабилизатор можно изготовить наборными из сосновых или липовых реек и оклеить термоклящейся пленкой.

Киль вклеивается в пазы, изготовленные на верхней панели фюзеляжа и в стабилизаторе. При монтаже киля и стабилизатора необходимо следить за их положением относительно фюзеляжа. Киль должен быть перпендикулярен верхней плоскости фюзеляжа, а стабилизатор – его боковине. Заключительная отделка

всей поверхности оперения осуществляется по аналогии с фюзеляжем.

Форкиль вырезают из плотной бальзы или липы толщиной 3 мм. Поверхность лакируется и красится.

Фонарь кабины выполнен из липы, облегченный долблением стамеской или штихелем полукруглого сечения. Он изготовлен из двух частей. После окраски метанолостойкими красками фонарь монтируется на клею, на поверхности готового фюзеляжа.

Капот формируется в негативной матрице из трех-четырёх слоев отожженной стеклоткани 0,1 мм. Крепление производится пятью шурупами 2×6 мм к шпангоуту №1. Для предотвращения его смятия при неудачной посадке, к нижней части фюзеляжа приклеена сосновая рейка, которая является своеобразной "лыжей".

Крыло наборное с жесткой зашивкой лобика.

Корневые нервюры изготавливают из двухслойной заготовки. Первый слой, это 4-х мм березовая авиационная фанера, а второй – композитный: носик, через который проходит штырь, фанерный, а залонжеронная часть из бальзы толщиной 4 мм. Вторая опора штыря – полунервюра выполнена также из 4 мм фанеры и усилена 2-х мм фанерной накладкой. Остальные нервюры и полунервюры вырезаны из бальзы 2 мм.

Переднюю и заднюю кромки вышкуривают из плотной бальзы. В них делают пропилы под нервюры глубиной 1,5...2 мм. Эта мера увеличивает прочность крыла и облегчает его сборку. Законцовки вырезаются из бальзы толщиной 6 мм.

Перед сборкой необходимо заготовить комплект нервюр и полунервюр. Потом собирается каркас, состоящий из нервюр, полунервюр и стенок лонжерона. При сборке каркаса в качестве своеобразного калибра можно использовать соединительный штырь. После этого приклеиваются передняя и задняя кромки. Дождавшись полного высыхания клея, монтируют зашивку лобика и полки нервюр. Устанавливают панель рулевой машинки привода элерона. После этого каркасы консолей крыла тщательно вышкуривают.

В качестве обшивки используется толстая пленка, типа «Супер-Монокот». При отсутствии этой пленки ее можно заменить толстой (50 мкм) лавсаной пленкой. Вырез под рулевую машинку усиливают бальзовой накладкой. Крепление крыла на фюзеляже осуществляется с помощью фиксатора, роль которого выполняет винт-саморез 2×10 мм. Для этого при установленном штыре в корневой нервюре сверлится отверстие, в которое и ввертывается саморез.

Стойка шасси согнута из проволоки ОВС диаметром 4 мм. Коротким отогнутым концом она вставляется в отверстие, выполненное в 10-мм фанерной стойке фюзеляжа, и закрепляется накладками из Д16Т толщиной 1,5 мм.

Колеса рекомендуется устанавливать не менее Ø70 мм.

По желанию капот на модель можно не устанавливать, но не забывайте проверить расположение центра тяжести модели, т.к. масса капота существенно влияет на центровку.

Объем топливного бака подбирается в зависимости от типа и рабочего объема устанавливаемого двигателя.

Ю.Павлов



R4 Радиотренер

Учебно-тренировочные модели, пожалуй, самый консервативный «класс» в радиоделении. Перетяжеленная и маломаневренная, зато имеющая огромный запас прочности – типичное описание массовой самодельной «учебной парты» прошлого и настоящего. И это несмотря на то, что даже в провинциальном городке можно найти более-менее опытного инструктора, который поможет новичку освоить технику пилотирования.

Представляемая модель не является прорывом в классе «учебок», тем не менее, она имеет некоторые особенности. В первую очередь, это относится к довольно высоким летным

характеристикам. С одной стороны появляется необходимость в помощи опытного пилота, зато с другой стороны, освоив подобный аппарат, любой моделист без труда «пересядет» на серьезную технику.

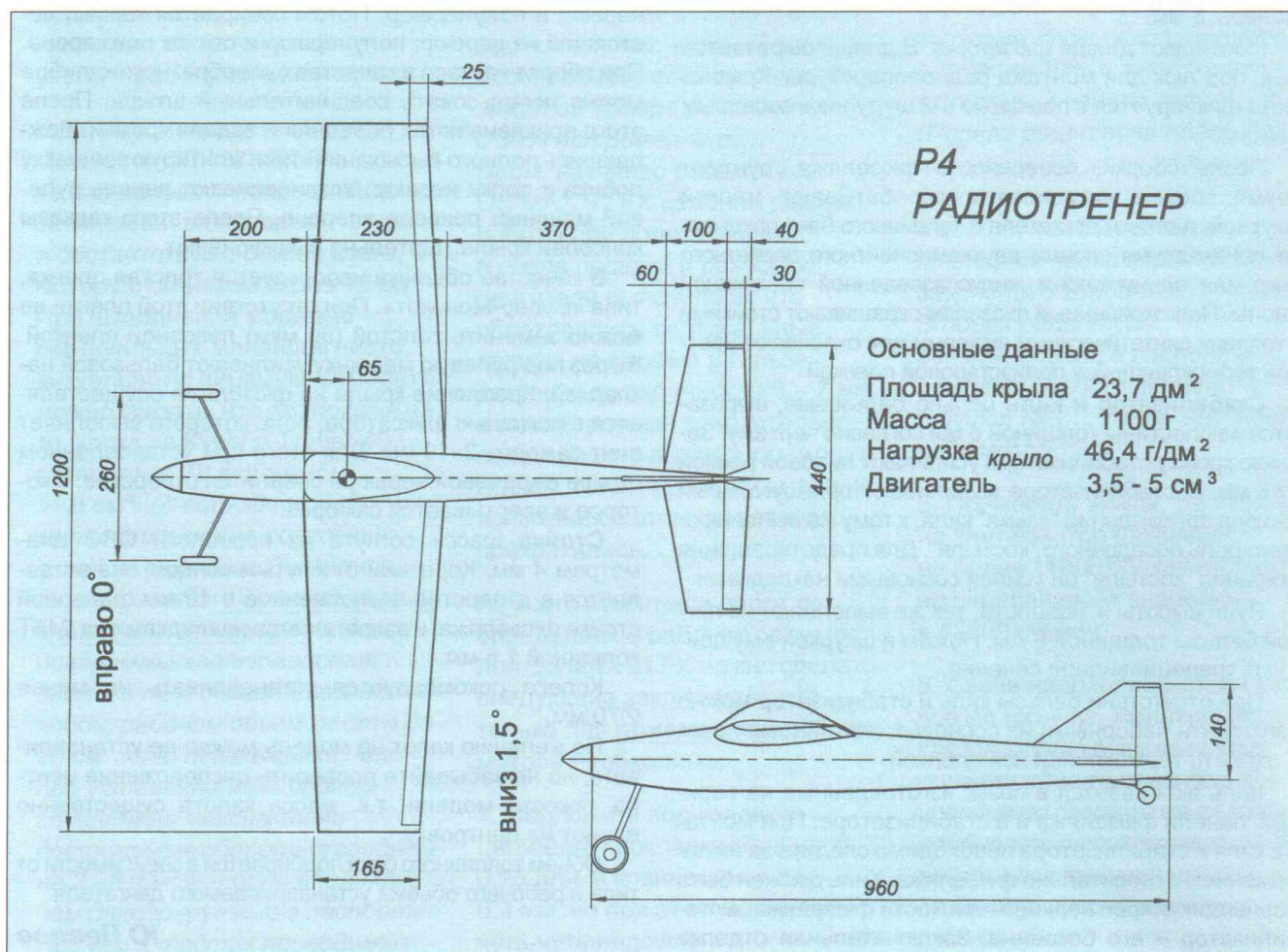
Второй особенностью можно считать довольно высокую сложность изготовления. Аргумент один - на учебной модели необходимо не только учиться летать, но и грамотно строить. Лишняя неделя, потраченная на изготовление, не высокая плата за опыт.

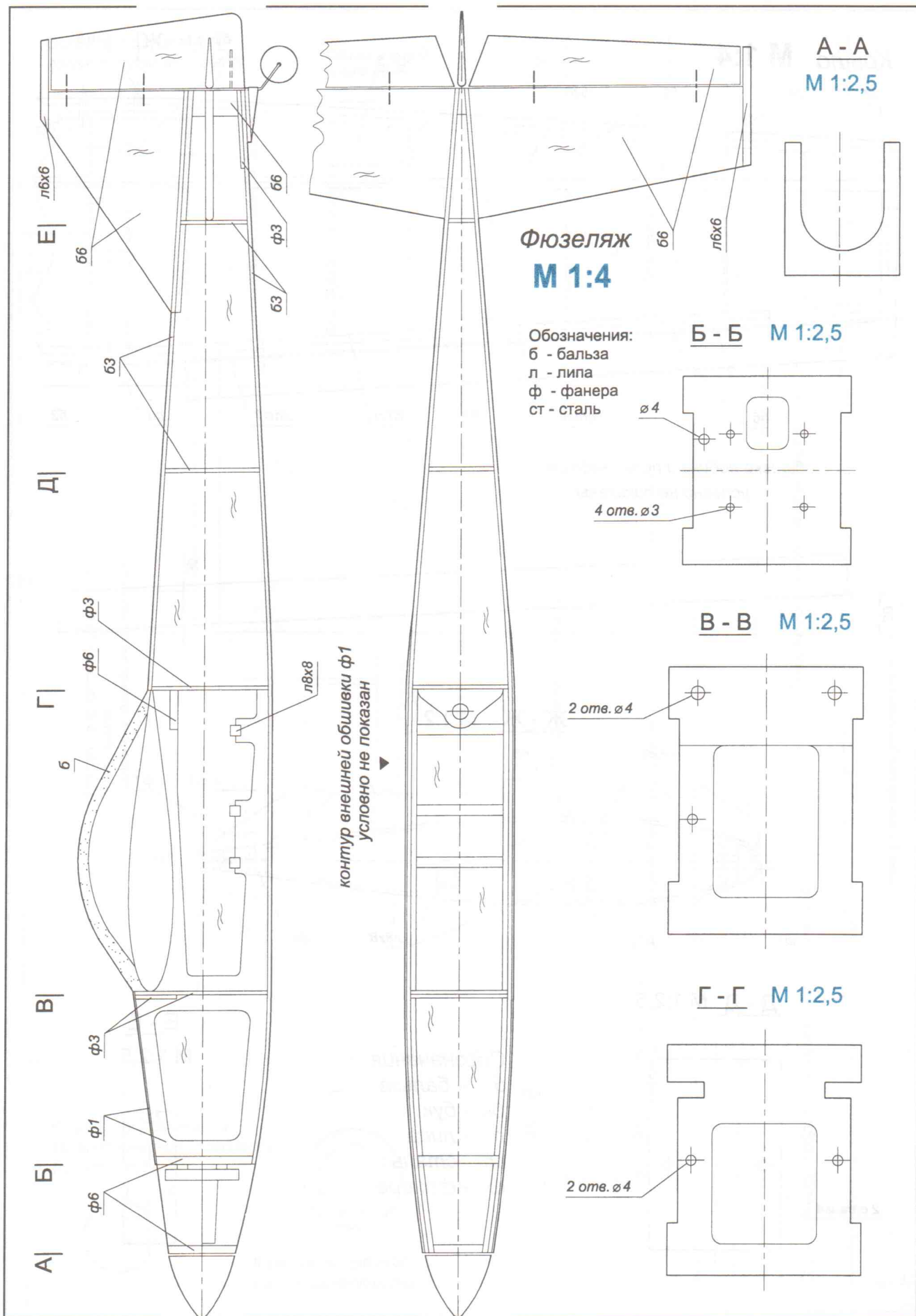
Для изготовления самолета была использована легкая ($0,08-0,1 \text{ г/см}^3$), средняя

($0,1-0,12 \text{ г/см}^3$) и плотная (более $0,12 \text{ г/см}^3$) бальза. Из клеев рекомендуются эпоксидная смола и циакрин тип 2 (средней густоты).

Фюзеляж. Силовой набор фюзеляжа состоит из боковых панелей, усиленных с внутренней и внешней сторон фанерными накладками и трех шпангоутов. Их изготовление и монтаж осуществляют особенно аккуратно. Повышенное внимание следует уделить качеству исходного материала.

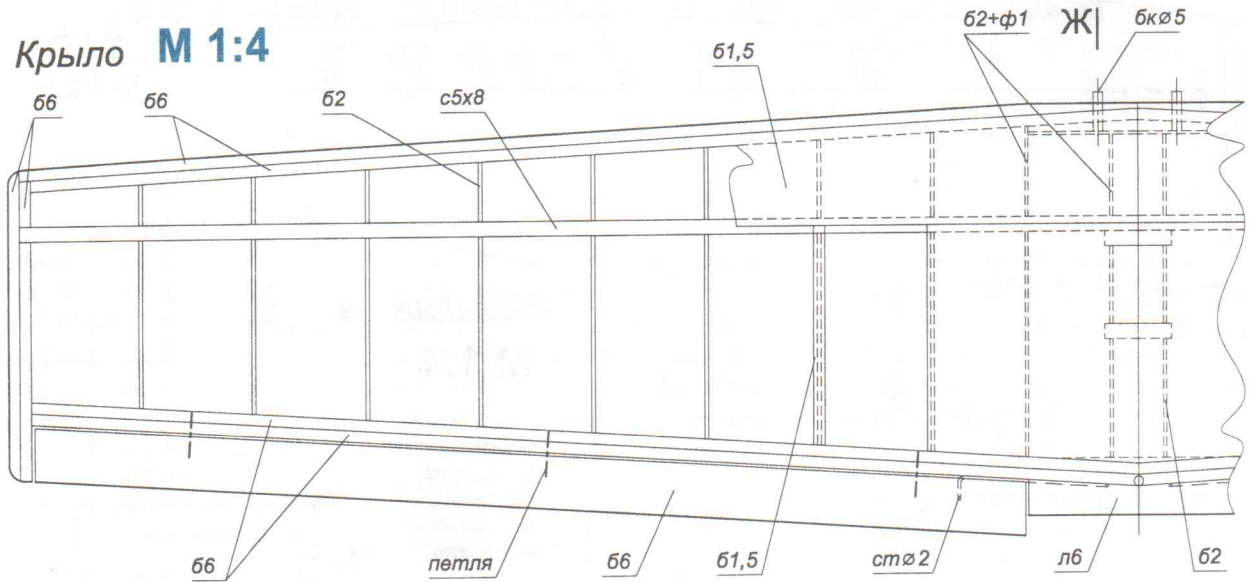
Сборка фюзеляжа начинается с изготовления заготовок боковых панелей из бальзового шпона средней плотности. Силовые накладки вырезают из миллиметровой фанеры



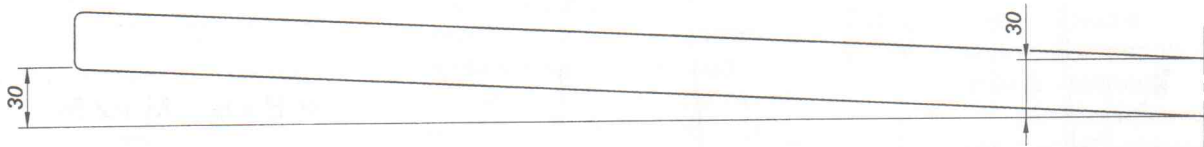




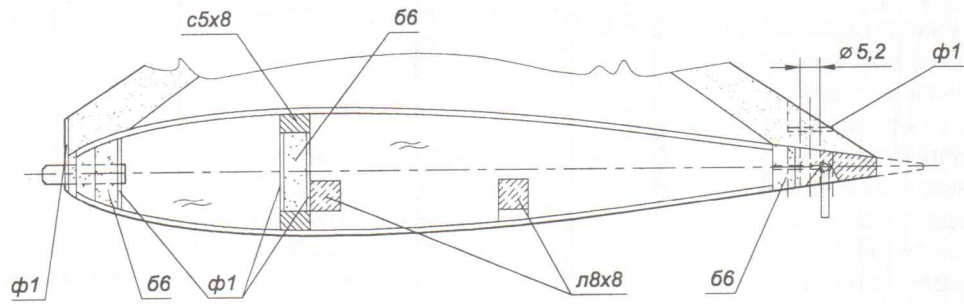
Крыло М 1:4



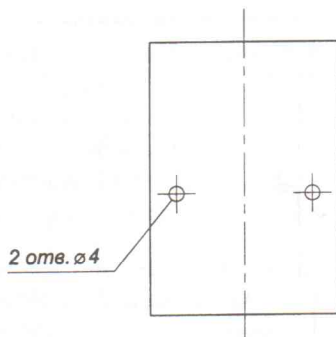
обшивка лобика и полки нервюр
условно не показаны



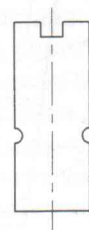
Ж - Ж М 1:2



Д - Д М 1:2,5



**Е - Е
М 1:2,5**



Обозначения:

- б - бальза
- бк - бук
- л - липа
- ст - сталь
- ф - фанера



и приклеивают к панели эпоксидной смолой. Предварительно, поверхность бальзы, на которую будет наноситься смола, необходимо загрунтовать жидким нитроклеем. Эта операция уменьшает вес клевого шва. Смолу наносят на обе детали, излишек убирают шпателем и кладут под груз. Из бальзовой пластины с вертикальным расположением волокон делают накладку для хвостовой части фюзеляжа. Затем проводят разметку отверстий под крыло и стабилизатор. Будьте аккуратны и максимально точны, так как от этой операции зависят правильные геометрические и летные характеристики будущей модели. Ложемент крыла доводят после сборки, по месту.

Моторный шпангоут выпиливается из качественной строительной или мебельной фанеры. Разметку под винты крепления и тягу газа производят «по месту», по присоединительным размерам имеющейся моторамы.

Остальные силовые шпангоуты выпиливаются из авиационной фанеры. На шпангоут №2 приклеивают накладку из той же фанеры. Сверлом Ø5,2 мм выполняют отверстия под штыри крепления крыла.

Сборку фюзеляжа ведут на ровной поверхности, на которой закреплен эскиз вертикальной проекции фюзеляжа в масштабе 1:1. В первую очередь подгоняют пазы панелей и шипы шпангоутов. Затем к одной из боковин эпоксидной смолой приклеивают шпангоуты №2 и №3 и циакрином – хвостовую бобышку. На втором этапе, так же на смоле, устанавливают другую боковину, и после полимеризации аккуратно стягивают носовую и хвостовую части. Выполняя эту операцию, тщательно контролируйте боковое смещение по чертежу! Затем, соблюдая дистанции, установите шпангоуты №4 и 5.

Панель крепления крыла выпиливается из качественной строительной фанеры.

Обшивку верхней стороны хвостовой части фюзеляжа вырезают из бальзы средней плотности. Разметку заготовок производят «по месту», приложив их к фюзеляжу. Резаком и надфилем вырезается отверстие для установки киля. Крышку отсека топливного бака выпиливают из фанеры. Со стороны фонаря делают замок «ступенька», а с другой – сверлят отверстия для ее крепления к шпангоуту.

Нижнюю панель фюзеляжа вырезают из плотной бальзовой пластины. Убедившись, что все работы внутри фюзеляжа закончены, эпоксидной смолой ее приклеивают к боковым панелям.

Киль вырезают из легкой бальзовой пластины. Переднюю кромку скругляют, а по оси задней – прорезают отверстия для петель навески руля поворота. После обработки деталь грунтуют нитроклеем и оклеивают всю поверхность стеклотканью 0,03 мм на паркетном лаке.

Руль поворота, так же выполняют из легкой бальзы. Ножом и шкуркой ему придают трапециевидное сечение. Чтобы хвостовая стойка шасси не «разбивала» отверстие, в руль клеивают алюминиевую трубку. Последняя операция – грунтовка лаком и оклейка тонкой стеклотканью.

После сборки, поверхность фюзеляжа грунтуют двумя слоями жидкого нитроклея и обрабатывают мелкой шкуркой, а отсеки двигателя и топливного бака покрывают двумя слоями двухкомпонентного паркетного лака. Хвостовую часть оклеивают стеклотканью 0,03 мм на паркетном лаке. Через сутки, то есть после полного высыхания лака деталь обрабатывают мелкой шкуркой, чтобы сгладить стыки и структуру поверхности.

Киль монтируется на эпоксидной смоле после обработки поверхности фюзеляжа.

Крыло. Для точной сборки необходимо изготовить схематические чертежи вида сверху и вида спереди.

Полки лонжерона выполняют из мелкослойной несмолистой сосны или ели. В единый узел их соединяет корневая стенка, склеенная из плотной бальзы и авиационной фанеры.

Корневые нервюры так же вырезают из плотной бальзы, носик усиливают накладками из миллиметровой фанеры. Остальные нервюры вырезают из бальзы средней плотности толщиной 2 мм.

Переднюю и заднюю кромки вырезают из плотной бальзы. Согласно чертежу, прорезают пазы под нервюры и петли. Сборку проводят на простейшем стапеле, фиксируя детали, под заданным углом друг относительно друга. Место стыка дополнительно усиливают накладками из плотной бальзы и полосками из фанеры.

Законцовки вырезают из обрезков плотной бальзы с припуском 0,5-1 мм. Чистовая обработка – после их монтажа на консоли крыла.

Крыло собирают на ровной поверхности, установив на ней профилированные бруски для контроля поперечного угла V. Собрав детали «в сухую», устраняют все перекосы и кривки и проливают швы клеем. После сушки каркас обрабатывают шкуркой №160-180, наклеенной на длинный ровный брусок. Его длина должна быть не менее полуразмаха крыла.

На втором этапе обшивают лобик и центральную часть крыла. Все стыки панелей – на «ус». В первую очередь устанавливают и фиксируют детали верхней части. После устранения «прогибов» на швы наносят цианоакрилатный клей. Нижнюю сторону крыла оклеивают на



эпоксидной смоле. Контроль над качеством швов проводят через отверстия между полками и нервюрами.

Привод элеронов выполняют из жесткой стальной проволоки (**но не ОВС!**) и устанавливают на самодельных петлях из жести толщиной 0,25 мм. После проверки подвижности, устанавливают липовую оконцовку. В последнюю очередь центральную часть крыла оклеивают стеклотканью 0,03-0,05 мм на двухкомпонентном паркетном лаке

Фонарь кабины выклеивают из обрезков легкой бальзы, слегка «облегчают» (*удобнее подгонять к довольно сложной поверхности корневой части крыла*) и оклеивают стеклотканью. Штыри для установки крыла выполняют из бука или березы. Разметку отверстий в передней кромке под их установку производят через отсек топливного бака.

Крыло обтягивают пленкой «Супер Моно кот» или ей подобной. Рекомендуется использовать разные цвета для верхней и нижней сторон.

Элероны вырезают из легкой бальзы. Рубанком и шкуркой заготовку доводят до трапециевидного сечения. Затем детали грунтуют и оклеивают тонкой стеклотканью. В последнюю очередь клеивают тонкостенные алюминиевые трубки.

Стабилизатор. Детали стабилизатора вырезают из легкой бальзы и профилируют согласно чертежу. Затем детали грунтуют нитроклеем и, после сушки и шлифовки, оклеивают стеклотканью толщиной 0,03 мм на паркетном лаке. Для соединения деталей руля высоты из проволоки ОВС сгибают П-образную скобу. Для ее установки в переднюю кромку клеивают тонкостенные алюминиевые трубки.

Стабилизатор устанавливают в фюзеляж на эпоксидной смоле.

Место нанесения клея на поверхности стеклоткани обрабатывает мелкой шкуркой, и тщательно обезжиривают ацетоном.

Шасси. Основные стойки сгибают из проволоки ОВС Ø3 мм. Верхнюю часть отпускают и нарезают резьбу М3. Для крепления колес используют упорные съемные шайбы. Колеса фирмы Robbe, легкой серии. Кронштейн хвостовой стойки – фирменный. Для его монтажа используют эпоксидную смолу и шурупы.

Винтомоторная группа. На модели устанавливают двигатель объемом 4,0-5,5 см³, например MVVS серии GFS или МДС.

Моторама пластиковая, Российского производства. Ее устанавливают на шпангоут №1 с помощью винтов М3. С головок напильником снимают фаски, чтобы исключить вращение в процессе затяжки. Сами винты вклеены в шпангоут и дополнительно зафиксированы гайками. Верхнюю часть моторамы крепят с помощью резьбовой части стоек шасси.

Отклонение двигателя осуществляют с помощью разрезанных шайб различной толщины. Эту операцию делают следующим образом. Накладным гаечным ключом ослабляют крепление моторамы, отверткой аккуратно отодвигают ее от шпангоута и в образовавшийся зазор, на винт, надевают разрезанную шайбу. Затем затягивают гайки крепления моторамы.

Фирменный топливный бак объемом 150 мл устанавливают в отсек и изолируют от деталей фюзеляжа поролоном. Толщину изоляции подбирают таким образом, чтобы плоскость бака совпадала с плоскостью жиклера. В то же время необходимо полностью исключить возможность перемещения бака под воздействием полетных перегрузок. Топливные трубки из

силикона, применение трубок из других материалов не желательно.

На двигатель устанавливают воздушный винт «Термик» размером 220×125 или 250 (обрезанный до 240 мм)×145 мм, в зависимости от объема двигателя. Кок пластмассовый, российского производства Ø57 мм.

Сборка и отделка. На ложемент крыла необходимо наклеить полоску вспененной резины. «Заготовкой» служит импортный уплотнитель для окон.

Установив крыло на фюзеляж, размечают отверстия в панели под капроновые винты М5. На прототипе резьба М5 нарезана в самой панели. Однако такой вариант допустим только при использовании материала высокого качества. В противном случае необходимо установить резьбовые втулки.

Фюзеляж модели, хвостовое оперение и элероны окрашивают автомобильными эмалями воздушной сушки аэрографом или мягкой кистью в два слоя. Детали отделки небольшого размера и полосы выполнены из самоклеющейся пленки.

Рули высоты, поворота и элероны устанавливают на модель с помощью пластмассовых петель «Термик» после завершения отделки.

И последнее. При освоении взлета-посадки можно воспользоваться одним старым и незаслуженно забытым способом. Речь идет об отклонении элеронов вниз на 15-20° путем уменьшения длины тяг. Модель летит как бы с постоянно выпущенными закрылками, что существенно снижает посадочную скорость. После получения необходимых навыков элероны возвращаются в нейтральное положение (разумеется, с последующей триммировкой модели.)

А. Чевычелов
СЮТ г. Одинцово
Московской области



Крылья «Аналога»

Вниманию моделлистов всех уровней и всех категорий редакция журнала предлагает редчайший материал, посвященный прочностным расчетам и другим важным вопросам конструирования. Со своей стороны мы рекомендуем, независимо от того, какая судьба постигнет ваш личный номер журнала, **сохранить данную статью и ее грядущее продолжение. Подобной методики расчета вы не сможете найти больше нигде. И, даже если сегодня она вам покажется пока не нужной, то не исключено, что завтра она станет для вас самым полезным справочником.**

Ценность данного материала заключается в том, что автор сумел, не погрешив против точности и достоверности расчетов (это подтвердили консультации с матерыми авиационными инженерами-прочнистами), настолько упростить их, что теперь они доступны пониманию школьника. Такого досконального и одновременно популяризованного подхода к вопросу вы не встретите ни в какой другой литературе.

Тема сегодняшнего разговора – принципы создания крыльев для RC-модели пилотажного типа, имеющих минимизированный вес (к остальным узлам мы вернемся как-нибудь позже, когда вы сможете сжиться с пока еще незнакомыми приемами). Все современные хобби-конструкции, и варианты, предлагаемые в фирменных наборах-посылках, являются откровенной данью каким-то традициям (зачастую неоправданным), а иногда и некой «технологичности» изготовления. Именно поэтому такие модели имеют просто гигантские переизбытки веса, которые, к сожалению, не имеют отношения к запасам прочности. Таким образом, аппараты перечисленных типов спроектированы по чрезвычайно далеким от авиации законам. Мы же попытаемся в полной мере использовать приемы авиационной инженерии. Когда вы увидите, что получится... Но не будем опережать события.

Основой любого проекта должен стать расчет на прочность. Прежде чем начинать разговор о прочности, нужно сделать одно замечание. Оно касается... безмолвного ужаса, испытываемого большинством моделлистов при упоминании слова «Сопромат». Как правило, в такой ситуации собеседники хватаются за голову, либо с ясными глазами просто отключаются от разговора. На самом же деле все не так сложно, как кажется «издалека». Освоив буквально пару простейших, элементарных приемов, потом удастся создавать гораздо более грамотные конструкции.

Каждый расчет на прочность должен основываться на исходных данных. И здесь – внимание! Главными

и единственными факторами являются только скорость полета модели и размеры ее крыла. Еще раз внимание! **Ни вес модели, ни кубатура используемого двигателя абсолютно никакого значения не имеют**, и могут, никак не отзвываясь на конструкции крыла, изменяться в самых широких пределах! Важны только **скорость полета и размеры крыла.**

Все это может показаться поначалу непонятным и непривычным. Дело же вот в чем. Максимальный коэффициент подъемной силы крыла практически любой модели, имеющей симметричный или двояковыпуклый профиль, с достаточно высокой точностью равен 1,0 (отклонения на $\pm 10\%$ в данном случае значения не имеют). Поэтому максимальные нагрузки на одинаковые крылья будут при условии одинаковой скорости полета равны.

Представим себе две практически одинаковые внешне RC-модели (предположим, полутораметрового размаха). На одной установлен двигатель COX 0,8 см³, а на другой – OS MAX 15 см³. Пускай первая будет весить 500 г, а вторая 5 кг. Теперь решим, что первая модель, как и вторая, имеют максимальную скорость 75 км/час. Если для первой такую скорость сложно обеспечить из-за малой мощности двигателя, то на второй будут откровенные проблемы с торможением на пикировании. Но если все же скорости принять равными... То можете удивляться или возмущаться, – все равно крылья двух этих моделей могут иметь совершенно одинаковую конструкцию!

Для пользы дела еще разберемся и с понятием «перегрузки». Этот искусственный параметр залетел к моделлистам из мира большой авиации. Там он, действительно, хоть как-то связан с расчетом прочности самолета. У нас же разговор о перегрузке может носить смысл (да и то крайне второстепенный) применительно лишь к некоторым, полностью устоявшимся классам спортивных моделей. Запомните это, и с должным скепсисом отнеситесь к упоминаниям «перегрузки» в зарубежных статьях по моделизму.

Обратимся к уже упомянутому примеру. Как вы помните, вес первой модели был равен 500 г, а второй 5 кг. Но из-за равенства скоростей максимальная подъемная сила Y_{\max} будет совершенно одинакова для обоих аппаратов. И это главное! На конкретно заданной скорости никакими ухищрениями вы не заставите аэродинамическую нагрузку стать еще выше. А вот некая надуманная «перегрузка», естественно, для двух моделей будет очень разной. Предположим, что крыло на какой-то принятой нами скорости способно развить максимальную подъемную силу $Y_{\max} = 20$ кг. Тогда окажется, что для первой модели перегрузка равна 40g,



для второй 4g. Ну и что? Нам-то это знать и учитывать не нужно. Постарайтесь понять, и свыкнуться с новой логикой, – вопреки старым «общежитейским» представлениям.

Из всего сказанного можно сделать еще один крайне важный вывод. Прежде чем приступать к проектированию крыла, необходимо как можно более четко спрогнозировать максимальную скорость проектируемой модели. Конкретнее, – ту скорость, при которой хотя бы при крайнем стечении обстоятельств (вертикальный порыв ветра при резком выходе из затяжного пикирования?), но все же был бы возможен выход на максимальные углы атаки крыла. Выбирать значение этой скорости как говорится, «с запасом», крайне нежелательно. Даже идеализированный расчет крыла утверждает, – при двукратном росте скорости его масса должна увеличиться минимум в четыре раза! Понятно, что без достоверной информации о быстроходности модели невозможно провести и мало-мальски грамотное облегчение крыла.

К сожалению, дать точных рекомендаций здесь не удастся. Выбирая прогнозируемую скорость, вам придется ориентироваться на свои представления и свои статистические данные. Автору же данной статьи известно множество уникальных примеров (это могут быть как действительно уникальные, достоверные факты, так и факты, уникальные не сами по себе, а по своей недостоверности) Вот один из реалистичных, проверенных четких замеров. Двигатель КМД-2,5, площадь крыла близка к 60 дм² (здесь нет опечатки!), – и устоявшаяся скорость горизонтального полета равна 126 км/час.

Замечание. Кстати, именно этот пример заставил в свое время тщательно рассмотреть ситуацию, провести комплексные аэродинамические расчеты, и потом сделать необычный вывод. Он касается того, что достойно загрузить двигатель за счет увеличения общих размеров модели довольно сложно. Но это касается только горизонтального полета! При любом вертикальном маневре двигатель начинает загружаться весом модели, а вот это гораздо более чувствительно! Конечно, такая логика крайне груба, но она дополнительно помогает кое-что понять.

Ситуация с выбором скорости будет проще, если вы четко представляете себе, что за аппарат находится у вас в разработке, и уверены, что сможете обеспечить требуемый диапазон быстроходности (за счет подбора шага воздушного винта, и так далее). В противном случае придется использовать очень осредненную информацию. Так, считается, что учебно-тренировочные модели верхнепланов имеют скорость полета около 60-70 км/час. А для среднестатистической (самодельной или фирменной) модели пилотажного типа характерна скорость примерно 100 км/час.

Замечание. С учетом того, что выше приведены скорости горизонтального полета, можно рекомендовать вводить их в расчеты, увеличив примерно на 20%. Это позволит избежать ситуации, когда после

резкой взятия «ручки на себя» на пикировании вдруг сложится крыло.

Конечно, на субъективную оценку скорости оказывают влияние множество факторов, вплоть до масштабных. Думается, вам будет полезно знать следующее: профессиональные кордовые пилотажки летают почти, что с постоянной скоростью в 90 км/час (пригодится для сравнения). Точно такая же, или немногим большая скорость характерна для профессиональных радиоуправляемых пилотажек ведущих зарубежных спортсменов (если удастся увидеть такие в полете, уже хорошо, – российские модели в среднем летают немного в другом стиле). Гоночные RC-модели с двигателями 6,5 см³ ходят не медленнее 200 км/час. Реалистично же оценить скорость полета различных радиоуправляемых планеров, электролетов, небольших моделей с мелкими ДВС, и самолетов типа Park-Flyer вообще очень сложно без точных замеров.

Теперь нужно еще отметить, что предлагаемые вашему вниманию прочностные расчеты будут проводиться с плюсовым запасом, который в сумме гарантированно превысит погрешности всех предварительных упрощений. Все «опасные» моменты расчетов, так и обеспечивающие не учитываемые запасы прочности, будут оговариваться особо. В целом же предлагаемая вашему вниманию методика расчета уже прошла проверку на десятках моделей, и при аккуратном исполнении узлов изломов крыльев не было нигде.

Расчет изгибных нагрузок

Конечно, опять воспользуемся примером. Сразу попробуем спроектировать необычное крыло, – тогда вам в будущем будет проще с более привычными конструкциями. Предположим, что мы собрались построить «нечто» на тему чемпионатного пилотажного самолета, и есть задача спроектировать крыло размахом 2000 мм с корневой хордой 250 мм и концевой 130 мм (!). Площадь такого крыла равна 38 дм². Для упрощения примем, что линия, проведенная через нервюры по 25% хорды, не будет иметь заметной стреловидности. Тогда нас пока не будут беспокоить вопросы обеспечения жесткости крыла на крутку, – при данном условии и при симметричном профиле усилия крутки близко к нулю (влияние работы элеронов мы попробуем учесть позже). Расчетную скорость полета выберем равную **120 км/час (что соответствует 33,3 м/с). Почему именно такую? Здесь выбор достаточно точен и обоснован. Как известно, большие пилотажки F3A летают со скоростью 90-100 км/час. К этой цифре для надежности добавлено 20%.**

Следующий этап – нахождение максимальной подъемной силы одного полукрыла (крыло условно продлевается до оси самолета, и это нужно делать во всех расчетах!).

$$Y_{\text{конс макс}} = C_{y \text{ макс}} \cdot V^2 \cdot S \cdot k, \text{ где}$$



$U_{\text{конс макс}}$ – искомая величина подъемной силы полукрыла, выраженная в кг

$C_{y \text{ макс}}$ – безразмерный коэффициент подъемной силы (напоминаем, что здесь он равен 1,0)

V – расчетная скорость полета, выраженная в м/с

S – общая площадь крыла, выраженная в дм^2

k – стандартный коэффициент, учитывающий плотность воздуха и равный 1/1600 для обычных условий атмосферы

Выполнив простейшие арифметические действия, получим, что на данной скорости полукрыло может развить максимальную подъемную силу, равную **13,2 кг**.

Замечание. Полезно один раз просчитать, какую подъемную силу может создать «крыло» площадью 1 дм^2 на разных скоростях, и занести результаты в записную книжку. Тогда потом при расчете лонжерона любого произвольного крыла можно будет только умножить полученные значения на реальную его площадь.

Замечание. По ошибке не подставьте скорость в км/час, и помните, что км/час и м/с связаны через коэффициент равный 3,6. Может быть, будет полезно запомнить, например, что 100 м/с равно 360 км/час.

Теперь нужно найти место положения средней аэродинамической хорды САХ консоли. Как это выполнить графическим методом, показано на рисунках. Хотя длина САХ интересна при определении центровки, сейчас нам важно лишь расположение САХ по размаху (плечо САХ).

В нашем распоряжении есть все исходные данные для нахождения важнейшей величины – изгибающего момента. Теоретически он подсчитывается довольно сложно, так как для трапециевидного (имеющего сужение) крыла нужно было бы сначала простроить распределение подъемной силы по размаху. А потом вычертить график изгибающих моментов по размаху. Но, к счастью, нас вполне удовлетворит одно лишь значение – максимальный момент по оси самолета. Он может быть рассчитан гораздо проще, и он будет равен произведению половины максимальной подъемной силы всего крыла (напоминаем, что именно поэтому мы взяли в расчет одну консоль!) на расстояние от оси симметрии самолета до линии САХ. То есть:

$$M_{\text{макс}} = U_{\text{конс макс}} \cdot L_{\text{САХ}}, \text{ где}$$

$M_{\text{макс}}$ – искомая величина изгибающего момента, выраженная в $\text{кг} \cdot \text{см}$

$U_{\text{конс макс}}$ – максимальная подъемная сила полукрыла, выраженная в кг

$L_{\text{САХ}}$ – расстояние от оси самолета до САХ консоли, выраженная в см (в нашем случае примерно 45 см)

Для нашего экстремального крыла данная величина окажется равной 594 $\text{кг} \cdot \text{см}$. Следуя принципу «плюсовых добавок», мы принимаем ее равной **600 $\text{кг} \cdot \text{см}$** .

Замечание. Отметьте для себя, что плечо САХ консоли измеряется здесь в сантиметрах, что делает последующие расчеты более удобными.

Замечание. Именно на этом этапе закладывается значительный, но не учитываемый далее дополнительный запас прочности. Данная формула совершенно «не знает» того факта, что концевые участки крыла (вроде бы вкладывающие основную долю в изгибающий момент) на самом деле выключены из создания подъемной силы, особенно на больших углах атаки! Это связано с неизбежными концевыми эффектами обтекания крыла конечного размаха.

Расчет полка лонжерона

Нагрузки мы выяснили. Осталось выбрать материал лонжерона. На экзотических вариантах мы пока заострять внимание не будем (хотя они потенциально и могут быть крайне интересными!). Воспользуемся древесиной распространенных сортов. Для среднестатистической моделистской сосны предел прочности на сжатие равен 400 $\text{кг}/\text{см}^2$, а на изгиб 600 $\text{кг}/\text{см}^2$. Можно было бы еще упомянуть, что предел прочности сосны на растяжение равен 800 $\text{кг}/\text{см}^2$. Но последняя величина нигде не пригодится. Не одна, так другая полка на разных фигурах пилотажа будет работать на сжатие, и как самая «слабая», именно она будет определять всю прочность.

Сразу отметим, что в разных справочниках для одной и той же древесины можно встретить сильно отличающиеся значения. Те, что приведены здесь, являются осредненными из нескольких наиболее достоверных источников (авиационные справочники разных стран), и относятся к древесине плотностью около 0,46 $\text{г}/\text{см}^3$ при «комнатной» ее влажности. Для бальзы плотностью 0,12 $\text{г}/\text{см}^3$ данный ряд прочностей выглядит как 100, 150 и 200 $\text{кг}/\text{см}^2$. Правда, на самом деле бальза заметно прочнее на сжатие и изгиб, и не так чувствительна к влажности, как плотные сорта древесины. Но бальза более разнородна по качеству даже при одинаковой плотности. Поэтому мы берем заведомо заниженные значения. Липа и, например, ель, здесь не рассматриваются. Липа – из-за своих недостатков (ее прочность явно ниже, чем у сосны при практически равной плотности), а ель – из-за выигрышности (она немного легче сосны при равной прочности). Усталостные поправки не учитываем. Древесина, в отличие от металлических элементов конструкции, фактору усталости, к счастью, не подвержена (это известно из большой авиационной инженерии). Еще полезно помнить, что трехслойная березовая фанера при направлении нагрузок вдоль волокон «рубашки» в расчетах может быть с достаточной точностью приравнена к сосне.

Теперь выберем схему лонжерона. Их существует немало. Но для конкретизации выберем пока одну, наиболее распространенную – двухполочную. Таким образом, мы будем вынуждены использовать в расче-



тах наименьшую величину предела прочности (на сжатие), забыв о других (изгибных и разрывных). Но такая схема лонжерона для легкого крыла, похоже, будет лучшей, и уж точно наиболее привычной.

По идее, здесь можно было бы приступить к стандартным подсчетам прочностного момента инерции в корневой части крыла. Но тут мы можем резко упростить задачу, заодно избавившись от понятия «момент инерции» (главное – без всякой потери точности и достоверности всего расчета!). Итак, единственная задача – на эскизе корневого профиля крыла нужно прорисовать место расположения лонжерона и, задав полкам какое-то произвольное сечение, замерить расстояние между их серединами по высоте. Далее останется только поделить найденный ранее изгибающий момент на этот размер, как будет найдена максимальная нагрузка на полку:

$$F_{\max} = M_{\max} / H_{\text{средн}}, \text{ где}$$

F – искомая величина нагрузки, выраженная в кг

M_{\max} – максимальный изгибающий момент, выраженный в кг · см

$H_{\text{средн}}$ – высота между серединами полок лонжерона, выраженная в см

При предварительной (макетной) прорисовке крыла выяснилось, что величина H равна примерно **2,9 см (коренной профиль имеет относительную толщину 14%, и соответственно, максимальную толщину 35 мм). Поэтому нагрузка на полку будет равна $600 \text{ кг} \cdot \text{см} : 2,9 = 207 \text{ кг}$ (округляем в плюс до 210 кг). Сразу отметьте для себя, что в целом такая нагрузка – это весьма ощутимая величина!**

Площади сечения полки лонжерона будет, естественно, равна отношению нагрузки к пределу прочности материала (формулу, надеемся, здесь приводить не нужно?). А что у нас получилось конкретно? $210 \text{ кг} : 400 \text{ кг/см}^2$ (это предел прочности сосны на сжатие) = $0,525 \text{ см}^2$. В итоге – условиям прочности удовлетворит лонжерон, полки которого сделаны из сосны средней плотности и имеют в корневой части крыла сечение, например, $5 \times 11 \text{ мм}$. Нет ничего удивительного в том, что сечение получилось довольно крупным. Это дань большому размаху, малой хорде и соответственно тонкому (в абсолютном значении) профилю, и довольно высокой расчетной скорости.

Можно брать за рубанок? Отнюдь нет. Требуется еще спроектировать либо центральную связку-узел лонжерона (неразъемное крыло), либо соединительный штырь (отъемные консоли). Дело в том, что такие узлы при грамотном проектировании могут дать минусовую поправку к сечению полок. Но это уже следующая тема. А пока отметим два момента. Найденное нами сечение полки соотносится только с плоскостью симметрии фюзеляжа, либо с центральной нервюрой неразъемного крыла. Изгибающий момент по мере удаления от этой плоскости падает очень быстро

(практически по квадратичному закону!). В результате полка лонжерона, будь она сделана по теории равных прочностей, должна была бы утончаться к концу консоли до нуля. Причем не по «чистому клину», а имея еще и своеобразную «талию» посередине размаха консоли.

Наличие широкого фюзеляжа ничего не меняет. Несмотря на то, что в подфюзеляжной зоне крыло может и отсутствовать, все равно по оси фюзеляжа любой элемент, выполняющий роль лонжерона, должен удовлетворять приведенным расчетам. А вот на выходе из борта «пухлого» фюзеляжа момент окажется уже чуть ниже. Может быть, эта информация кому-то и пригодится.

Центральный узел (неразъемное крыло)

Вспомните, какое усилие может быть приложено к полкам лонжерона. Более двухсот килограммов! Именно поэтому полки получились столь солидными. Но сейчас важнее понять, что и центральный соединительный узел неразъемного крыла должен быть как минимум не слабее лонжерона! Бессмысленно пытаться соединять полки на ус – прочность клеевого шва намного ниже, чем у древесины. Поэтому в наших условиях достаточно надежная склейка должна была бы иметь «ус» длиной примерно 200 мм (желательно с обмоткой). Такое удастся сделать только при прямом, не имеющем угла V крыле (только при качественной подгонке стыковых плоскостей, только при использовании хорошей эпоксидной смолы, и только при склеивании под давлением). Но сейчас полезнее рассмотреть более универсальное решение с использованием соединительного узла.

Замечание. Конечно, полки лонжерона в связи с их склейкой встык здесь в расчет не принимаются. Все нагрузки должен выдерживать центральный узел.

Несложный вариант – организация вкладыша между полками с одновременным армированием узла фанерными боковинами, ставящимися впереди и позади лонжерона во всю его высоту. К несомненным плюсам такого узла относится то, что здесь полка фиксируется по трем своим сторонам. Таким образом, резко снижается вероятность отделения полки от соединительной планки после простого отслоения ее древесины от материала межполочной вставки (аналогия со стыковкой полок на ус – по идее простая стенка-вставка из-за прочности шва должна была бы иметь длину чуть ли не в четверть размаха!). А к минусам – необходимость предварительного изготовления полного крыльцевого лонжерона с последующим поочередным монтажом консолей. Можно отметить, что традиционные хобби-ские решения и подавляющее большинство наборов-посылок имеют явно прославленную схему центрального узла с короткой межполочной вставкой. Объясняется это тремя факторами. Первый – «так привычнее». Второй – так проще, и так «как у всех».



И третий – можно закончить консоли по отдельности, и только потом соединить их с помощью простенькой межполочной вставки («как в фирменном наборе!»). А о том, что в готовом крыле чаще всего нельзя проконтролировать ни подгонку деталей, ни качество склейки, уже не думается... Похоже, не намного лучше и другое распространенное решение, когда готовые консоли стыкуются с помощью фанерной стенки, приклеиваемой не между полками, а только спереди или сзади от них. Отрыв полок по слоям древесины здесь также весьма вероятен.

Конечно, в нашем варианте вкладыш в сумме с фанерными накладками должен выдерживать максимальный момент изгиба. Поэтому по центру крыла он проверяется расчетом. Попробуем применить бальзовую вставку сечением примерно 15×20 мм и обоестороннее армирование фанерой толщиной 1,5 мм (слои «рубашки», конечно, вдоль размаха) по всей высоте профиля. Здесь пригодится еще одна весьма ценная формула. Она дает возможность узнать прочность отдельного элемента (рейки, пластины), имеющего прямоугольное сечение.

$$M_{\text{доп}} = d_{\text{изг}} \cdot b \cdot h^2 / 6, \text{ где}$$

$M_{\text{доп}}$ – предельно допустимый момент изгиба для данной детали, выраженный в кг·см

$d_{\text{изг}}$ – предел прочности материала (150 кг/см² для бальзы плотностью 0,12 г/см³)

b – «толщина» рейки, выраженная в см

h – «высота» рейки, также выраженная в см

Особо нужно уточнить два момента. Во-первых, мы здесь для легкости восприятия опять уходим от трудно осознаваемого понятия «момент инерции сечения» и поэтому «изобретаем» упрощенную формулу (на суть дела и точность расчетов это никак не влияет). А во-вторых, – за «высоту» всегда принимается только тот размер, который лежит в плоскости действия изгибающих усилий. Чтобы сделать это более понятным, попробуем сформулировать по-другому. «Высота» – это расстояние между наиболее сжатыми и растянутыми волокнами в изгибаемой рейке. Поэтому, например, при расчете обычной пластинчатой стойки шасси (данная формула пригодится и в этом случае) за «высоту» h принимается толщина металлического листа. Еще очень интересен факт, что при расчетах монолитных деревянных деталей на изгиб используется и соответствующий предел прочности, который выше прочности на сжатие в полтора раза! Такова еще одна особенность древесины...

Итак, бальзовая вставка заранее фиксированных размеров (то есть сечением 11×24 мм) выдержит момент, равный $150 \cdot 1,1 \cdot 2,4^2 / 6 = 158 \text{ кг} \cdot \text{см}$. **Фанерные «щечки» (фанера 1,5, ширина полосы 34 мм) – по $600 \cdot 0,15 \cdot 3,4^2 / 6 = 173 \text{ кг} \cdot \text{см}$ каждая. А весь центральный узел – $158 + 173 + 173 = 504 \text{ кг} \cdot \text{см}$. Конечно, это недопустимо при расчетных 600 кг·см.**

Реконструируем узел. Бальзу заменим сосной средней плотности, после чего вставка удержит мо-

мент, равный $600 \cdot 1,1 \cdot 2,4^2 / 6 = 634 \text{ кг} \cdot \text{см}$. **Но это же больше, чем нужно! Поэтому пойдем другим путем. Все-таки оставим бальзу. А фанерные «щечки» утолщим до 2,0 мм (фанера 1 мм в два слоя), в результате чего каждая из них сможет воспринять момент 230 кг·см. Общая прочность обновленного узла составит $158 + 230 + 230 = 618 \text{ кг} \cdot \text{см}$. Вот это уже то, что нужно! Пока на этом и остановимся, так как не исключено, что впереди нас ждут дополнительные изменения.**

Остается задать размах соединительного узла. Так как полки заделываются в нем по трем своим сторонам, можно принять, что длина клеиваемой части полки должна быть не менее 60 мм. То есть минимальный размах узла равен 120 мм. Конечно, никакие вырезы в фанерных накладках просто недопустимы!

Внимание! Не сделайте стандартной ошибки, весьма известной в инженерии! Не меняйте здесь, к примеру, фанеру на углепластик! Можно было бы подумать, что такой классный высокопрочный материал лучше подойдет для армирования... Ничуть не бывало! Причем ошибка будет двойная. Первая – смешивание материалов, несущих одну нагрузку, но совершенно различных по модулю упругости. В данном случае высокомодульный углепластик как бы выключит из работы все низко модульные деревянные элементы конструкции. А вторая ошибка – малая вероятность идеальной связи угольных «щечек» с полками. Это вызовет необходимость бинтовки всего стыка стеклотканью, да еще и с непредсказуемым результатом. Наверное, есть и третья ошибка. Теоретически необходимая толщина углепластика здесь должна быть сравнительно небольшой. А это означает, что возникнут проблемы устойчивости формы столь тонкой стенки, которую при данных нагрузках и усилиях не сможет решить сравнительно мягкая бальзовая «подложка».

Правда, здесь для точности дела нужно сделать еще одно замечание, касающееся именно углепластиков. Весьма интересно, что в среднем углепластики обладают относительным удлинением при разрыве, весьма близком к древесине. Тот, кто более или менее знаком с сопроматом, поймет, что это – крайне ценное свойство данного композитного материала.

Соединительный штырь (разъемное крыло)

Так как нашей начальной задачей стало создание максимально легкого, но достаточно прочного крыла, вариант с посадкой консолей на дюралюминиевую трубу здесь не рассматривается. Достоинство «металлического» решения заключается лишь в его простоте, технологичности и доступности. Если говорить о легком крыле, разные цилиндрические трубы постоянного сечения вообще исключаются из разговора. При высоком, но резко переменном по размаху изгибающем моменте иметь равнопрочную по всей длине деталь, которая рассчитывается только по максимуму – непо-



зволительная роскошь. Если уж будет задумано догнать крыло чем-нибудь ненужным, можно найти что-нибудь и позанятнее.

Одна из логичных схем – двухполочная конструкция с бальзовым наполнителем-стенкой, сосновыми полками и фанерными «щечками» во всю высоту штыря. Конечно, при виде на самолет спереди такой штырь будет иметь сужающуюся к концам высоту, а внутри – и переменную высоту полок «лонжерона». Для надежности такой штырь можно обмотать тонкой стеклотканью, чтобы перестраховаться на случай расслоения клеевых швов. Для расчета прочности подобного штыря используются приведенные выше формулы для двухполочного лонжерона и соединительного узла.

Однако здесь не грех вспомнить о факте увеличения предела прочности древесины на изгиб по сравнению со сжатием. Это может показаться странным, но, возможно, идеальный штырь будет представлять собою простую деревянную планку (сосновую, или, например, грабовую). Конечно, здесь сечение штыря также будет уменьшаться к его концам. А для страховки можно армировать его переднюю и заднюю плоскости тонкой фанерой, да еще потом и обмотать тонкой стеклотканью (она ничего не упрочнит, зато исключит пропитку топливом и размягчение древесины). Такой штырь тоже более чем прост в расчете. Единственное, что хотелось бы отметить – нужно использовать высоту штыря, максимально допустимую конструкцией крыла. Тогда штырь получится полегче, а жесткость (ни в коем случае не путайте с прочностью!) окажется выше. Для расчета прочности такого штыря используются приведенные выше формулы для монолитных деревянных деталей. В качестве примера можно считать штырь для данного крыла. Уже известно, что максимальный изгибающий момент по оси самолета равен $600 \text{ кг} \cdot \text{см}$. Штырь сделаем монолитным, из граба (предел прочности этой древесины, кстати, как и у плотной березы, равен примерно 800 кг/см^2). Для начала проверим прочность грабовой пластины сечением $10 \times 20 \text{ мм}$. Она окажется равна $800 \cdot 1 \cdot 2^2/6 = 533 \text{ кг} \cdot \text{см}$. Весьма близко. Остается увеличить высоту пластины с 20 до 21,5 мм, как штырь с гарантией выдержит заданную нагрузку. Наверное, есть смысл попробовать еще увеличить высоту, и одновременно снизить толщину штыря.

В целом, применение соединительных штырей, несмотря на некоторый рост общего веса крыла, все-таки не катастрофически проигрышно. Дело в том, что на определенном размахе штырь заменяет собою лонжерон крыла. И фактически вам нужно вести расчет консоли так, как будто она начинается лишь с конца штыря! Таким образом, резко снизится не только входящая в расчет площадь, но и действующие плечи САХ (которая, конечно, рассчитывается отдельно, лишь для «свисающей» со штыря части). В общей сложности максимальный расчетный момент лонжерона крыла может упасть чуть ли не в два раза, что сразу отзовется на его сечении и весе (причем выигрыш будет получен и на облегченной стенке лонжерона). Весьма ин-

тересно, что в целом такая схема близка по расчету к подкосному крылу. А это означает, – полки лонжерона будут иметь наибольшее сечение не в корне, а по месту фиксации конца штыря, суживаясь как к концу консоли, так и к ее корневой части!

Однако, с учетом всех крепежных узлов для штыря (лишний пенал, конечно, не предусматривается, так как консоль навешивается по двум точкам – на корневой нервюре и по концу штыря), а также из-за необходимости организовывать достаточно мощные коренные нервюры, вариант разъемного крыла заведомо более проигрышен по сравнению с цельным. Поэтому даже при размахе 2000 мм в нашем случае от разъема было решено отказаться. При сравнительно небольшой хорде «полупланерное» крыло еще может считаться на грани удобства-неудобства в перевозке.

Стенка лонжерона

Неразборное крыло. С учетом достаточно мощных полок лонжерона и сравнительно небольшой строительной высоты профиля применим нетрадиционное для моделей самолетов решение (заметьте, оно понадобилось для нашего экстремального «полупланера», и, скорее всего, окажется не нужным для обычного крыла). Сделаем стенку двойной в корневых зонах. Материал «щечек» оставим без изменений (каждая из двух слоев фанеры толщиной 1,0 мм), но прилегающий к полкам слой фанеры значительно увеличим по размаху, вплоть до 25% длины консоли. Таким образом, в корневой части крыла лонжерон будет представлять собою закрытую коробчатую трубу.

Теперь нужно рассмотреть две критические зоны – по концу коротких внешних накладок, и по концу длинных стенок. В зонах концов внешних накладок наблюдается явный переизбыток прочности. Ведь там присутствуют не только детали центрального узла, которые сами по себе полностью достаточны, но и полки лонжерона. Поэтому с данной зоной все ясно (потенциально можно облегчать).

А с зоной по концу удлиненных «щечек» нужно разобраться подробнее. Ведь теперь нас интересует одна лишь часть консоли крыла, которая выходит за пределы коробчатой части лонжерона! Получится вот что. Учитываемая теперь в новых расчетах часть крыла имеет длину 750 мм, «корневую» хорду 220 мм (концевая осталась прежней, 130 мм), площадь $13,1 \text{ дм}^2$ ($0,13 \text{ м}^2$), и плечо САХ чуть менее 350 мм (как всегда, применяем плюсовые округления). Считая на первых порах профилировку крыла постоянной по размаху, получим толщину «корневого» профиля равной 30,8 мм (общая высота лонжерона около 30 мм, и в первом приближении расстояние между серединами полок $25 \text{ мм} = 2,5 \text{ см}$). Далее проводим уже стандартный расчет.

$$U_{\text{конс max}} = 1 \cdot 33,3^2 \cdot 13 \cdot 1/1600 = 9,0 \text{ кг}$$

$M_{\text{max}} = 9,0 \cdot 35 = 315 \approx 320 \text{ кг} \cdot \text{см}$ (в три раза меньше, чем $1000 \text{ кг} \cdot \text{см}$! – вспомните, что ранее говори-



лось про квадратичный закон изменения изгибающего момента по размаху)

$$F_{\max} = 320/2,5 = 128 \text{ кг}$$

$$S_{\text{полки}} = 128/400 = 0,32 \text{ см}^2 = 32 \text{ мм}^2$$

Требованиям прочности в данном месте крыла удовлетворяет сосновая полка сечением, например, 4×8 мм (вместо прежних 5×11 мм) А теперь... попробуем сохранить это уменьшенное сечение до самого центра, и проверим, что получится в остальных контрольных сечениях.

В зоне, отстоящей от оси самолета на 50 мм (конец внешних накладок) прочность будет определяться сосновыми полками сечением 4×8 мм, и двумя фанерными стенками толщиной 1 мм. Общая прочность этой трубы коробчатого сечения равна 320 (на самом деле больше, так как высота лонжерона увеличится в соответствии с толщиной профиля) + 230 = 560 кг·см. Это вполне допустимо, так как изгибающий момент здесь равен как раз данной величине. А вот по оси крыла прочность бальзовой вставки из-за ее утончения до 8 мм немного снизится, и будет равна 115 кг·см (вместо прежних 158 кг·см). Здесь реконструировать ничего не нужно. Достаточно использовать бальзу плотностью не 0,12, а 0,16 г/см³, как все будет нормально. Тем более, если учесть, что ранее у нас уже образовался небольшой избыток прочности именно по оси крыла.

Интересное замечание. Чуть выше мы раскритиковали металлические трубы постоянного сечения. А сами здесь организовали нечто подобное. Ведь за пределами центрального узла и до концов коробчатой части лонжерона у нас получилась практически равнопрочная конструкция! Единственное, что можно посоветовать – выполнить отверстия в фанерных стенках. Их можно вырезать по всему участку, начиная от концов коробки и вплоть до 12% размаха консоли, считая от центра крыла. Операция эта отнюдь не бессмысленная. Ведь березовая фанера в два раза тяжелее сосны и примерно в семь раз тяжелее бальзы!

Дополнение к данному расчету

Фактически на этом расчет и проектирование лонжеронной части крыла может считаться законченным. Осталось задать полкам, свисающим за пределы коробчатой части, сужение к концам крыла. Примем, что в зоне законцовок полки будут иметь сечение 2×4 мм (помните, – в идеале здесь может быть ноль!). От конца коробчатой части (25% размаха консоли) и до 50-60% размаха ставим в пространстве между полками одиночную фанерную стенку. Причем в прикорневых, более нагруженных межнервюрных секциях делаем ее из фанеры толщиной 1,5 мм, а далее – из миллиметровой. Весь внешний конец крыла снабжаем стенкой из средней или плотной бальзы толщиной около 2 мм с вертикальным направлением волокон. Заметьте, что расчетной прочности соответствуют уже

одни лишь полки. Поэтому стенку можно делать не в виде сквозной пластины, а вгонять ее элементы в свободное пространство между нервюрами (как обычно).

Еще полезно помочь фанерным стенкам в коробчатой части лонжерона полностью воспринять все прилагаемые к ним усилия. Дело в том, что миллиметровая стенка при общей высоте профиля крыла около 34 мм, наверное, может при предельных нагрузках потерять устойчивость (как бы «пойти волной», даже без разрушения). Поэтому в данной зоне внутри коробки можно поставить легкие вертикальные перемычки с достаточно частым шагом. Например, это будут липовые рейки сечением 1,5×8 мм с шагом около 50 мм.

Напоследок можно прикинуть, какой вес будет иметь лонжерон подобной конструкции. Так, пара сосновых полок сечением 4×8 (с упомянутым сужением) весят примерно 45 г. Пара миллиметровых фанерных стенок длиной по 500 мм и средней высотой порядка 32 мм – еще около 20 г (при условии отверстий облегчения). Единичная фанерная стенка добавит примерно 10 г. А на остальные детали (бальзовая стенка, вкладыш центрального узла и вертикальные перемычки) накинём без расчета еще грамм 15. Останется резерв в 10 г на эпоксидную смолу, чтобы у нас получился полнокомплектный лонжерон длиной 2000 мм и весом около 100 г.

Идеальный результат? Наверное, не совсем. Мы забыли, что кому-то может повезти найти высококачественные сосновые заготовки длиной 2 м, чтобы сделать неразрезные полки. Либо кто-то решит, что сможет весьма качественно сделать сростку полок на длинный ус. В таких случаях отпадут проблемы, связанные с центральным соединительным узлом. Но вопросы организации надежной стенки лонжерона, особенно в центральной части крыла, останутся. Поэтому можно спрогнозировать, что в таком варианте лонжерон удастся облегчить максимум на 15 г. Это вполне значимая величина, особенно если вспомнить, что авиационные законы конструирования всегда утверждали, что килограммы складываются из граммов. Но сейчас для простоты (во имя которой делается просто немереное количество других откровенных глупостей) оставим все как есть.

А теперь – вновь внимание! Попытаемся оценить созданный нами лонжерон с иной точки зрения. Представьте себе, что мы начинаем последовательно выбрасывать из двухметрового лонжерона центральные (самые-самые увесистые!) участки. После этого состыковываем оставшиеся куски консолей с помощью новых узлов, которые окажутся несоизмеримо легче и проще – в полном соответствии с лонжероном, быстро «худеющим» по мере приближения к концам крыла. Теперь предположим, что мы оставили консоли длиной по 750 мм, выбросив по 250 мм из корневой части. Ушла полностью вся «коробка»! А перед нами вполне привычный лонжерон крыла размахом 1500 мм, только тщательно рассчитанный на излом при крайне малореальном стечении обсто-



ательств на скорости полета 120 км/час. Как вы думаете, какого он получится веса?

Другие полезные дополнения

Выше приведен расчет лонжерона для крыла, довольно экстремального по своим параметрам. Такое удлинение, сопровождающееся сравнительно тонким профилем, характерно скорее не для самолетов, а для планеров. Поэтому и лонжерон получился не слишком простым (хотя и технологичным), да и не слишком легким. Однако, создав подобную конструкцию, мы решили задачу, явно выходящую за рамки стандартных.

Теперь – о более привычных пропорциях крыльев. Научившись пользоваться элементарным сопроматом на достаточно сложном примере, просчитать лонжеронную схему для традиционного крыла будет гораздо проще. Изгибающие моменты там меньше, а строительная высота профиля больше. В результате отпадет необходимость в рассмотрении трех зон для консоли, и достаточно будет лишь посчитать полки и центральный узел. Не исключено, что получившиеся сечения вас сильно удивят. Но это будет означать только одно, – что вы постепенно учитесь реально оценивать тот совершенно бестолковый «запас прочности», который от незнания или по «интуиции» закладывается во многих и многих моделях.

Нужно отметить еще один факт. Кроме приведенного примера, предложенная методика позволяет точно рассчитать, например, Л-образную силовую кромку-лобик, которая применяется на ряде моделей и исключает применение обычного лонжерона. Для нахождения ее прочности достаточно опять найти расстояние между серединами сечений силовых панелей Л-образной кромки, и далее действовать, как в случае с обычными полками лонжерона.

Другой не менее интересный факт. Предложенная методика позволяет с легкостью сравнивать прочность классического двухполочного лонжерона, и сделанного из одной монолитной деревянной пластины. Уверяем вас, заняться таким делом не только интересно, но и полезно! Помните, что предел прочности древесины на изгиб в полтора раза выше прочности на сжатие? Тогда будет ясно, что в ряде случаев простенькая плоская «доска» может оказаться выигрышнее сборной конструкции из полок и стенок.

Хотите занятный пример? Представьте себе, что в центральной (и не только) части лонжерон выполнен не в виде довольно сложного переклея из полок и стенок, а представляет собою простейшую моно-пластину, не сопровождаемую никакими дополнительными элементами. Высота ее соответствует толщине профиля, а толщина, например, равна 5 мм. При условии изготовления лонжерона из сосны прочность пластины будет равна $600 \cdot 0,5 \cdot 3,5^2 = 612 \text{ кг} \cdot \text{см}$. Надеемся, комментарии здесь излишни?

Другой очень важный вопрос – гибкость крыла по размаху. Абсолютно жестких крыльев просто не существует в природе. Даже крылья современных кроссовых планеров, лонжероны которых могут включать в себя углепластиковые полки сечением 3x20 мм (!), гнутся весьма заметно. Короче, в той или иной степени гнутся все крылья. Другой вопрос, как и на что это влияет. В целом, гибкость крыла по размаху можно найти с помощью расчетов. Но, во-первых, это весьма трудоемкие и замысловатые выкладки. А во-вторых, в ряде случаев их достоверность получается не слишком высокой (вмешивается множество не учитываемых факторов – в первую очередь наличие жесткой и мягкой обшивки). Поэтому данная тема здесь вообще не рассматривается. Еще раз уточняем, – прочность и жесткость относятся к понятиям совершенно разнородным!

Напоследок – о влиянии жесткой обшивки (например, лобика) на изгибную прочность всего крыла. В ряде случаев (причем отнюдь не редких!) небольшое утолщение бальзовой обшивки может практически полностью исключить необходимость в лонжероне как таковом. Поэтому данному вопросу нужно было бы уделить достойное внимание. Но сейчас это выходит за рамки данной статьи. При желании вы сами можете, условно разделив обшивку на несущие и вспомогательные «пояса», попытаться прикинуть, какую нагрузку она способна воспринять. Правда, при рассмотрении этого вопроса всегда нужно иметь в виду один фактор. Чтобы надеяться, что расчет соответствует действительности, и обшивка сможет действительно воспринять нагрузки в полной мере, ее нужно либо подкреплять достаточно часто расположенными элементами внутреннего набора, либо надежно приклеивать к развитой пенопластовой «подложке». Кстати – именно по такой безлонжеронной схеме изготавливалось большинство крыльев для пилотажных моделей вчерашнего дня.

К остальным вопросам конструирования легкого крыла мы вернемся в одном из последующих номеров журнала.

Масштабирование

Это еще одно весьма интересное «боковое ответвление» от общей темы, способное дать весьма важные и полезные практические выводы. Попробуйте провести однонаправленное масштабирование, и предположить, что хорды крыла увеличились в два раза при условии сохранения относительной толщины профиля. Что произойдет? Площадь крыла вырастет в два раза. Аналогично изменится подъемная сила, а вместе с нею в два раза увеличатся и изгибающие моменты, так как размах крыла и плечи САХ сохранены без изменений. Здесь важно уточнить, – пока сечения деталей лонжерона мы не меняем.

Вместе с двукратным увеличением хорд точно так же изменится и толщина профиля, и расстояние меж-



ду серединами сечений полков лонжерона! То есть – на данной, выбранной нами ранее расчетной скорости полета условиям прочности полностью удовлетворит уже ранее спроектированный нами лонжерон, только скорректированный по толщине профиля!!

Если провести более тщательное исследование полученного результата, станет ясно вот что. Во многих зонах такого увеличенного крыла прочность лонжеронной системы станет даже избыточной. Ведь при двойном росте высоты простых пластинок, работающих на изгиб, их прочность увеличивается в 2^2 раз. Одновременно очень заметно повысится и жесткость лонжерона на изгиб (опять не путайте с прочностью!). Скромное замечание, – таким образом, мы получили лонжерон весом примерно 100 г для крыла, практически точно соответствующего профессиональным пилотажкам класса F3A...

Другой вариант – масштабирование полное. Переделаем наше исходное полупланерное крыло, приведя его размах к полутора метрам (коэффициент масштабирования равен 0,75). Площадь крыла, и подъемная сила упадут в $0,75^2$ раз. На 0,75 нужно скорректировать и плечи САХ. Соответственно, общий изгибный момент снизится в $0,75^3$ раз. А что произойдет с прочностью лонжерона? Представьте себе, что все его элементы также масштабируются точно в соответствии с размахом. Пропорциональное снижение сечения полков и расстояния между ними даст такой эффект, что общая прочность двухполочной системы также уменьшится в $0,75^3$ раз! А что произойдет с пластинчатыми элементами? Оказывается, после масштабирования и все они будут точно соответствовать условиям прочности, без малейшей коррекции.

Теперь стало понятно, почему встречающиеся иной раз в журнале разработки, основанные на «детском» масштабировании исходного аппарата, можно признать вполне грамотными? А на досуге попробуйте еще раз оценить потенциал приемов, основанных на масштабировании. Однако следует заметить, что этот метод требует весьма тонкого и осмысленного подхода, когда речь пойдет о жесткости, а также в тех случаях, когда масштабирование затронет элементы жесткой обшивки.

Дополнительные элементы

Наверное, обзор темы получится неполным, если не учесть, что в ряде решений все-таки используются металлические трубы и стержни. Расчет прочности на изгиб цилиндрических стержней производится по весьма простой формуле:

$$M_{\max} = 0,1 \cdot D^3 \cdot d_B, \text{ где}$$

M_{\max} – максимально допустимый изгибный момент, выраженный в кг · см

D – диаметр стержня (проволоки), выраженный в см (!)

d_B – предел прочности данного металла или сплава, выраженный в $\text{кг}/\text{см}^2$ (!)

Обратите внимание, что размерность величин соответствует нашей методике расчета, но может отличаться от той, что используется в современных справочниках (там принято прочность измерять в $\text{кг}/\text{мм}^2$, или вообще производных от единицы «Паскаль»). Кроме того, можно считать, что металл, не обладающий выраженной волокнистой структурой, на изгиб, растяжение и сжатие имеет практически одинаковый предел прочности.

Правда, приведенная формула отвечает лишь на вопрос, при каком усилии изгиба проволока сломается. Нас же, скорее всего, будет интересовать, когда проволока согнется так, что потом уже не сможет принять прежнюю форму. Для нахождения этой величины достаточно полученное значение умножить на практически стандартный коэффициент, равный 0,7. С металлами есть еще одна проблема. Они обладают таким свойством, как постепенная потеря прочности при многократных повторяющихся нагрузках. Учет этого фактора выходит за рамки данной статьи. Однако нужно помнить, что, например, если соединительный штырь крыла для пилотажной модели делается из проволоки, то при его расчете придется заранее закладывать дополнительные запасы прочности. Все сказанное в полной мере относится и к цилиндрическим трубам из металла, изгибная прочность которых определяется следующим образом:

$$M_{\max} = 0,1 \cdot D^3 (d^4/D) \cdot d_B, \text{ где}$$

M_{\max} – максимально допустимый изгибный момент, выраженный в кг · см

D – внешний диаметр трубы, выраженный в см (!)

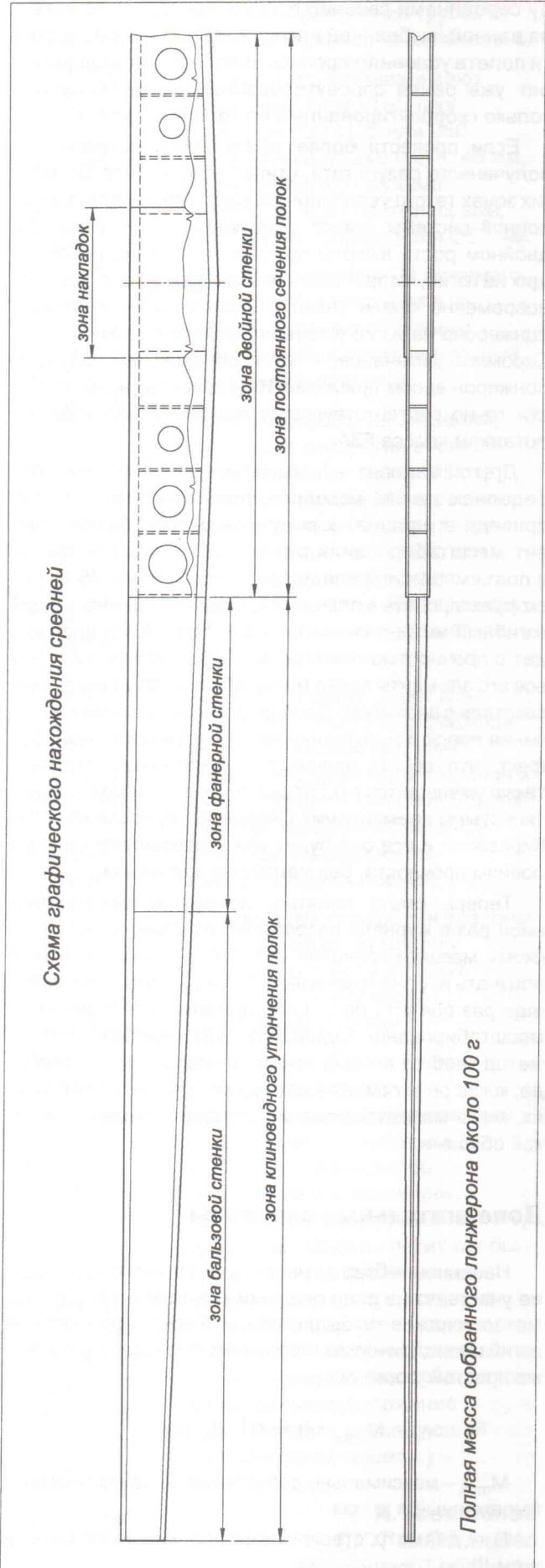
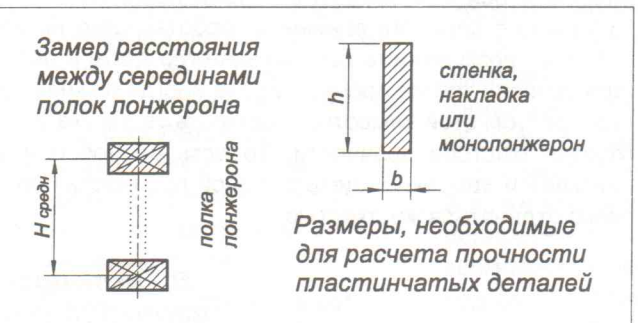
d – внутренний диаметр трубы, выраженный в см (!)

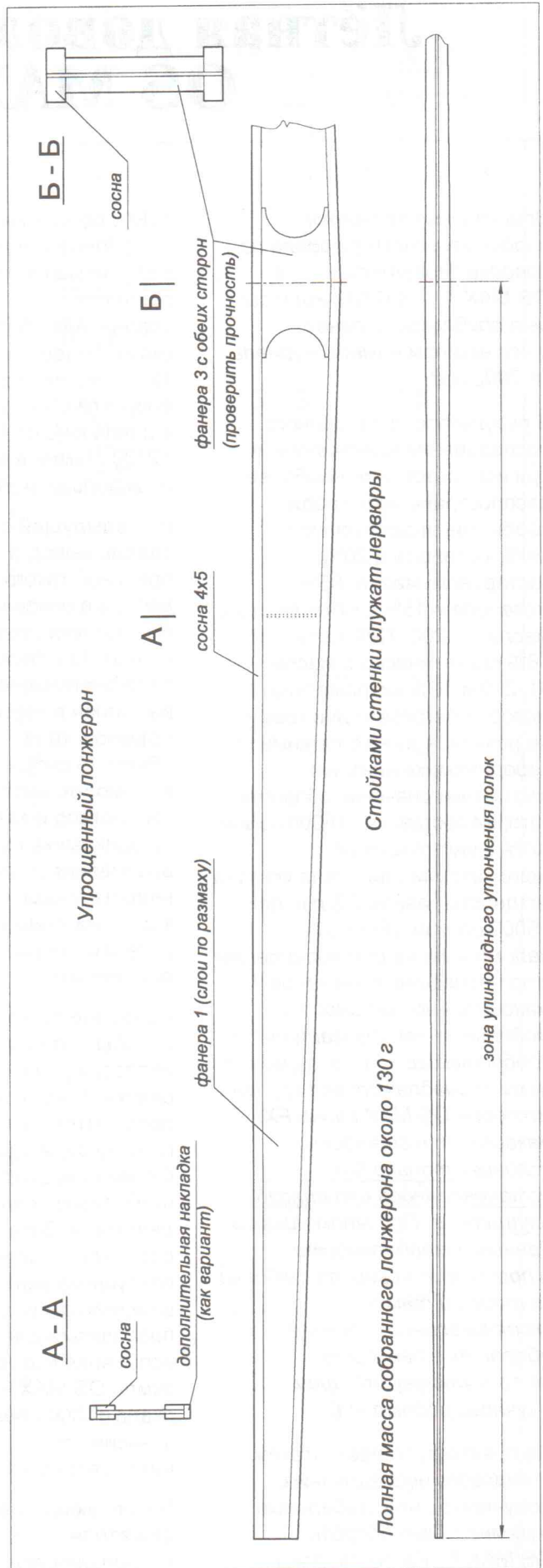
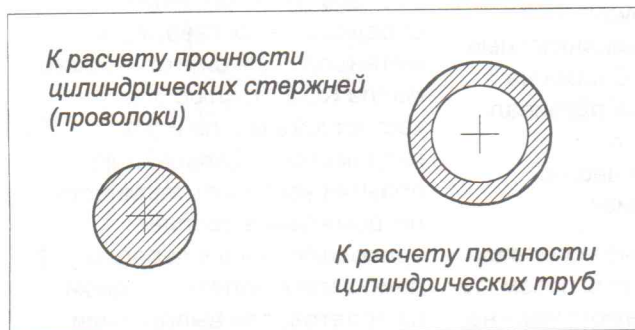
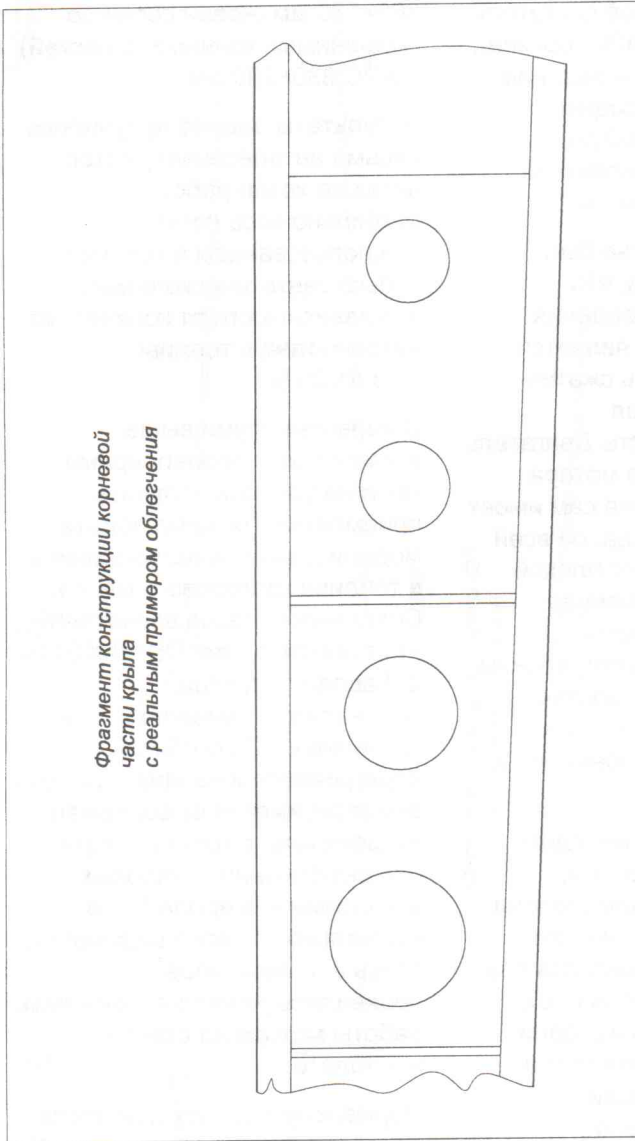
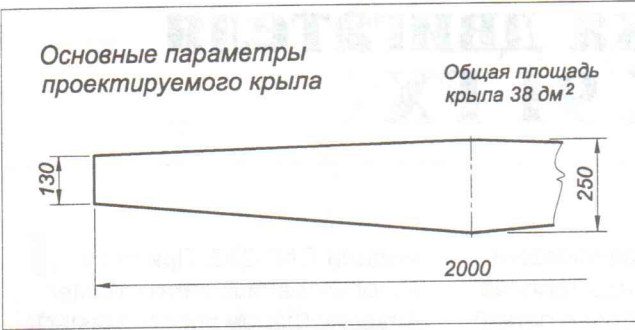
d_B – предел прочности данного металла или сплава, выраженный в $\text{кг}/\text{см}^2$ (!)

Осталось привести недостающие данные. Для стальной каленой проволоки ОВС при диаметре 2 мм и выше можно принимать $d_B = 15000 \text{ кг}/\text{см}^2$, и при этом помнить, что с ростом сечения проволоки эта величина снижается. Дюралюминиевые детали (Д16Т) можно рассчитывать, пользуясь значением $d_B = 4000 \text{ кг}/\text{см}^2$. Для сведения – углепластик имеет $d_B = 8000 \text{ кг}/\text{см}^2$ (конечно, при действии нагрузок вдоль волокон).

Еще полезно помнить, что в общем случае рост условной высоты (точнее, размера поперечного сечения, находящегося в плоскости действия изгибных нагрузок) любого силового элемента, работающего на изгиб, дает возможность сделать данную деталь легче (при условии той же прочности). Но иногда важнее то, что с ростом этой «высоты» жесткость увеличивается гораздо быстрее прочности. То есть равнопрочные «низкие» и «высокие» детали одной прочности будут резко отличаться жесткостью.

В. Тихомиров,
мастер спорта







Лётная доводка двигателя OS MAX 91 FX

Эта статья является продолжением материала по доводке двигателя OS MAX 91 FX RING, который был опубликован ранее в четвертом номере журнала за 2002 год.

В результате проведенного исследования выяснилось, что при использовании наиболее распространенных среди хоббистов видов топлива (80% метанола и 20% касторового масла; 85% метанола и 15% синтетического масла KL-200; 72% метанола, 18% синтетического масла KL-200 и 10% нитрометана) мотор перегревается и гремит, не развивая даже с легкими по аэродинамике винтами паспортных значений оборотов, которые составляют 16000 об/мин. Хотя в инструкции по эксплуатации двигателя указана мощность равная 2,8 л.с. при 15000 об/мин. (Еще раз напоминаем нашим читателям, что паспортные значения максимальной мощности модельные авиадвигатели хоббистского класса, а именно к нему принадлежит вся группа моторов OS MAX серии FX, развивают в стендовых условиях только без установленного штатного глушителя. При этом никаких данных о стабильности и продолжительности работы мотора на таких экстремальных для него оборотах в паспорте не присутствует! Прим. научного редактора)

На практике, по результатам стендового исследования получилось, что стабильные максимальные обороты OS MAX 91 FX составляют

12800 об/мин вне зависимости от используемого вида топлива. Если применяется более легкий пропеллер, то сначала идет увеличение оборотов двигателя (но не более чем 14000 об/мин), затем его перегрев и падение оборотов с их пульсацией в диапазоне от 12200 до 12700 об/мин в зависимости от используемого винта.

В предыдущей статье был сделан вывод о том, что причиной такого поведения мотора в основном является его высокая степень сжатия равная 13 и большая энергонапряженность. Двигатель выполнен в картере мотора объемом 10 см³ (хотя сам имеет объем 15 см³), откуда, по всей видимости, вытекают плохой теплоотвод и затесненная газодинамика по тракту всасывания и продувки, а также недостаточные прочностные характеристики отдельных деталей (гильза и коренной подшипник).

Наиболее простым методом борьбы с этим явлением, является уменьшение степени сжатия. Было показано, что дополнительная прокладка под головку цилиндра толщиной 0,4 мм приводит к некоторой стабилизации характеристик двигателя. Затем были определены серийные воздушные винты, с которыми в первую очередь будут проводиться дальнейшие летные испытания мотора. С ними на земле OS MAX 91 FX развивал около 11000 об/мин в зависимости от количества нитрометана в топливе.

Последующие летные испытания двигателя проводились летом в тридцатиградусную(!) жару на

модели CAP-232. При этом использовались винты Master Airscrew (далее просто Master) 330×150 мм, Graupner CAM Prop 360×150 мм (новой серии со скошенными концами лопастей) и APC 330×200 мм.

Результаты опытов получились весьма интересными. Мотор никак не хотел работать стабильно весь полет с использованием в топливе только синтетического масла вне зависимости от количества нитрометана в топливе: от 0 до 20 %.

С первыми двумя выше упомянутыми пропеллерами, так и не удалось получить приемлемого режима полета модели даже с использованием в топливе касторового масла. Создавалось такое впечатление, что в полете с ними OS MAX 91 FX добавлял оборотов, переваливал граничное значение в 12800 об/мин, перегревался и начинал греметь вне зависимости от содержания нитрометана в топливе. Хотя при выполнении стендовых испытаний все вроде было нормально. По всей видимости, здесь в полной мере проявились различия в режимах работы мотора на стенде и в полете.

Нормальную работу двигателя удалось наладить с винтом APC 330×200 мм и топливом следующего состава: 75% метанола, 15% синтетического масла KL-200, плюс 5% касторового масла и 5% нитрометана. Дальнейшие попытки увеличить количество нитрометана в топливе приводили лишь к перегреву двигателя в полете. В одном из полетов, при выполнении



обратного пилотажа на высоте примерно 15 м мотор просто заглох. Модель не дотянула до асфальтированной рулевой дорожки и села в поле на колеса. В результате такой посадки произошел кувырок самолета, и сломалось крыло. Опыт – сын ошибок трудных.

Летные испытания OS MAX 91 FX продолжились на Extra-300 L шестьдесят первого размера от корейской фирмы «ILSAN», на которой до этого успешно и без проблем использовался OS MAX 61 FX. На этой модели решено было проверить, как будет вести себя мотор с более тяжелыми винтами и другими типами свечей. До этого момента использовался только один тип свечи – OS MAX №3.

Наилучшие результаты двигатель показал с пропеллером Master 360×150 мм и свечой OS MAX №8. На земле в такой комбинации мотор развивает примерно 10500 об/мин. Этот винт и стал использоваться в дальнейших опытах с разными типами свечей и количеством нитрометана в топливе. Поведение мотора в полете несколько изменилось. Оптимум при 5% содержании нитрометана остался, а при 10 и 15% двигатель по-прежнему перегревался. С 20% нитрометана сложилось впечатление, что мотор начинал «замерзать» в полете.

Изменение степени сжатия мотора и замена свечей на другой тип ничего вразумительного не привнесли. Двигатель то перегревался, то замерзал и в итоге глох в полете. Три раза пришлось сажать Extra-300 L с заглохшим над полем двигателем. Хорошо, что все обошлось без больших поломок при жестких посадках модели на асфальт. Намаевшись с мотором и с нежеланием потерять еще один самолет, решено было в очередной раз

разобраться с этой проблемой сначала на стенде.

С этой целью были подобраны девять типов свечей от трех фирм, которые различались между собой по тепловому рейтингу и калильному числу. Эксперименты проводились с различным содержанием нитрометана в топливе: от 0 до 30%. Винт использовался прежний Master 360×150 мм, который хорошо зарекомендовал себя при летных испытаниях. Опыты проводились с геометрической степенью сжатия около 11,5, что соответствует установке под головку мотора дополнительной прокладки толщиной 0,3 мм, а также и с заводской степенью сжатия равной почти 13.

В таблице 1 представлены результаты испытаний. В столбце 5 приведена эффективная степень сжатия двигателя, которая вычисляется как сумма объемов от верхнего обреза выхлопного окна до верхней мертвой точки и камеры сгорания деленная на объем камеры сгорания. Именно по ней необходимо выставлять степень сжатия. Можно считать, что оптимальное значение ее лежит в пределах от 8,8 до 8,9 единицы.

Из результатов тестов видно, что наилучшие результаты показал мотор с горячими свечами. Прослеживаются два оптимума по содержанию нитрометана в топливе. Это 5% и 20% при которых, идет плавное увеличение оборотов двигателя. Если первый оптимум был подтвержден предыдущей летной практикой, то второй результат был показан впервые. Хорошо видна зависимость оборотов мотора от теплового рейтинга свечи, с топливом без нитрометана. Пример тому – данные со свечой Fire Power (столбец 6 таблицы 1).

С добавлением содержания нитрометана и с холодными

свечами картина поведения двигателя меняется, и понятных выводов по полученным данным сделано не было. На данном этапе опыты на топливе с содержанием нитрометана в 30% не были проведены, из-за того, что в предыдущих сериях с меньшим содержанием присадки мотор стабильно перегревался. Чем больше нитрометана, тем больше греется OS MAX 91 FX, хотя при 5% содержании было замечено улучшение теплового режима. Все это говорит о сложности и многофакторности процессов в двигателях внутреннего сгорания.

По результатам теста победителями, вышли все же свечи OS MAX №3 и №8. Хорошо себя показали также Erua №3 и Fire Power M7. Все они горячие и прилично работают со столь напряженным мотором. Необходимо также отметить, что в результате экспериментов все свечи остались целыми, и перед замером оборотов двигатель прогревался на режиме в течение одной минуты. *(Откровенно говоря, весьма спорный вывод, т.к. при сравнении результатов замеров приведенных в таблице 1, разница в оборотах при применении свечей других типов настолько невелика, что говорить о явной выгоде не приходится....)* Прим. научного редактора.)

Последующие испытания проводились на модели Kyosho Trener 40, которую в летном клубе «Вояж» прозвали «летающей лабораторией». На этом самолете ранее проводились тесты моторов объемом от 7,5 до 15 см³. Дополнительно менялись только свинцовые грузики с липучкой, которые применяются при балансировке автомобильных колес, устанавливаемые на хвосте модели для подгонки необходимого положения центра тяжести самолета.



На этой модели проверялись те же режимы работы OS MAX 91 FX, что и при проведении стендовых испытаний, только в основном на горячих свечах, хотя в отдельных полетах, были проверены и холодные свечи. Картина поведения двигателя повторилась, что и на предшествующих моделях CAP-232 и Extra-300 L. Хорошая работа мотора в полете наблюдалась с 5% и перегрев с 0; 10 и 15% нитрометана в топливе.

И все же было отмечено некоторое «замерзание» двигателя в полете при 20 и 25% нитрометана. Примером тому послужил такой случай, когда мотор заглох с 20% нитрометана в топливе и сразу после посадки самолета головку двигателя можно было зажать в кулаке, без последствий для здоровья. С 30% нитрометана двигатель работал лучше всех. Прекрасно держал низкие, средние и высокие обороты плавно увеличивал и уменьшал газ.

Если рассматривать общую мощность OS MAX 91 FX, то она по факту явно меньше заявленной в паспорте и соответствует, скорее всего, мотору с объемом около 12 см³. При выполнении моделью вертикальных маневров чисто визуально по динамике самолета можно сказать, что это похоже на то, когда на Kyosho Trener 40 стоял Irvine 72 с объемом 11,8 см³. (А вот здесь мы категорически не согласны с таким выводом. Двигатель тестировался с установленным штатным глушителем. А все диаграммы характеристик аналогичных двигателей класса хобби, рабочим объемом от 4 до 20 см³ ясно показывают, что при установленном родном глушителе максимально достижимые обороты в среднем на 2–3 тысячи оборотов ниже, чем декларируемые в паспорте. Причем в тестах проводимых

обозревателями уважаемых журналов из Англии и США полученные данные в виде диаграмм четко разделены на две категории: снятые без глушителя и с ним. И ни один из рассмотренных моторов в тестах не противоречит общестатистическим данным. Что и доказывают все полученные опытным путем факты! Автор статьи получил с глушителем максимальные стабильные 12800 об/мин, что полностью укладывается в статистику. Никаких чудес.... Прим. научного редактора.)

По предложению коллег по клубу, для «чистоты эксперимента» было решено испытать двигатель с заводской степенью сжатия, на топливе с содержанием нитрометана 30% и винтом Master 360×150 мм. Закончилось все плачевно. (А другого и быть не могло, да и «чистота эксперимента» весьма и весьма сомнительная, если не сказать бестолковая, ведь при такой зажатой камере рисковать с 30% нитрометана.... Прим. научного редактора). OS MAX 91 FX изменил режим работы при полете модели, а после посадки и разборки двигателя выяснилось, что образовались вертикальные задиры на поршне и гильзе, длинную по окружности 6–7 мм и симметричные относительно перегородки в выхлопном окошке гильзы. На этом все дальнейшие испытания с этим двигателем прекратились.

Из всего комплекса работ по определению рабочих режимов для OS MAX 91 FX можно сделать следующие заключения, что только для приемлемой работы мотора необходимо:

1. Подложить под головку цилиндра прокладку толщиной 0,25 или, в крайнем случае, 0,3 мм, но при этом мотор будет чуть-чуть недожат.

2. Убрать топливно-раздаточный узел с задней крышки мотора и вынести его из аэродинамической тени двигателя, а также поставить все резьбовые соединения на герметик. (При чем тут аэродинамика? Должна быть хорошая теплозащита узла питания для предотвращения нагрева топливной смеси через штатный кронштейн от горячей массивной дюралевой задней стенки. В данном случае это явная ошибка конструктора мотора. Прим. научного редактора.)

3. Эксплуатировать мотор на топливе не менее чем с 20% масла, в котором наряду с синтетическим будет присутствовать и касторовое масло по общему объему топлива от 5 до 10%.

4. Использовать топливо с содержанием нитрометана около 30%. Можно и 5%, но это значение несколько смещается в сторону 10% в зависимости от погоды и износа двигателя. (Первая рецептура подойдет тем, кому не жалко денег на такое топливо и кто спит и видит, как бы выжать последние крохи мощности из заурядного хобби-моторчика. Вторая рецептура рекомендована в паспорте к двигателю как, кстати, и пункт №3.... Прим. научного редактора.)

5. Применять винты, с которыми на земле мотор развивает не более 11000 об/мин и в полете не переваливает значения в 12800 об/мин.

6. Свечи необходимо ставить все же горячие, желательно OS MAX №8. (А здесь лучше ориентироваться на погодные условия по сезону и не лениться подбирать оптимальную свечу и регулировать настройки по месту. (Прим. научного редактора.)



Обсуждая результаты летных и стендовых экспериментов с друзьями по клубу, был подмечен такой факт, что подобная реакция на содержание нитрометана в топливе наблюдается и у вертолетного варианта такого двигателя, который установлен на модели вертолета одного и имеет карбюратор обычной конструкции.

Также мы пришли к заключению, что в настоящее время

из известных и доступных моторов (см. таблицу 2) нет хорошего и добротного двухтактного двигателя хобби-класса объемом более 12 см³. Поэтому, опираясь на личный опыт, советуем даже на модели шестьдесят первого и тем более девяносто первого размера ставить четырехтактные двигатели типа OS MAX 91 FS и OS MAX 120 FS или Saito 180. Получается более эффективный и надежный вариант самолета. Все это конечно справедливо,

если не использовать спортивные двухтактные моторы фирм Rossi, Yamada или OS MAX с резонансными глушителями. В погоне за спортивным стилем полетов (как F3A, 3D-пилотаж и крупномасштабные модели с искровыми бензиновыми мотоустановками) похоже, осознанно напрашивается применение вышеупомянутых двигателей.

А.Шишов

Таблица 1.

ОБОРОТЫ ДВИГАТЕЛЯ OS MAX 91 FX С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ, ТИПАМИ СВЕЧЕЙ И КОЛИЧЕСТВОМ НИТРОМЕТАНА В ТОПЛИВЕ

Тип свечи	Comparative heat rating	Standard heat rating	Геометр. степень сжатия	Эффектив. степень сжатия	15% KL-200, нитро-на 0%	15% KL-200, нитро-на 5%	18% KL-200, нитро-на 10%	18% KL-200, нитро-на 15%	23% KL-198, нитро-на 20%	23% KL-198, нитро-на 25%	23% KL-198, нитро-на 30%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Еnya №3	Hot	-	11.46 12.96	8.63 9.73	10290	10380	10320	10500 10590	10530	10560	10710
OS MAX №3	Hot	-	11.46 12.96	8.63 9.73	10320	10620	10530	10590 10720	10630	10740	10830 10960
OS MAX №8	Hot	-	11.46 12.96	8.63 9.73	10260	10500	10380	10560 10650	10620	10680	10800 10920
Fire Power M7	Hot	69	11.46	8.63	10470	10560	10260	10410	10560	10680	10740
Fire Power M6	Warm	60	11.46	8.63	10380	10530	10200	10260	10530	10650	10560
Fire Power M5	Medium	51	11.46	8.63	10320	10440	10380	10490	10200	10340	-
Fire Power F4	Cool	45	11.46	8.63	10260	10200	10350	10500	10520	10560	-
Fire Power F3	Cold	36	11.46	8.63	10140	9840	9960	10260	10280	10320	-
Fire Power F2	Extra cold	27	11.46	8.63	10080	9530	9660	9980	9840	9770	-

Таблица 2.

ПАСПОРТНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Тип мотора	Диаметр цилиндра, мм	Ход поршня, мм	Объем цилиндра, см ³	Объем камеры сгорания, см ³	Геометр. степень сжатия	Эффектив. степень сжатия	Мощность, л.с., при об/мин	Практические обороты, об/мин	Вес двигателя, Грамм	Стоимость, у.е.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OS MAX 65 LA	24	24	10.85	0.95	12.4	9.2	1.7 при 16000	2000-16000	535	168
OS MAX 91 FX	27.7	24.8	14.95	1.25	13	9.7	2.8 при 15000	2000-16000	550	320
Irvine 72	25	24	11.78	1.1	11.7	8.6	раб. об/мин 8000-13500	2800-20000	-	173
MVVS 77	-	-	12.75	1.3	10.8	-	2.25 при 13000	-	549	135
MVVS 91	-	-	14.9	1.65	10	-	2.45 при 11000	-	552	180
SC 91	27.3	25.5	14.93	-	-	-	2.6 при 15000	Раб. об/мин 2000-11500	825	140
SC 108	28.5	27	17.22	-	-	-	2.86 при 16000	Раб. об/мин 2000-9500	835	160
OS MAX 70 FS	25.8	22	11.5	1.44	9	9	1.1 при 11000	2000-12000	570	370
OS MAX 91 FS	27.7	24.8	14.95	1.92	8.8	8.8	1.6 при 11000	2000-12000	630	420



Как работает карбюратор?

Наконец-то редакция получила первый отклик на свой «воплъ с просьбой о помощи», что был опубликован в номере 3-2002. Однако, по мере чтения материала, предложенного нам авиатехником Алексеем Самсоновым, все больше становилось понятно, что, к сожалению, ситуация пока проясняться не собирается...

Несмотря на это, мы все же публикуем его письмо, лишь подсократив за счет изъятия фрагментов, представляющих собою откровенную азбуку моторостроения, либо не имеющих прямого отношения к обсуждаемой теме (таких, как, например, описание работы мотоциклетного карбюратора).

Кроме того, мы позволили себе в разрывах авторского текста поместить пояснения наших консультантов. Таким образом, вы сможете сразу сами оценить, что так, а что не очень. Мнения редакционных консультантов выделены курсивом (наклонный шрифт).

Двигатель внутреннего сгорания, как на радиоуправляемых моделях, так и в большой технике, работает в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов. Карбюратор должен обеспечивать хорошее смесеобразование и оптимальный состав смеси на каждом из них, а также при переходе с одного режима на другой. Карбюратор служит для образования топливно-воздушной смеси, регулирования ее состава и ее количества, подаваемого в двигатель.

Для каждого режима выбирается свой состав горючей смеси. Для его оценки обычно используется коэффициент избытка воздуха:

$$a = G_B / (G_T L_0), \text{ где}$$

G_B – расход воздуха, кг/час; G_T – расход топлива, кг/час; L_0 – расчетное количество воздуха, необходимое для сжигания 1 кг топлива (эта величина зависит от химического состава топлива)

В приведенной ниже таблице даны примерные значения коэффициента избытка воздуха для различных режимов работы ДВС.

Режим	a
Холостой ход	0,8 – 1,05
Средние нагрузки	1,05 – 1,25
Полная мощность	0,85 – 0,95

Большинство ДВС, применяемых в моделизме, относятся к двухтактным двигателям и по принципу работы ничем не отличаются от своих «собратьев», применяемых, например, на мотоциклах или бензопилах.

По общему, «глобальному» принципу работы – да. А вот если начать разбираться в тонкостях, то они могут оказаться сильно отличающимися. Кстати – уже не раз случалось, что приемы, с успехом использованные при создании больших двигателей, дают отрицательный эффект в модельном моторостроении.

Соотношение топливо / воздух в горючей смеси для двухтактных ДВС (каковыми и является большинство модельных двигателей) на всех режимах должно быть 1/12 – 1/15.

Это точно. Только приведенные цифры относятся к бензиновым смесям. А как говорит автор, есть такое понятие, как «расчетное количество воздуха, необходимое для сжигания 1 кг топлива (величина которого зависит от химического состава топлива)». Так вот (скажем теперь так, – «в связи с иным химическим составом»), метанольные топлива работают при иных соотношениях. Для них нормальной является пропорция 1/6-1/7. Громадный массовый расход метанола вместе с характерной для этого спирта весьма высокой теплотой испарения и позволяет модельным двигателям устойчиво работать на таких режимах, какие и не «снились» бензиновым моторам.

Изменение оборотов двигателя производится с помощью дроссельной заслонки. Чем больше она открыта, тем больше количество воздуха, поступающего через карбюратор в двигатель. Следовательно, тем больше топлива должно поступать через жиклер.

Правда, если двухтактный двигатель имеет малый объем цилиндра (и малый объем картера), то удовлетворительные результаты можно обеспечить лишь за счет частичного перекрытия входного канала перед топливным жиклером.

Очень близкие «удовлетворительные» результаты можно получить и на современном двигателе объемом 10 см³, – если не поленишься, и попробовать снабдить его управляемым карбюратором подобного типа. Не советуем.



Такие карбюраторы применялись в 70-80 годы в различных кружках для двигателей МК-17 и МК-12. Во «взрослой» же технике дросселирование только по воздуху использовалось на двигателях Д-4 и Д-6 для мотовелосипедов. С увеличением объема ДВС дросселирование «только по воздуху» не дает удовлетворительных результатов.

Некорректно. Здесь нет связи с кубатурой модельного двигателя. Дело лишь в классе двигателя, и, кроме того, в том, калильный он или компрессионный (да еще, возможно, в эпохе и уровне его разработки). А кубатура здесь ни при чем.

Понятно, что кроме изменения расхода воздуха, для сохранения оптимального состава горючей смеси необходимо изменять и количество топлива, проходящего через жиклер. С такими задачами полностью справляются карбюраторы, давно и успешно применяемые на мотоциклетных двигателях. Однако для радиоуправляемых моделей они не подходят, так как могут работать только в одном положении из-за наличия поплавковой камеры, а изготовление такого миниатюрного карбюратора для модельного ДВС весьма сложно и может увеличить стоимость двигателя в несколько раз. Кроме того, топливо к двигателям на моделях подается самотеком.

Не только не корректно, ни и просто неверно! Практически нигде на моделях оно не подается самотеком! Основная часть объема топлива идет к карбюратору за счет всасывания (если только не используются экзотические системы принудительной подачи под высоким давлением). Одно лишь всасывание топлива обеспечивает полную работоспособность, например, двигателей на кордовых пилотажных моделях (несмотря на радиальную перегрузку, равную примерно 7g, бак вырабатывается до конца даже с уровня, уже весьма далекого от уровня «самотека»). Точно так же происходит и на множестве других моделей. В том числе и на радиоуправляемых, где на вертикальных фигурах уровень топлива может располагаться чуть ли не на 200 мм ниже жиклера (а на нисходящих фигурах наоборот!). При этом заметьте, что далеко не все спортсмены пользуются наддувом бака.

Заметьте, – даже МК-12В, если находится в сносном техническом состоянии и стабильно работает на приличных оборотах, не чувствует влияния напора топлива, соответствующего изменению высоты расположения бака на $\pm 70-80$ мм. А попробуйте-ка хотя бы на 5-10 мм изменить высоту расположения поплавковой камеры на мотоцикле (на многих гоночных болидах поплавковая камера выполнена отдельно от карбюратора)!

или под давлением от выпускной системы.

Существуют и беспоплавковые образцы, разработанные лет 30 назад для бензопил, и получившие название «мембранные карбюраторы». Они нечувствительны к изменению ориентации в пространстве. У них отсутствует поплавковая камера, зато есть специфический мембранный топливный насос, который работает за счет пульсаций давления в картере работающего двухтактного двигателя. Применение таких карбюраторов на модельных двигателях мало реально из-за сравнительно небольшого объема картера и сложности изготовления в миниатюрном варианте.

Это уж точно неверно. В моделистской практике уже давным-давно применяются серийно выпускаемые моторы, весьма удачные, и достаточно распространенные, которые имеют мембранный топливный насос, смонтированный в объеме задней стенки картера.

Описанные же в №3 журнала карбюраторы для модельных ДВС, – пример конструкторского решения, позволившего обойтись без многих узлов, присутствующих в мотоциклетном варианте, при максимальной простоте и технологичности изготовления и регулировки. Функции обеспечения нормального состава горючей смеси на промежуточных режимах работы двигателя здесь возложены на иглу регулировки холостого хода

Неточность. На самом деле, на авиамодельном двигателе нет ни иглы регулировки холостого хода, ни самого холостого хода. Это не какие-то тонкости специфики «отраслевой» терминологии. Это простая логика. Авиамодельный двигатель вращает воздушный винт, который даже на малом газу двигателя потребляет немало мощности. Поэтому холостой ход на наших моторах не может существовать принципиально (кажется, холостого хода нет и на настоящих самолетах). Исключение составляют лишь модели вертолетов (где, кстати, и карбюраторы в большинстве случаев явно не хоббистского типа).

а дроссельная заслонка является одновременно смесительной камерой карбюратора.

При работе ДВС на максимальных оборотах дроссельная заслонка полностью открыта, и воздух беспрепятственно проходит по входному каналу карбюратора. Соответственно, количество воздуха, поступающего в двигатель, максимально. Главной иглой отрегулировано количество топлива, соответствующее этому количеству воздуха. Теперь начнем закрывать дроссельную заслонку. За входной щелью, в смесительной камере, увеличивается разрежение.

Именно здесь автор как бы не заметил того, что было сказано в журнале №3-2002. Ведь именно



эта фаза работы модельного карбюратора представляет наибольшие проблемы!

Кто сможет четко утверждать, что за входной щелью разряжение будет увеличиваться, а не уменьшится!? Ведь, во-первых, обороты двигателя и расход воздуха снизились. А во-вторых, никак нельзя забывать о наличии второй, выходной щели, которая закрывается синхронно со входной! Именно этим обычный модельный карбюратор существенно (если не принципиально!) отличается от мотоциклетного. Если мотоциклетный даже и имеет близкую общую схему (когда воздушный поток одновременно дросселируется перед жиклером и за ним), то практически никогда в нем закрытие щелей не происходит синхронно! Интересно, что практически во всех случаях заслонка, расположенная за распыляющим отверстием, на мотоциклах закрывается гораздо раньше, чем расположенная перед ней. То есть там заметно, что конструктора активно борются с разряжением, которое могло бы образоваться перед передней заслонкой.

Самое интересное, что мотоциклетный карбюратор, имеющий в целом гораздо более замысловатую конструкцию, несравненно более прост в понимании его работы. При его рассмотрении, действительно, можно четко сказать, что здесь в данной фазе образовалось повышенное разряжение, а там выросло давление. Модельный же карбюратор, состоящий буквально из трех-четырех деталей, такого простого подхода не прощает.

До определенного момента дросселирование осуществляется «только по воздуху», затем в отверстие жиклера входит вторая игла и при дальнейшем закрытии дроссельной заслонки дросселирование двигателя идет и по воздуху, и по топливу.

Если бы второй иглы не было, диапазон регулировок двигателя оказался бы гораздо меньше, а нормальный состав горючей смеси обеспечивался бы только на режиме максимальной мощности. Ведь разрежение в смесительной камере возрастает, и попутно уменьшается расход воздуха, а проходное сечение жиклера остается неизменным, что при подаче топлива самотеком или под давлением приведет к переобогащению горючей смеси.

Если бы все на самом деле было так просто и хорошо... Но здесь опять вся логика строится на «самотечной» подаче топлива (или все-таки под давлением?)...

Если конусность второй иглы подобрана конструктором правильно, и положение этой иглы правильно отрегулировано моделистом, то количество топлива, поступающего через жиклер, будет также увеличиваться пропорционально расходу воздуха. То есть будет обеспечен оптимальный состав горючей смеси вплоть до полного открытия дроссельной

заслонки (на режиме максимальных оборотов состав смеси отрегулирован главной иглой). В противном случае, при резком открытии дроссельной заслонки возникнет «провал» (если игла слишком ввернута, – смесь бедная) или двигатель с рокотом будет медленно набирать обороты (если игла чересчур вывернута, – смесь богатая).

* * *

Теперь попробуем ответить на вопросы журнала №3-2002. В статье взяты на вооружение следующие неверные рассуждения:

- С уменьшением оборотов уменьшается «всасывание топлива через жиклер». На самом деле топливо к двигателю обычно подается самотеком или под давлением от глушителя.

С этой, скажем так, «логической неточностью», мы уже разобрались. Понятно, что авторский тезис, будь он верен, упростил бы все дело. Жаль, что он не соответствует действительности...

- Уменьшается расход воздуха, что при описанном выше способе подачи топлива на его поступление в смесительную камеру не особо влияет.

Из нас никто так и не смог понять, что заставило автора сделать столь неожиданный вывод. Ладно, еще если бы топливо гипотетически подавалось под сравнительно высоким давлением от топливного насоса, или же шло от надувного топливного бака-соски. Но самотеком... Да в таком случае на него достаточно строго посмотреть, и оно уже заструится по-другому!

- Кроме того, увеличивается скорость потока в районе входной щели и разрежение за входной щелью, что скорее влияет не на всасывание топлива, а на его смешивание с воздухом.

Опять забыто, что обороты двигателя упадут вместе с расходом воздуха... И опять не учтен мощнейший фактор второй, выходной щели. Именно из-за нее в зоне, называемой «смесительной камерой» давление, скорее всего не упадет, а вырастет!

- При полузакрытой дроссельной заслонке сначала скорость воздушного потока возрастает в районе входной щели, затем падает в смесительной камере, затем снова возрастает в районе выходной щели.

По-другому, похоже, и быть не может (хотя чего на свете не бывает...). Вопрос в другом, – ну и что из этого? Правда, нужно отметить – здесь автор сам совершенно верно отмечает, что скорость потока, возрастая в зонах щелей, падает в смесительной камере. Но... ведь падение скорости всегда однозначно сопровождается ростом давления! То есть, даже если уйти от действительности, и предположить, что топливо пода-



ется самотеком, то и тогда ведь смесь должна обедняться!

• Глушитель работает скорее как ресивер, соединенный с компрессором. Так что давление в нем не так сильно зависит от оборотов двигателя и меняется не столь резко. Кроме того, отверстие отбора давления в топливный бак обычно гораздо меньше по диаметру отверстия выхлопного патрубка.

Надеемся, здесь автор не пытается связать соотношение диаметров упомянутых отверстий с давлением? Но если такой ошибки он не совершил, то тогда зачем вообще зашел разговор об этих отверстиях?

Есть и еще одна закавыка. Предположим, что мы согласны с автором в том, что глушитель чем-то напоминает ресивер (напомним, что ресивер применяется только для сглаживания пульсаций давления, но отнюдь не для его «хранения»). Но почему он считает, что если качать в ресивер редко и помалу, то в нем будет почти то же давление, что и при частой и интенсивной работе? Нет, конечно, у ресивера задержка реакции существует. Но ведь все равно адекватная реакция наступает. Так что же, считать, что глушитель способен хоть на секунду удержать созданное в нем ранее давление? Но это же несерьезно...

Таким образом, на вопрос «Почему при снижении оборотов двигателя смесь обогащается настолько, что с этим нужно бороться за счет применения «вторых игл»» можно ответить так. Потому, что со снижением оборотов двигателя уменьшается расход воздуха, а поступление топлива изменяется в гораздо меньшей степени.

Да вот именно этот эффект и вызвал все наши основные вопросы! Именно его мы и просили объяснить! А здесь, к сожалению, приведено «объяснение» типа «все так потому, что именно так, а не иначе».

В целом, к сожалению, надо признать, что все вопросы, заданные читателям в прошлом номер, остались по-прежнему без конкретных ответов. Получен материал, так ниче-

го и не объяснивший. Надеемся все-таки, что он будет интересен многим моделистам, как говорится, «для развития и раскочки мозгов». Ну а на поставленные редакцией вопросы мы по-прежнему ждем квалифицированных ответов.

Дополнение. Понять, что модельные карбюраторы не относятся к «самотечным», поможет простой пример. Возьмем двигатель рабочим объемом 10 см^3 , работающий на 15000 об/мин, и имеющий проходную площадь управляемого карбюратора в пределах 58 мм^2 (довольно распространенный «стандартный» вариант $\varnothing 9 \text{ мм}$, плюс поперечная трубка $\varnothing 3,5 \text{ мм}$, доходящая до оси воздушного потока). Расчетная скорость воздушного потока будет равна $0,00001 \text{ м}^3 \cdot 250 \text{ об/с} / 0,000058 \text{ м}^2 = 43,1 \text{ м/с}$.

А теперь, – внимание! На данной скорости воздушного потока можно достичь максимально-го разряжения всасывания топливной смеси, равного 116 кг/м^2 , или, что то же самое $0,116 \text{ атм}$! Перейдя к другим размерностям, можно сказать, что такое разряжение соответствует высоте столба жидкого топлива примерно 130 см! На практике такое не обеспечивается (а кто-то это

Ф.СП-1	Министерство связи РФ ГСП "Моспочтамт"		48999								
	АБОНЕМЕНТ на журнал «МОДЕЛИЗМ – СПОРТ И ХОББИ»		(индекс издания)								
(наименование издания)		количество комплектов									
на 19____ год по месяцам:											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда		(почтовый индекс)			(адрес)						
Кому		(фамилия, инициалы)									
ДОСТАВочНАЯ КАРТОЧКА											
ПВ	место	ли-тер	на журнал		48999						
						(индекс издания)					
						«МОДЕЛИЗМ – СПОРТ И ХОББИ»					
						(наименование издания)					
Стоимость	по каталогу	руб. ____ коп.		Кол-во комплектов							
	за доставку	руб. ____ коп.									
на 19____ год по месяцам:											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда		(почтовый индекс)			(адрес)						
Кому		(фамилия, инициалы)									



проверял?). Дело вот в чем. Прежде всего, достигаемая степень разряжения зависит от того, как конструктивно оформлена распыляющая зона жиклера, и как она ориентирована относительно воздушного потока. И еще, конечно, нужно помнить, что падение оборотов двигателя (соответственно, и расхода воздуха) всего в полтора раза приведет более чем к двукратному ухудшению условий всасывания топлива.

Самый неблагоприятный с этой конструктивной точки зрения вариант – именно мотоциклетный, где жиклер фактически не выступает из стенки смесительной камеры. Но сразу отметим, что мотоциклетному мотору с его поплавковой камерой совершенно не нужны столь высокие разряжения по топливу. Общая схема его работы давно уже отлажена и отработана, и, похоже, удовлетворяет всем основным требованиям даже на суперных гоночных мотоциклах. Но одновременно эта схема работы явно и заметно отличается от авиамодельных двигателей. Поэтому сравнивать мотоциклетные карбюраторы с модельными не то чтобы неправомочно, но, по крайней мере, некорректно – слишком разные условия

и конструктивное исполнение. Именно поэтому на модельных моторах, где в действительности не присутствует ни эффект «самотека», и где нет поплавковой камеры, стабильность подачи топлива обычно обеспечивается за счет высокого разряжения по топливу. И опять же именно поэтому лучше всего на моделях работают карбюраторы с соответственно спроектированным распыляющим узлом. Это нужно знать, и это нужно понимать.

А то, что отбор давления от стандартного модельного глушителя способен обеспечить основное давление для подачи топлива – миф. На самом деле отбор давления от глушителя помогает лишь немного стабилизировать подачу топлива, но не более того. И в основном такой «наддув» бака применяется только для того, чтобы не искать проблем с подбором места и положения торцевого среза дренажной трубки бака (а это процесс непростой). Если считать иначе, не удастся объяснить, почему без «наддува» бака мотор работает практически так же, как и с ним, да еще и при неизменном положении главной иглы. «Наддув» (да и то лишь, если действительно считать его мало зависящим от оборотов!?) спосо-

бен реально проявить себя только на режимах, близких к малому газу (когда, наконец, давление наддува можно хоть как-то сопоставить по величине с разряжением всасывания топлива в карбюраторе). Но ведь это уже обсуждалось в предыдущем номере нашего журнала, причем именно это и является весомой частью общей проблемы, решение которой мы по-прежнему все еще ищем.

Тем, кто захочет подробнее ознакомиться не только с принципами работы мотоциклетных карбюраторов, но и почерпнуть множество если не полезной, то крайне интересной информации, мы рекомендуем попытаться раздобыть отличную книгу «Гоночные мотоциклы» (В.В.Бекман, изд. «Машиностроение», 1983 год). Это издание было выпущено достаточно большим тиражом – 40000 экз. Поэтому даже сегодня ее можно встретить в библиотеках.

ПРОВЕРЬТЕ ПРАВИЛЬНОСТЬ ОФОРМЛЕНИЯ АБОНЕМЕНТА!

На абонементе должен быть проставлен оттиск кассовой машины.

При оформлении подписки (переадресовки) без кассовой машины на абонементе проставляется оттиск календарного штампа отделения связи. В этом случае абонемент выдается подписчику с квитанцией об оплате стоимости подписки (переадресовки).

Для оформления подписки на газету или журнал, а также для переадресования издания бланк абонемента с доставочной карточкой заполняется подписчиком чернилами, разборчиво, без сокращений, в соответствии с условиями, изложенными в каталогах «Роспечати».

Заполнение месячных клеток при переадресовании издания, а также клетки «ПВ—МЕСТО» производится работниками предприятий связи и «Роспечати».

Чемпионат мира по радиобою 2002

Фоторепортаж с WASG 2002 из Чехии

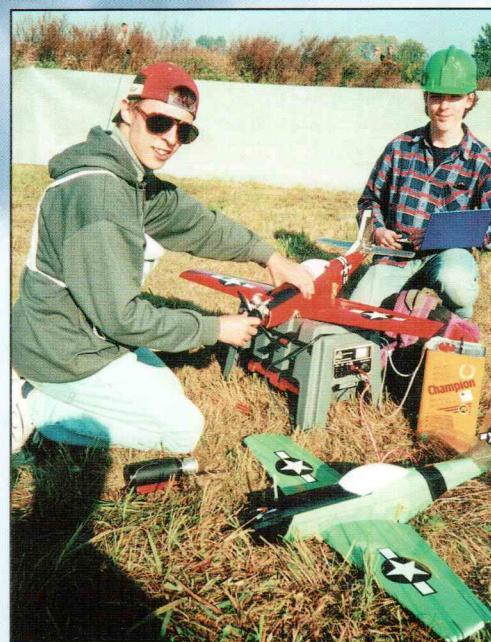


Боевые «паркфлаеры» принимавшие участие в показательных выступлениях перед официальными соревнованиями. Управление по трем каналам. Мотоустановка - электродвигатель серии 280+ редуктор.

Один из образцов наборов, предлагавшихся к покупке от чешских фирм-спонсоров соревнований. Фюзеляж, капот и крыло выполнены из стеклопластика, горизонтальное оперение и рули бальзовые. Цена набора 90 евро.



Финалисты чемпионата со своими моделями и наградами.



Спортсмены из Польши готовятся к полету в туре. Техника самодельная, самолеты изготовлены из пенопласта и бальзы и оклеены цветным широким скотчем по всем поверхностям. Как говорится: дешево и сердито...



Награждение первой тройки победителей WASG сезона 2002 года.



А один не вернулся из боя...

Модели наших читателей из г. Петрозаводска



Экипаж в составе Виктора Ганцева и Олега Подкопаева на Кубке России 2002 г. в классе F-3-D, проходившем в г.Владимире занял третье место.



Владимир Боев с планером класса F-3-J собственной конструкции участвовал в соревнованиях «Онежские старты».



Олег Подкопаев и Виктор Ганцев с радиогоночными моделями харьковского производства во время своей очередной тренировки.



Руководитель авиамодельной лаборатории г. Петрозаводска Олег Подкопаев и спортсмен Владимир Боев со своей моделью планера.



Модель «летающее крыло» разработки 2000 года, применяется местными моделистами как радиобойцовка. Скоростной и маневренный аппарат. Размах крыла 1100 мм, вес 950 г, мотор 3,5 см³.



Оригинальная разработка авиамоделиста Арсения Парамонова «фан-флай» на поплавках «Титаник»! Вид после неудачной посадки на воды Онежского озера.