

УДК 004.92, 621.7.072

Формирование подхода к автоматизированному макетированию крупногабаритных объектов

С.В. Мартынова

Аннотация

В статье рассматривается формирование подхода к автоматизированному макетированию крупногабаритных объектов. Приведена классификация макетов, выполнен анализ существующих методов макетирования, выявлена область применения методики автоматизированного макетирования крупногабаритных объектов. В рамках исследования предложена методика макетирования и разработан программный модуль Макет.

Ключевые слова: авиация; каркас; макетирование; методика; модуль; поверхность; система геометрического моделирования; точность.

Макет изделия может выполнять множество функций: проектную, исследовательскую, корректирующую, эвристическую, прогностическую, демонстрационную, учебную и другие функции.

Условно макеты можно разделить на технические, презентационные и рабочие (рис.1).



Рисунок 1- Виды макетов

Технические макеты предназначены для моделирования или демонстрации технологических, природных процессов. Презентационные макеты могут являться уменьшенной или полномасштабной копией разрабатываемого изделия, позволяющей продемонстрировать геометрическую форму, компоновку или принцип работы механизма, предприятия [1]. К рабочим макетам относятся модели для гидро-, газодинамических исследований, экспериментальные модели и мастер-модели эталонных поверхностей, применяемых на стадии технической подготовки производства для изготовления пресс-форм, штампов, матриц, шаблонов, опытных образцов (рис. 2).



Рисунок 2 - Этап создания макета в цикле изготовления ЛА

Авиастроение – одна из областей, где создание макетов крупногабаритных объектов является актуальной задачей. Объектами макетирования могут являться самолеты целиком или поагрегатно. Областью применения макетов в авиации очень широка, это могут быть выставочные макеты отсеков самолетов или полномасштабные модели, модели для продувок, проверки компоновочных решений, увязки элементов.

На рисунке 3 представлена классификация самолетов по характерному размеру (диаметру) фюзеляжа и нагрузке на крыло - одному из основных параметров определяющем характеристики самолета. Данная классификация позволяет выделить области полного либо частичного макетирования объектов предлагаемым методом. Для определения области

применения методики макетирования вводятся ограничения по диаметру (характерному размеру) фюзеляжа.

Ограничение Γ_1 в 2,5 метра обусловлено размером заготовок материала, доступностью поверхностей при ручной доработке поверхности, требованиями к транспортировке в кузове транспортного средства с грузоподъемностью до 2 тонн.

К самолетам с диаметром фюзеляжа до 2,5 метров и нагрузкой на крыло до 400 кг/м^2 относят беспилотные ЛА, легкие многоцелевые, прогулочные и акробатические самолеты, самолеты местных авиалиний.

Ограничение Γ_2 в 4,5 метра обусловлено возможностью технологического членения по оси симметрии, возможностью транспортировки с помощью транспортного средства с грузоподъемностью до 6 тонн, хранение и сборка ангарах (цехах) с пролетом не более 10 метров, использование стандартного оборудования при доработке поверхности.

К самолетам с диаметром фюзеляжа от 2,5 метров до 4,5 метров и нагрузкой на крыло до 450 кг/м^2 относятся ближнемагистральные самолеты

Ограничение Γ_3 в 5,5 метров обусловлено возможностью технологического членения на 3 и более элементов, возможность транспортировки с помощью спец. транспорта, хранение и сборка в ангарах (цехах) с пролетом более 10 метров, использование нестандартного оборудования при доработке поверхности.

Технологические особенности методики (размер заготовок, доступность поверхностей), требования к транспортировке и хранению приводят к выделению области макетирования с ограничением в 2,5 метра. Такие самолеты рассматриваются как объекты, которые возможно макетировать без технологического членения. Макетирование самолетов с диаметром свыше 2,5 метров возможно, но требует дополнительного технологического членения.

Следующим доводом рассмотрения объектов макетирования с ограничением в 2,5 метра (легких самолетов) является широкое применение композиционных материалов именно в самолетах этой размерности. Актуальным вопросом является изготовление макетов в качестве оснастки для производства изделий из композиционных материалов (КМ). Одной из наиболее распространенных технологий изготовления объектов из КМ считается технология контактного формования. Основой технологии является прототип изделия (макет). Макет применяется в качестве эталона поверхности для снятия «негатива» – матрицы, которая является оснасткой и создает форму для изготовления изделий.

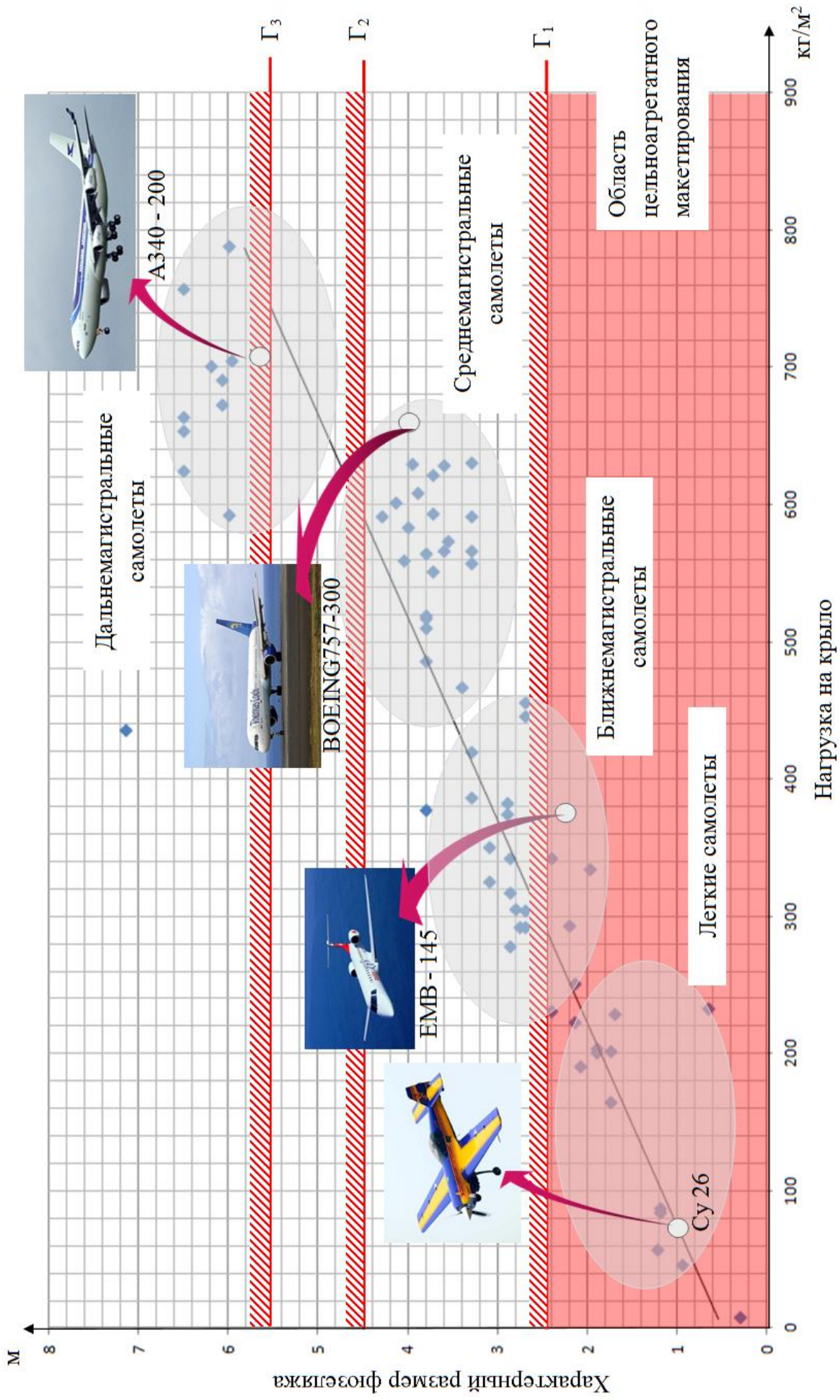


Рисунок – 3 Классификация самолетов как объектов макетирования

Крупногабаритные макеты, позволяющие воспроизвести поверхность изделия в натуральную величину, могут быть изготовлены несколькими способами: штамповка, формование, литье, фрезерование, технологии быстрого прототипирования.

Для создания изделий методами штамповки, формования или литьем необходима – технологическая оснастка, повторяющая контуры изделия, по сути тот же макет. Поэтому, более подробно рассмотрим технологии быстрого прототипирования и фрезерование.

При создании крупногабаритных изделий авиационной техники, когда, помимо высокого качества продукции, требуется максимально ускорить процесс и сократить время каждого этапа, обеспечить мобильность и минимальный вес макета, позволяющие эффективно работать с ним. К технологии макетирования предъявляются следующие требования:

- точность воспроизведения регулярной зоны ≤ 2 мм на размерности 5 метров;
- трудоемкость изготовления 1 м^2 площади поверхности макета ≤ 200 человеко-часа;
- длительность процесса макетирования объекта с габаритными размерам ≤ 50 дней с учетом технологических перерывов;
- минимальная дополнительная обработка поверхности;
- возможность макетирования объектов с габаритными размерами больше 2 м.

Одним из наиболее существенных недостатков технологий быстрого прототипирования и фрезерования является невозможность изготовления агрегата самолета целиком, т.к. рабочая камера станка RP (Rapid Prototyping – быстрое прототипирование) или стол фрезерного станка не превышают 2 метров [4].

Следующей особенностью является отыскание оптимального материала макета, что во многом обуславливается назначением модели.

Одним из требований к рабочим макетам является постоянство форм и размеров, отсутствие усадки и обеспечение жесткости, что не всегда возможно получить при использовании фотополимеров и термопластов [5].

При рассмотрении процесса фрезерования так же возникает вопрос выбора материалов - это может быть металл, обеспечивающий прочную и долговечную, но тяжелую и дорогую конструкцию. Возможно фрезерование модели из цельного массива дерева, что при изготовлении изделий со значительным перепадом высот является затруднительным. Применяют наборный массив ДВП, это требует предварительной подготовки шаблонов, готовый макет не обладает мобильностью. Для создания легких макетов возможно

фрезерование из пенопласта, но конструкция не будет иметь необходимой жесткости и потребует дополнительного покрытия.

Следующей особенностью является, несмотря на высокую точность технологий, необходимость доработки изделий, либо удаление поддержек и ступенек в RP или удаление следов фрезы и базы материала, соединение элементов, по причине невозможности изготовления агрегата целиком. Сравнительные характеристики некоторых технологий представлены в табл. 2 [4-7] .

Таблица 2- Сравнение технологий макетирования

	Чистота поверхности	Необходимость доработки	Размер максимальный
Стереолитография SLA	0,25 0,05	+ (удаление поддержек)	1500x750x550
SLS лазерное спекание	0,1-0,15	+ т.к. изделие имеет шероховатую и пористую структуру,	550x550x750
LOM машины	0,25- 0,1	-	813x559x508
MJM (Multi Jet Modeling) – многоструйное напыление смолы и засветка	0,04	+ (удаление поддержек)	298x185x203
FDM (Fused Deposition Modeling) – выдавливание расплавленной лески	до 0,127	+ (удаление «ступенек»)	600x500x600
DodJet – напыление головкой нагретого полимера и фрезерование	до 0,013	- (полировка при необходимости)	305x152x152
5 координатный фрезерный станок	0,01	- (полировка при необходимости)	3620x 2240x1050
3 координатный фрезерный станок	0,1	- (в зависимости от материала и шага фрезы могут оставаться следы инструмента, полировка при необходимости)	1000x1500x300

Представленные данные демонстрируют, что ни одна из предложенных технологий не отвечает вышеизложенным требованиям к технологии макетирования.

В связи с чем, становится актуальной задача формирования методики макетирования способной удовлетворить требования к технологии.

Предлагаемая технология основывается на принципе каркасного макетирования: объемная модель представляется в виде набора взаимно перпендикулярных плоских сечений (рис.4).

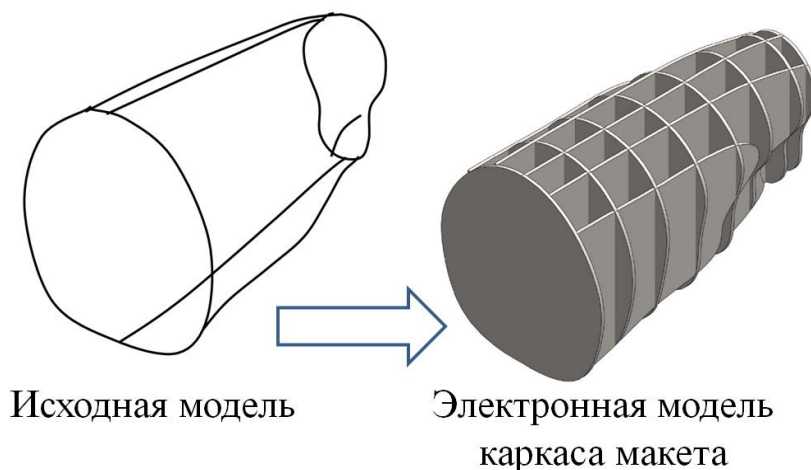


Рисунок 4 – Структура программного комплекса Макет

Методика макетирования включает в себя следующие этапы:

1. Анализ объекта макетирования на соответствие требованиям, предъявляемым к изделию.
2. Задание ограничений по допускаемой погрешности.
3. Нахождение геометрического шага элементов.
4. Выбор материала из базы данных, содержащей информацию о применяемых в этой технологии материалах.
5. Проверка материала на соответствие геометрическому шагу элементов и выполнение ограничений по точности.
6. Расчет прочностных характеристик макета.
7. Выбор метода получения поверхности.
8. Выбор инструментов и материалов обработки макета.
9. Расчет итоговой погрешности макета.
10. Формирование отчета, содержащего информацию, о шаге, материале элементов, точности изделия и выбранных инструментах обработки.
11. Формирование твердотельных моделей на базе полученных характеристик, определяющих геометрию изделия с заданной точностью.

Особенностью методики является работа с разнородными данными. Это могут быть статистические данные, например, прочностные характеристики материала, так и трудноформализуемые данные, например, геометрия модели, качество поверхности. Для решения данной задачи разработан программный модуль Макет, включающий в себя расчетные блоки и блок экспертной системы (рис. 5). Экспертная система формализует знания эксперта в определенной предметной области с целью выработки необходимых решений. С помощью экспертного модуля, пользователь, не являющийся специалистом в области макетирования, анализирует геометрию изделия, выбирает материал макета, конструктивно-силовую схему и т.д. Расчетные модули проводят расчет погрешности изготовления макета, деформаций и напряжений, возникающих при эксплуатации.

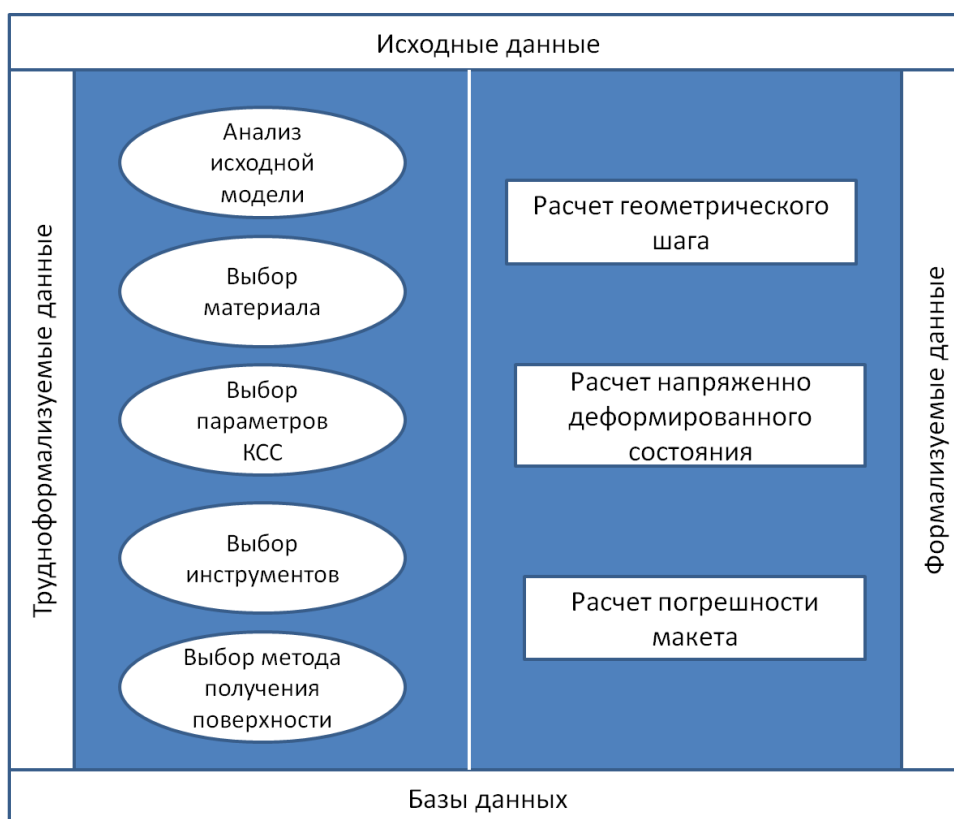


Рисунок 5 – Структура программного комплекса Макет

Для реализации ассоциативности электронных моделей исходного изделия и макета, отыскания оптимальной схемы расположения КСС в макете и автоматизации процесса создания трехмерных моделей элементов каркаса применяется модуль Макет. Он работает в системе геометрического моделирования Solid Works как ее приложение (рис. 6).

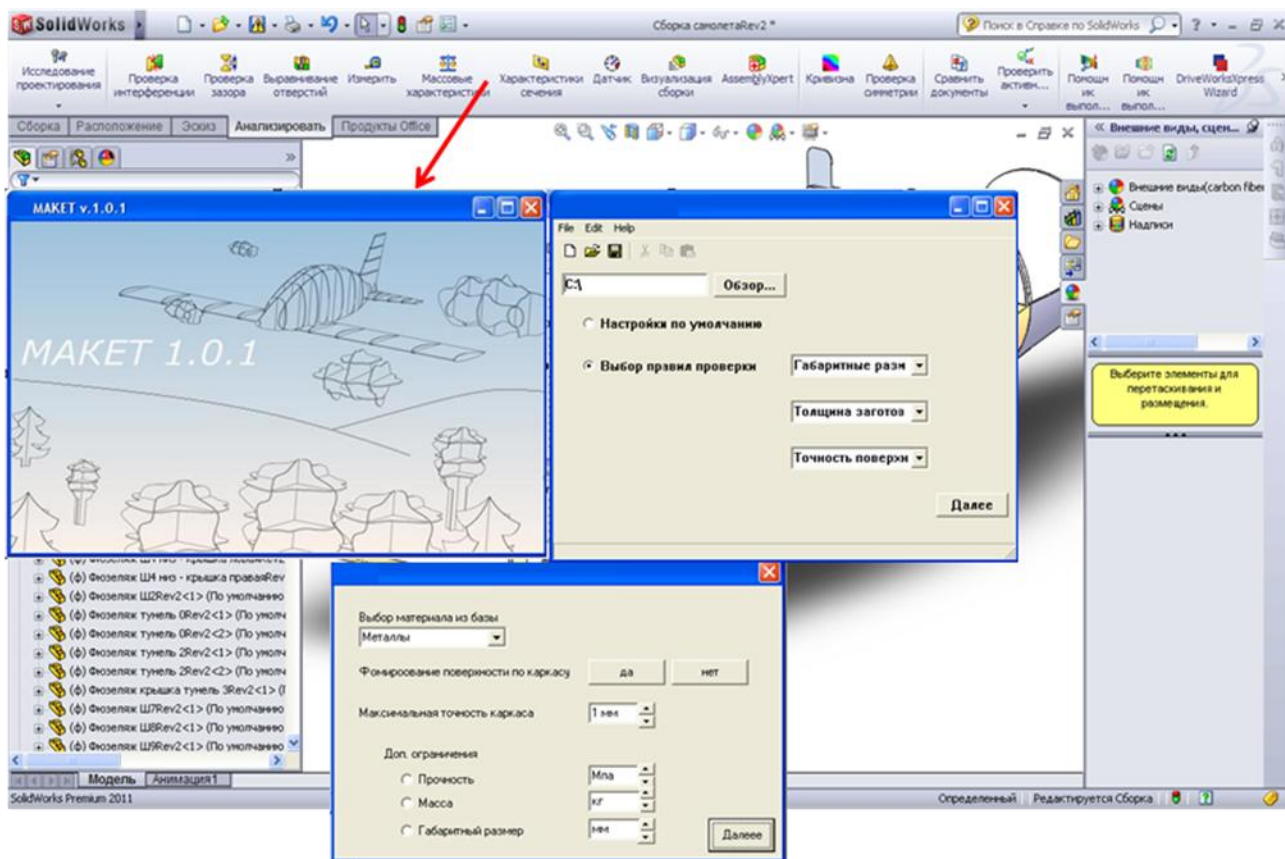


Рисунок 6 - Интерфейс модуля «Макет»

Макет позволяет найти оптимальный шаг элементов каркаса по принципу минимизации количества элементов исходя из ограничений по точности изделия. Процесс поиска оптимальной по точности схемы расположения элементов каркаса, анализ макетируемой поверхности, выбор параметров макета, материала, определение требований и граничных условий происходит по алгоритму представленному на рисунке 7.

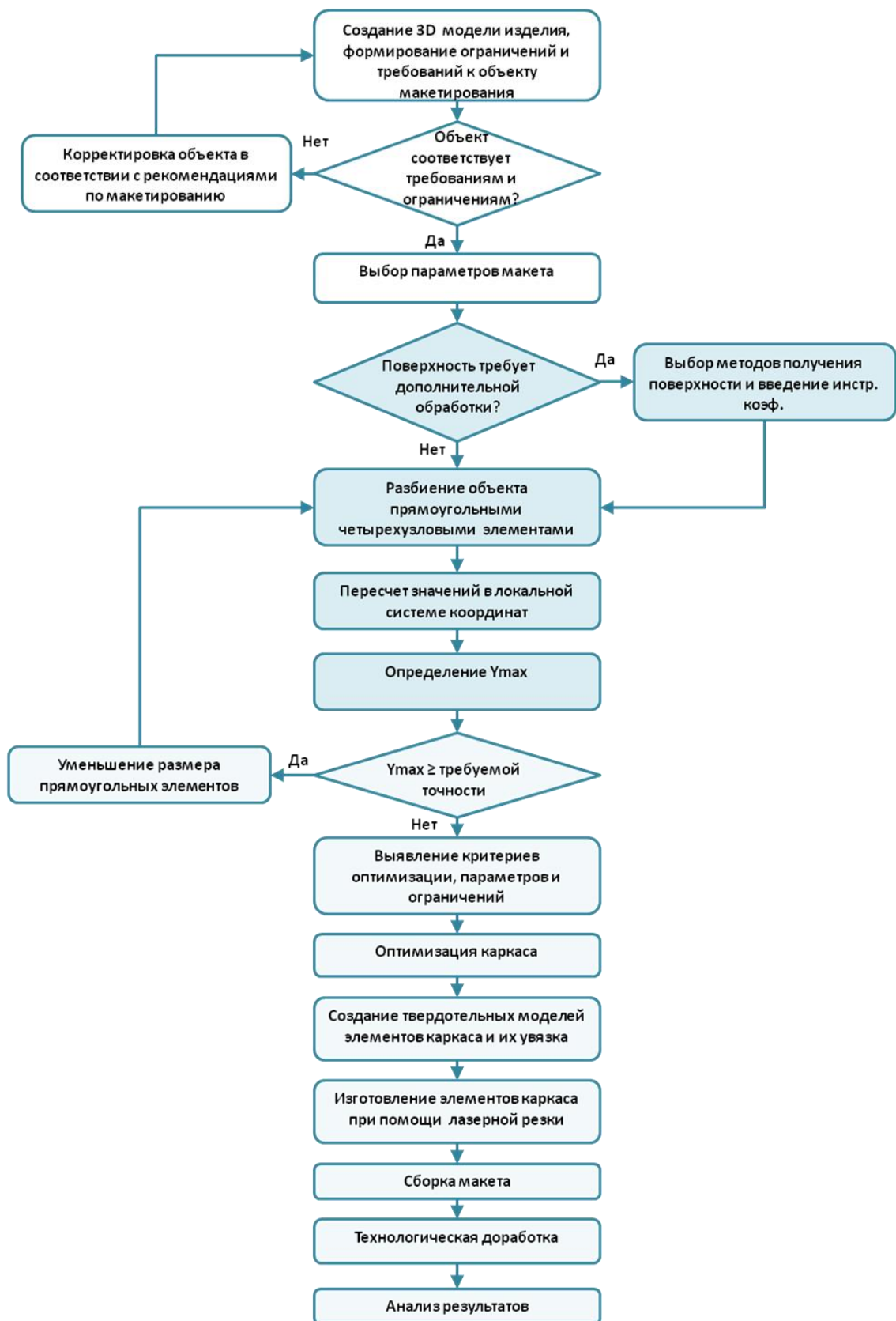


Рисунок 7 - Алгоритм методики макетирования

Входными параметрами являются: твердотельная модель изделия, требования по точности, направление продольного и поперечного набора элементов, базовая плоскость, материал изделия.

Материал изделия выбирается из базы данных, содержащей информацию о применяемых в этой технологии материалах (рис.8).

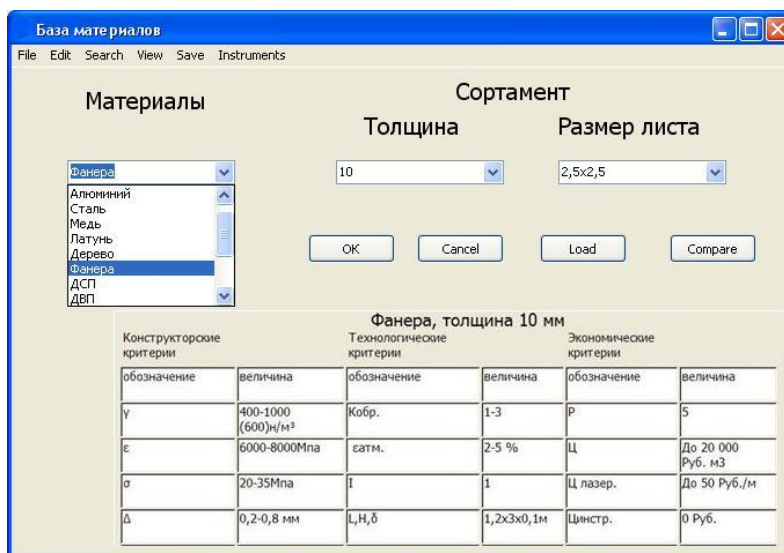


Рисунок 8 - Пример закладки базы данных, содержащей информации о материалах

По созданным с помощью модуля Макет электронным моделям создается плоская раскладка элементов - раскрой деталей. Файл, содержащий информацию о плоском раскрое, передается на станок, выполняющий лазерную резку. Вырезанные элементы собираются в каркас. В случае необходимости, детали фиксируются в пазах и происходит необходимая доработка поверхности [8].

Заключение

Методика и созданный модуль Макет позволяет решить актуальную задачу макетирования крупногабаритных объектов.

Существующие технологии не отвечают сформулированным требованиям к макетированию крупногабаритных объектов авиационной техники.

Использование описанных разработок в процессе создания мастер-модели фюзеляжа легкого самолета позволило добиться следующих результатов:

- точность изготовления агрегатов составляет 1 мм на размерности максимального габаритного размера 6,5 метров;
- трудоемкость изготовления 1 м² площади поверхности макета фюзеляжа составила 192 человеко-часа;

- длительность процесса от создания электронной модели до изготовления
- фюзеляжа самолета составила 45 дней с учетом технологических перерывов.
- методика применима для изготовления цельных макетов легких самолетов и БПЛА, возможно применение методики для поагрегатного макетирования других классов самолетов.

Список литературы

1. Васин С.А., Талащук А.Ю., Бандорин В.Г., Грабовенко Ю. А., Морозова Л.А., Редько В.А. Проектирование и моделирование промышленных изделий: Учебник для вузов. / М.: Машиностроение-1, 2004. – 692 с.
2. Микиладзе В.Г., Титов В.М. Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и ракет: Справочник. / М.: Машиностроение, 1990. – 149 с.
3. Каталог авиатехники российского и зарубежного производства. Сайт: <http://www.aviapages.ru/aircrafts.html>.
4. Зленко М. Технологии быстрого прототипирования – послойный синтез физической копии на основе 3D-CAD-модели. // CAD/CAM/CAE Observer-2003-№2(11).
5. Мелихов И. Технологии прототипирования - сравнительный анализ Сайт: <http://www.designet.ru/useful/Technologies/?id=29707>.
6. Бойцов Б.В., Куприков М.Ю., Маслов Ю.В. Повышение качества подготовки производства применением технологий быстрого прототипирования. // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2011.– № 49.
7. Бобцова С. В. Исследование и разработка методов использования технологий быстрого прототипирования в приборостроении: диссертация кандидата технических наук: 05.11.14.- Санкт-Петербург, 2005.- 124 с.:
8. Мартынова С.В. Этап макетирования при создании легкого многоцелевого самолета. // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2011. – №4. – С.39-42.

Сведения об авторе

Мартынова Светлана Владимировна, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета), тел.:8-965-181-54-91
e-mail: Martynovasvet@gmail.co