

**Состояние и план работ по совершенствованию
(развитию) программного комплекса
автоматизированной системы формирования
облика и предварительного (концептуального)
проектирования перспективных гражданских
(пассажирских) самолетов**

«АРДИС»

План документа:

1. История создания системы АРДИС.
2. Назначение и общие требования к Системе.
3. Основные (специальные) требования к Системе.
4. Основные требования к расчетным модулям (блокам) Системы.
5. Оценка текущего состояния Системы.
6. План работ по совершенствованию (развитию) Системы.

1. История создания системы АРДИС

- ❖ В 1970-х гг. в ЦАГИ по инициативе и под руководством проф. Л.М. Шкадова была создана первая версия «Автоматизированной расчетной диалоговой системы проектирования» (АРДИС) дозвуковых пассажирских самолетов. В 1980-х гг. была разработана вторая (улучшенная) версия системы АРДИС. Большой вклад в создание и развитие системы внес бывший заместитель начальника НИО-10 В.Е. Денисов. В создании системы АРДИС принимали участие большое количество сотрудников НИО-10 ЦАГИ.
- ❖ Система АРДИС была внедрена в ЦАГИ (НИО-10) и АК им. С.В. Ильюшина.
- ❖ Система АРДИС была использована при разработке проектов пассажирских самолетов Ил-86Д и Ил-96-300, а также рекомендаций по унификации двигателей при проектировании самолетов Ту-204 и Ил-96.
- ❖ В период 1990-2015 гг. система АРДИС была сохранена в ФГУП «ЦАГИ» во-многом благодаря работе бывшего заместителя начальника НИО-10 А.Ю. Уджуху. Система АРДИС использовалась при выполнении НИР по формированию рациональных требований к перспективным гражданским ВС, оценке уровня конкурентоспособности ВС, оценке эффективности различных технических решений, включая выполнение НИР «Вектор» и «Самолет-2020».
- ❖ В настоящее время назрела необходимость проведения работ по модернизации (совершенствованию) Системы с целью обеспечения ее соответствия современным требованиями и применения при разработке (создании) новых технологий и формировании облика перспективных гражданских (коммерческих) самолетов.

2. Назначение и общие требования к Системе

2.1. Назначение Системы – решение основных задач формирования облика и предварительного (концептуального) проектирования перспективных гражданских (пассажирских) самолетов.

Система должна охватывать начальные этапы проектирования – от определения рациональных требований до разработки эскизного проекта (включительно).

В качестве основных пользователей Системы рассматриваются сотрудники и специалисты научных и конструкторских организаций, осуществляющие исследования и разработки на начальных этапах (стадиях) формирования облика и проектирования перспективных гражданских самолетов.

2.2. Общие требования к Системе:

- 1) **Автоматизация основных операций**, характерных для этапа предварительного (концептуального) проектирования перспективных гражданских (пассажирских) самолетов:
 - подготовка, поиск и хранение исходной информации;
 - выбор параметров и проведение расчетов;
 - анализ результатов расчетов;
 - подготовка отчетной документации.
- 2) **Обеспечение связи и информационного обмена с предыдущими, смежными и последующими стадиями разработки проекта:**
 - ввод информации, полученной в результате расчетных и экспериментальных исследований и конструкторских проработок;
 - подготовка информации в объеме и форме, необходимых для разработки рабочей конструкторской документации.

2. Назначение и общие требования к Системе

- 3) Учет текущих и перспективных требований к самолетам и условиям их эксплуатации, включая требования к системе ОрВД и наземной (аэродромной) инфраструктуре (сертификационные и эксплуатационные требования).
- 4) Нормированное быстроедействие алгоритмов расчета.
- 5) Приемлемая точность результатов расчетов, а также возможность корректировки результатов расчетов специальных тематических программ (блоков).
- 6) Система должна быть открытой с точки зрения решаемых задач, методов расчета и анализируемых факторов.
- 7) Трудоемкость использования Системы должна быть минимальна, как на стадиях освоения и применения, так и на стадиях сопровождения и внесения изменений.
- 8) Удобный и понятный для пользователя интерфейс, включая максимально возможное использование средств и методов визуализации.
- 9) Основной метод взаимодействия пользователя с Системой – диалоговый; при этом должна быть предусмотрена возможность работы с использованием удаленных рабочих станций.
- 10) Система должна быть обеспечена полной и подробной документацией по применяемым расчетным методам и программному обеспечению; сопроводительная документация должна быть доступной для понимания пользователями и специалистами различного уровня.

3. Основные (специальные) требования к Системе

3.1. Решаемые задачи.

❖ Система должна обеспечивать решение следующих основных задач:

- 1) формирование рациональных требований к перспективным гражданским (пассажирским) самолетам (совместно с подсистемой моделирования авиапарка);
- 2) формирование облика (выбор параметров);
- 3) анализ вариантов (параметрические исследования, включая расчет и сравнение характеристик самолета, оценку влияния новых конструктивно-технологических решений);
- 4) формирование облика (в т.ч. в составе общей САПР пассажирских самолетов).

❖ Решение **задачи анализа варианта (параметрические исследования)** (задача № 3) заключается в получении по заданному набору параметров (исходные данные) с учетом необходимой их увязки и задаваемых ограничений необходимого набора характеристик (выходные данные).

В рамках решения задачи должен быть обеспечен расчет и сравнение характеристик самолета при различных сочетаниях схем самолета и проектных параметров, включая оценку влияния на проект новых технических решений. Перечень анализируемых факторов может изменяться (расширяться).

Должна быть обеспечена возможность сочетания автоматического поиска оптимальных параметров по различным критериям с решениями, принимаемыми пользователем на основании информации, полученной по результатам расчетов.

❖ Для решения задачи **формирования рациональных требований** к перспективным гражданским (пассажирским) самолетам (задача № 1) в Системе должен выполняться расчет (получение) вариантов проекта, соответствующих заданным вариантам требований. Варианты требований формируются в подсистеме моделирования авиапарка, а полученные варианты проекта (варианты выходных данных) должны содержать всю информацию, необходимую для подсистемы моделирования парка.

3. Основные (специальные) требования к Системе

❖ Для формирования облика перспективных гражданских (пассажирских) самолетов (в т.ч. в составе общей САПР) (задача № 4) должны быть обеспечены 2 условия:

- 1) Система подготавливает информацию в объеме, необходимом для дальнейшей детализации проекта, и форме, пригодной для ее передачи в другие подсистемы;
- 2) расчеты и результаты, получаемые в Системе, могут быть скорректированы на основании детальных расчетных и экспериментальных исследований и конструкторских проработок; при этом должно быть обеспечено согласование общих характеристик, получаемых для некоторого варианта проекта в различных подсистемах/блоках (производится «настройка» расчетного варианта).

3.2. Проектная информация.

- ❖ Должна быть обеспечена возможность расширения перечня входных и выходных данных. Основная проектная информация, с которой пользователь работает в Системе, может быть объединена в группы:
- требования к гражданскому (пассажирскому) самолету (дальность, пассажироместимость, полезная нагрузка, скорость, класс аэродрома, условия эксплуатации, комфорт, концепция семейства);
 - нормы и расчетные условия (параметры и характеристики, значения которых определяются различными нормативными документами);
 - критерии и показатели эффективности (расход топлива, себестоимость перевозок, стоимость эксплуатации парка, взлетная масса, масса пустого самолета, и др.);
 - схема самолета (должна быть обеспечена возможность расчета самолетов нормальной и нетрадиционных аэродинамических компоновок, с различными типами СУ, включая различные варианты схемных решений для крыла, фюзеляжа, шасси, механизации, оперения, размещения двигателей, компоновки салона, и т.д.; по мере ввода в Систему новых расчетных методов, позволяющих учитывать влияние других технических решений, состав схемных параметров может расширяться);
 - основные параметры, описывающие размерность самолета (взлетная масса, площадь крыла, тяга двигателей; при необходимости площадь или тяга могут пересчитываться по эквивалентным параметрам: нагрузке на крыло и тяговооруженности соответственно);

3. Основные (специальные) требования к Системе

- геометрические параметры крыла, фюзеляжа, оперения, СУ, включая расчет полной геометрии самолета (геометрия крыла определяется как в относительных величинах (безразмерная схема), так и в размерных параметрах – безразмерная схема пересчитывается в размерные параметры при заданной площади крыла; основными исходными параметрами крыла являются: тип профилировки, удлинение, сужение, стреловидность, распределение относительных толщин, распределение углов крутки, относительные координаты наплывов, их стреловидность и относительная площадь, относительные координаты и площади элементов механизации; геометрия фюзеляжа задается: длиной, диаметром (или диаметрами, если сечение составлено из нескольких дуг), удлинением носовой и хвостовой части, параметрами, описывающими пассажирскую и грузовую палубы; геометрия оперения описывается аналогично геометрии крыла; геометрия силовой установки описывается геометрией двигателя и мотогондол или воздухозаборников (при размещении двигателей внутри фюзеляжа или крыла); в зависимости от постановки задачи в качестве исходных данных могут выступать различные допустимые (полные и непротиворечивые) наборы геометрических данных);
- в результате расчетов в Системе также должны определяться:
 - масса агрегатов самолета;
 - характеристики центровки, балансировки, устойчивости-управляемости;
 - аэродинамические характеристики (крейсерские и взлетно-посадочные);
 - параметры траектории на взлете и посадке и в крейсерском полете;
 - уровни шума на местности и в салоне;
 - экономические характеристики.

❖ Полный перечень исходных данных и рассчитываемых характеристик определяется в зависимости от постановки конкретной задачи и применяемых методов расчета.

3. Основные (специальные) требования к Системе

3.3. Требования к расчетным методам.

- ❖ Решение задач проектирования в Системе реализуется на базе комплекса специальных расчетных (тематических) программ (модулей, блоков). Для решения различных задач образуются необходимые последовательности вызова программ и передачи данных между ними, соответствующие определенной расчетной модели.
- ❖ Для решения **задачи анализа варианта (параметрические исследования)** (задача № 3) необходим полный расчет характеристик самолета; исходной информацией при этом является:
 - компоновка (геометрия) фюзеляжа, полученная из соответствующей подсистемы формирования геометрических параметров самолета или в результате конструкторской проработки;
 - схема самолета;
 - основные параметры размерности самолета;
 - относительная геометрия крыла и оперения;
 - параметры из раздела требований (полезная нагрузка, число М полета).
- ❖ Возможны 2 основных случая:
 - 1) положение крыла, параметры оперения и органов управления полностью известны;
 - 2) эти параметры необходимо выбрать для обеспечения статической устойчивости самолета.
- ❖ В первом случае последовательность расчета следующая:
 - 1) определение размерной геометрии самолета;
 - 2) определение области возможных полетов;
 - 3) определение аэродинамических сил и моментов;
 - 4) определение нагрузок, действующих на самолет, массы агрегатов и пустого снаряженного самолета в целом;
 - 5) определение взлетно-посадочной и крейсерской полар самолета;
 - 6) определение ЛТХ самолета;
 - 7) определение акустических характеристик самолета;
 - 8) определение экономических характеристик самолета.

3. Основные (специальные) требования к Системе

- ❖ Во втором случае (положение крыла, параметры оперения и органов управления не заданы) должна быть реализована процедура увязки самолета по этим параметрам – последовательность расчетов в этом случае следующая:
 - 1) вначале при определении размерной геометрии самолета необходимо приближенно определить эти параметры;
 - 2) затем, после расчета массы агрегатов самолета, включить в последовательность определение (расчет) центровки самолета и характеристик его устойчивости (дополнительный блок);
 - 3) затем, в итерационном цикле или другим методом решения нелинейной системы уравнений, должна быть обеспечена увязка параметров.
- ❖ Для повышения точности расчетов и обеспечения связи с другими подсистемами общей САПР, позволяющими получать более точные результаты, при разработке расчетных методов и алгоритмов для Системы должна быть обеспечена возможность их корректировки на основе этих результатов или непосредственной связи расчетных тематических программ (блоков) с другими подсистемами. Такой подход должен обеспечить возможность проведения анализа варианта проекта с необходимым, в конкретных условиях, уровнем детализации и точностью расчетов.
- ❖ Задача **формирования облика (выбора параметров)** (задача № 2) строится на основе указанной выше задачи анализа варианта (параметрические расчеты) (задача № 3) как внешняя по отношению к ней. Выбор рациональных параметров осуществляется с участием пользователя Системы, на базе применения различных численных методов оптимизации. Результаты последовательных шагов оптимизационной процедуры представляются пользователю в удобной для анализа и принятия решения форме. Необходимо обеспечить возможность параллельного анализа по нескольким критериям и использования в процедуре оптимизации указаний пользователя о предпочтительных вариантах и направлениях поиска.
- ❖ Для решения задачи выбора параметров целесообразно использовать аппроксимацию характеристик самолета по параметрам оптимизации, что обеспечивает наглядность представления результатов для анализа. При этом необходимо иметь набор различных численных поисковых методов (градиентные, случайные и т.п.).

3. Основные (специальные) требования к Системе

- ❖ Процедура **формирования рациональных требований** (задача № 1) строится на базе решения задачи выбора рациональных параметров (задача № 2). При этом используемые расчетные методы и программы должны обеспечить получение всей информации, необходимой для моделирования процесса функционирования самолета на рассматриваемой (анализируемой) сети авиалиний (блок «Авиалинии»).
- ❖ Для обеспечения **работы Системы в составе общей САПР пассажирских самолетов** (задача № 4), помимо связи расчетных методов в Системе с результатами работы других подсистем, необходимо обеспечить подготовку выходной информации в заданном объеме. Прежде всего, это касается параметров компоновки самолета, на основании которой строятся: упруго-массовая модель самолета, аэродинамические обводы и т.п.
- ❖ Должна быть обеспечена возможность обмена информацией и решения задач с использованием внешних по отношению к Системе специализированных (тематических) программных комплексов.

3.4. Взаимодействие пользователя с Системой.

- ❖ Автоматизированная система является инструментом исследователей и проектировщиков при решении задач проектирования на начальных стадиях разработки.
- ❖ Система должна быть удобной и эффективной в освоении, использовании и сопровождении. В качестве основного способа взаимодействия пользователя с Системой применяется режим диалога, при этом предусматривается возможность решения расчетных задач большого объема, не требующих непосредственного вмешательства специалиста, в автономном режиме, с использованием диалога на этапе подготовки, запуска задачи и анализа полученных результатов.
- ❖ Операции, выполняемые пользователем при работе с Системой, можно разбить на 4 группы:
 - 1) подготовка исходной информации;
 - 2) управление решением задачи;
 - 3) анализ и обработка результатов;
 - 4) подготовка отчетной документации.

3. Основные (специальные) требования к Системе

- ❖ Диалог пользователя с Системой при выполнении всех указанных операций должен быть реализован так, чтобы обеспечивалось:
 - обучение начинающих пользователей Системы;
 - защита Системы (данных и программ) от ошибочных действий;
 - минимальная трудоемкость работы в режиме диалога;
 - максимально эффективное использование возможностей Системы.
- ❖ Для начинающих пользователей диалог должен вестись в режиме «от системы» с подробными пояснениями допустимых действий. Для пользователей, имеющих опыт работы и желающих использовать все возможности Системы, предоставляется режим работы с входным директивным языком.

3.4.1. Подготовка исходных данных.

- ❖ При подготовке исходных данных пользователь должен иметь возможность задать информацию, необходимую для решения стоящей перед ним задачи. При этом он должен быть обеспечен справочной информацией, касающейся:
 - существующих самолетов;
 - известных проектных разработок;
 - вариантов проектов, разработанных ранее с помощью Системы.
- ❖ Необходимо обеспечить возможность использовать отдельные данные или группы данных из указанных выше вариантов в последующих расчетах. Необходимо наличие средств поиска вариантов по различным признакам в архиве Системы и выделения из них необходимой информации для использования в расчетах.
- ❖ По своему содержанию исходная информация делится на общую проектную и специальную, имеющую отношение к определенным авиационным дисциплинам. Первая должна быть доступна любому специалисту, решающему задачи с помощью Системы; вторая задается и изменяется, как правило, специалистом по данному тематическому направлению. Также специальные данные хранятся наборами и используются в расчетах только наборами.

3. Основные (специальные) требования к Системе

- ❖ Все подготовленные пользователями исходные данные сохраняются в архиве Системы. Общие, как и специальные данные, подразделяются на наборы по своему содержанию (в соответствии с группировкой, приведенной в разделе 3.2). Для идентификации наборов данных в архиве применяются имена и номера версий. Обеспечивается защита информации, подготовленной одним пользователем, от несанкционированного вмешательства других пользователей (в основном, устанавливается запрет на изменение и уничтожение информации).
- ❖ Диалоговые средства редактирования данных дают возможность прямого доступа к каждой величине по ее имени, а также, в режиме диалога «от системы», последовательно по дереву, описывающему структуру данных.
- ❖ Вариант исходных данных, предназначенных для расчетов, собирается (компилируется) собирается из различных вариантов наборов данных.
- ❖ Система осуществляет контроль полноты исходных данных с точки зрения решаемой задачи и при необходимости дополнительно запрашивает отсутствующие величины.
- ❖ Система предоставляет возможность пользователю выборочного ввода данных, то есть только тех, которые соответствуют решаемой задаче. Также осуществляется контроль за непротиворечивостью исходных данных (например, нельзя или бессмысленно одновременно задавать взлетную массу, тягу двигателей и тяговооруженность).
- ❖ При вводе данных может быть доступен способ задания данных по умолчанию. Каждая величина в условиях конкретной задачи может быть принята равной одной из 2-х величин:
 - аналогичной величине, содержащейся в варианте, уже введенном в Систему;
 - аналогичной величине в указанном наборе данных.

Выбор способа ввода данных по умолчанию осуществляется при создании в Системе описания задачи.

3. Основные (специальные) требования к Системе

3.4.2. Управление расчетами.

- ❖ Управление расчетами в Системе – это:
 - описание решаемой задачи;
 - запуск расчета;
 - вмешательство (запрограммированное или произвольное) в ходе решения задачи.

- ❖ Описание решаемой задачи включает:
 - порядок выборки исходных данных;
 - порядок проведения расчетов;
 - порядок накопления результатов.

- ❖ Описание порядка выборки исходных данных и накопление результатов содержит ссылки на имена соответствующих наборов данных и условия, при которых выполняется чтение-запись.

- ❖ Порядок проведения расчетов – это последовательность вызова расчетных программ и передачи данных. Могут использоваться как стандартные последовательности, так и новые, введенные пользователем. Контроль допустимости таких последовательностей обеспечивается в рамках анализа полноты и непротиворечивости информации. При описании последовательности передачи данных, помимо установления простого соответствия, могут быть использованы преобразования:
 - с помощью коэффициентов и добавок;
 - в соответствии с заданными таблицами преобразования;
 - интерпретацией арифметических выражений.

Дополнительные преобразования данных позволяют вносить изменения в расчетные методы, не изменяя программ, и расширяют возможности по решению различных задач.

- ❖ Запуск Системы на выполнение расчетов осуществляется отдельной командой после завершения проверки полноты и непротиворечивости введенной информации.

3. Основные (специальные) требования к Системе

- ❖ Вмешательство пользователя в процессе выполнения расчетов может производиться в следующих случаях:
 - алгоритмом расчетов предусмотрено получение указаний пользователя;
 - точка прерывания указана при описании задачи;
 - возникла неразрешимая ситуация (например, ошибки в промежуточных данных);
 - на основе анализа промежуточных результатов пользователь решил прервать выполнение задачи.

Во всех случаях, кроме последнего, действия Системы после ввода информации пользователем программируются заранее. В последнем случае пользователь указывает, к какому действию следует перейти после прерывания.

3.5. Анализ и обработка результатов.

- ❖ Анализ результатов расчетов может производиться оперативно, по промежуточным выдачам и по данным, сохраняемым в архиве в результате решения задачи.
- ❖ Объем и форма промежуточной выдачи информации устанавливается пользователем при описании задачи. При этом указывается либо один из стандартных вариантов выдачи, либо дополнительно описывается формат и перечень данных. Способ представления информации может быть текстовым или графическим.
- ❖ Для анализа и обработки результатов, накопленных в архиве, пользователю предоставляются средства поиска и сортировки вариантов, как по стандартным наборам признаков, так и по заданным дополнительно. Аналогично должны быть стандартные правила и средства задавать эти правила (например, способ сортировки – упорядочить варианты по возрастанию взлетной массы; способ обработки – вычислить градиент роста массы пустого снаряженного самолета по взлетной массе, и т.д.).

3. Основные (специальные) требования к Системе

3.6. Подготовка отчетной документации.

- ❖ Отчетная документация Системы включает стандартные наборы таблиц, графиков и компоновочных чертежей; помимо этого, необходимо наличие средств формирования произвольных выходных таблиц и графиков.
- ❖ Для упорядочения ведения документации по применению Системы должна быть обеспечена маркировка документов, позволяющая восстановить в Системе вариант, характеристики которого отражены в документе. Целесообразно ввести в маркировочную надпись дату, код пользователя, имена и версии использованных наборов данных и указания на имеющиеся изменения в расчетных программах.
- ❖ Полезным является автоматизированное ведение «журнала» Системы (в архиве), куда вносят краткие протоколы работы с Системой за определенный срок. Пользователь должен иметь возможность получать полные протоколы конкретных сеансов работы с Системой. Протокол также обязательно имеет маркировку.
- ❖ Аналогичные возможности предоставляются пользователю и по подготовке информации для других подсистем, а именно:
 - имеется возможность передавать стандартные наборы данных и форматы;
 - состав и форма представления данных задается пользователем.

3. Основные (специальные) требования к Системе

3.6. Сопровождение Системы.

- ❖ Сопровождение Системы включает в себя:
 - поддержание ее работоспособности;
 - внесение в нее изменений.
- ❖ Поддержка работоспособности Системы – это контроль состояния архива (своевременное копирование, «уборка мусора», и т.п.), контроль за состоянием носителей программ и данных, сбор сведений об имеющихся ошибках и возможных неполадках (сведения должны сообщаться разработчикам Системы).
- ❖ Внесение изменений в методы и программы расчета является для Системы предварительного проектирования весьма важным. Возможность внесения локальных изменений в расчеты предоставляется каждому пользователю; при этом изменения он хранит в собственных файлах так, что его изменения не влияют на остальных пользователей.
- ❖ Общие для всех изменения в Систему вносят специалисты, ответственные за сопровождение Системы; при этом обязательным является оповещение всех пользователей через Систему или обычными средствами о внесенных изменениях.
- ❖ Внесение изменений в программы Системы является достаточно трудоемким, поэтому целесообразно предусмотреть средства автоматизации этого процесса (генераторы программ, стандартные процедуры перезагрузки Системы на языке управления заданиями, и т.п.).

4. Основные требования к расчетным модулям (блокам) Системы

4.1. Общие требования к расчетным программам.

- ❖ Для того, чтобы та или иная программа могла быть включена в Систему, необходимо, чтобы она реализовала определенную, независимую часть общего расчета при решении задачи проектирования. Помимо этого, имеется ряд дополнительных требований по организации и оформлению таких программ.
- ❖ Программа должна иметь полную документацию, а именно описания:
 - 1) постановки задачи;
 - 2) алгоритма решения;
 - 3) инструкции по применению:
 - перечень исходных и выходных данных;
 - способ вызова;
 - 4) инструкции по сопровождению:
 - структурную схему;
 - полный текст программы, выполненный в соответствии с требованиями самодокументирования;
 - 5) данных контрольного примера (примеров) и соответствующие ему (им) выводы результатов.
- ❖ Описание данных осуществляется по следующей схеме:

№ п/п	Наименование	Размерность	Идентификатор	Где содержится (имя блока, список)	Граничное значение	
					мин.	макс.

- ❖ Для выходных величин указывается имя подпрограммы, в которой данная величина определяется. На входные и выходные величины имеются также требования, чтобы в основную часть расчетной программы они вводились либо через список параметров, либо через общий блок (без использования операторов чтения-записи на внешние устройства). Если имеется необходимость обмена с внешними устройствами, то это должно быть внесено в отдельную программу.

4. Основные требования к расчетным модулям (блокам) Системы

- ❖ Программа при любых значениях исходных данных должна заканчиваться возвратом, без выхода на аварийный останов. Для контроля за состоянием программы должна быть использована переменная типа «флэт», принимающая, например, следующие значения:
 - * 0 – программа завершилась успешно;
 - * 1 – было нарушение в исходных данных, они скорректированы и расчет завершен;
 - * 2 – исходные данные не позволили выполнить расчет.

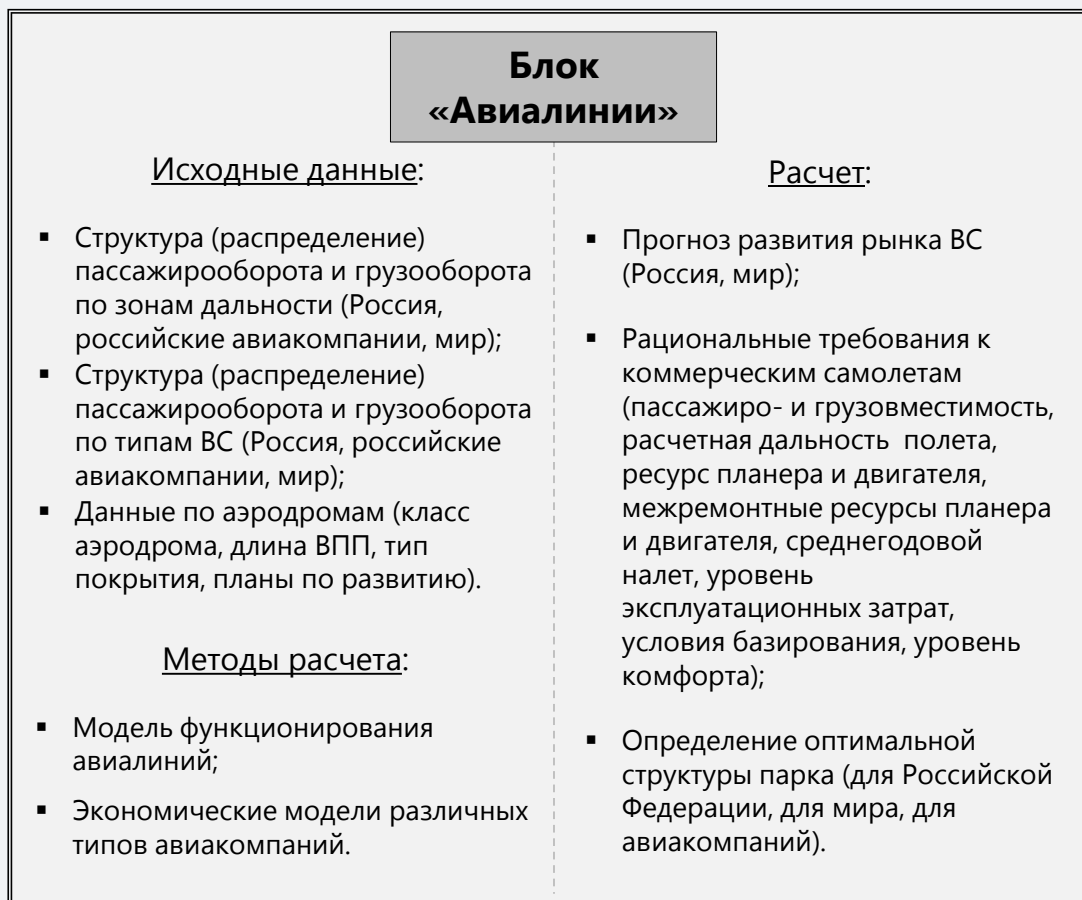
- ❖ Для всех программ требуется единообразное управление печатью данных по ключу, например, со следующими значениями:
 - * 0 – нет печати;
 - * 1 – печать в случае аварийного выхода (флэт = 2)
 - * 2 – печать диагностическая (флэт = 1);
 - * 3 – контрольная печать (входные и выходные величины, соответственно при входе в программу и выходе из нее);
 - * 4 – отладочная печать (печать промежуточных величин, объем и форма – на усмотрение авторов программы).

- ❖ При использовании операторов обмена в программе номера устройств должны быть заданы переменными.

- ❖ Язык программирования выбирается единым для всех расчетных модулей и оптимальным с точки зрения соответствия решаемым задачам и требованиям к Системе.

4. Основные требования к расчетным модулям (блокам) Системы

4.2. Основные требования к расчетным модулям (блокам).



4. Основные требования к расчетным модулям (блокам) Системы

4.2. Основные требования к расчетным модулям (блокам).

Блок «Геометрия»

Исходные данные:

- Фюзеляж (число палуб, форма сечения, число кресел и проходов в сечении, аварийные выходы, ниши шасси, элементы интерьера, багажно-грузовые помещения, типы панелей);
- Крыло (типы профилей, типы закрылков, типы предкрылков, типы элеронов, размещение топливных баков, типы панелей);
- Расположение двигателей (количество, варианты размещения);
- Горизонтальное оперение (тип управления, расположение, типы панелей);
- Вертикальное оперение (тип управления, типы панелей).

Расчет:

- Геометрические характеристики самолета, необходимые для дальнейших расчетов (размеры, площади, объемы).

Методы расчета:

- Описания дискретных признаков схемы;
- Стандартные геометрические соотношения (РДК).

Блок «Шасси»

Исходные данные:

- Взлетный вес;
- Характеристики аэродромного покрытия (нормируемые моменты, упругие характеристики плит);
- Стандартные варианты шасси.

Расчет:

- Число основных опор, число колес в тележке, размеры тележки, геометрические параметры колес (диаметр, ширина).

Методы расчета:

- Требования к аэродромным покрытиям;
- РДК.

Блок «Силовая установка»

Исходные данные:

- Коррекция дросселя;
- Коэффициенты потерь;
- Режим «малого газа»;
- Каталог двигателей.

Методы расчета:

- По термодинамическим параметрам;
- Аппроксимация;
- Методики ЦИАМ.

Расчет:

- Высотно-скоростные характеристики двигателей;
- Дроссельные характеристики двигателей;
- Расчет потерь на общесамолетные нужды;
- Сопротивление в пределах струи контура двигателя.

4. Основные требования к расчетным модулям (блокам) Системы

4.2. Основные требования к расчетным модулям (блокам).

Блок «Аэродинамика»

Исходные данные:

- Геометрические характеристики;
- Весовые характеристики;
- Результаты экспериментальных и летных исследований и испытаний.

Расчет:

- Аэродинамические характеристики на крейсерском и взлетно-посадочном режимах;
- Аппроксимация зависимостей;
- Интерполяция зависимостей.

Методы расчета:

- Полуэмпирический расчет сопротивления;
- Решение уравнений Навье-Стокса;
- РДК.

Блок «Весовой расчет»

Исходные данные:

- Аэродинамические производные;
- Условия полета и нагрузки;
- Компоновочная схема;
- Геометрические характеристики (фюзеляж, крыло, оперение, шасси, силовая установка).

Расчет:

- Масса самолета, крыла, фюзеляжа, оперения, шасси, силовой установки, оборудования, снаряжения;
- Ну при полете в неспокойном воздухе.

Методы расчета:

- Расчет по балочной теории;
- РДК

4. Основные требования к расчетным модулям (блокам) Системы

4.2. Основные требования к расчетным модулям (блокам).

Блок «Устойчивость и управляемость»

Исходные данные:

- Размеры органов управления (оперение, элероны);
- Положение крыла по длине фюзеляжа, угол поперечного V крыла;
- Высоты стоек шасси;
- Изменение варьируемых параметров.

Расчет:

- Проверка выполнения требований (устойчивость при предельно задней центровке, балансировка при подъеме передней стойки при взлете, перекладка по крену за заданное время, необходимые углы атаки при взлете, гарантированное расстояние от земли в характерных точках).

Блок «Взлетно-посадочные характеристики»

Исходные данные:

- Основные параметры размерности самолета (взлетная масса, площадь крыла, тяги двигателей);
- Геометрические параметры (крыла, фюзеляжа, оперения, СУ);
- Авиационные правила (АП-25, JAR-25, FAR-25).

Расчет:

- Потребная длина ВПП при взлете и посадке (без отказа, с отказом критичного двигателя);
- Градиенты набора высоты;
- Допустимые скорости полета на участках взлета и посадки.

Блок «Расчет шума»

Исходные данные:

- Характеристики силовой установки;
- Частотный спектр основных источников шума (струя, вентилятор);
- Звукопоглощающие характеристики конструктивных материалов;
- Результаты экспериментальных исследований и испытаний.

Расчет:

- Эффективный уровень шума к контрольных точках;
- Уровень шума в салоне и кабине экипажа.

Методы расчета:

- Расчетные методы определения уровня шума самолета (внешняя и внутренняя акустика).

4. Основные требования к расчетным модулям (блокам) Системы

4.2. Основные требования к расчетным модулям (блокам).

Блок «Профиль полета (ЛТХ)»

Исходные данные:

- Основные характеристики самолета и силовой установки;
- Базовые ограничения (запас топлива, сертификационные требования, правила полетов).

Методы расчета:

- Энергетический метод;
- Оптимизация режимов.

Расчет:

- Траектории набора высоты и снижения;
- Перелет на запасной аэродром;
- Основные параметры полета (параметры атмосферы, скорость, высота, дальность, расход топлива).

Блок «Экономика»

Исходные данные:

- Основные характеристики самолета, силовой установки и оборудования;
- Базовые производственные технологии.

Расчет:

- Расчет себестоимости 1 самолета (при различных параметрах производственной программы);
- Непосредственные эксплуатационные расходы (стоимость эксплуатации парка самолетов);
- Расчет экономической эффективности программы (объемы финансирования, сроки окупаемости).

5. Оценка текущего состояния Системы

5.1. Общее состояние Системы.

- ❖ Установленный в ФГУП «ЦАГИ» (НИО-10) программный комплекс АРДИС реализован на языке программирования «FORTRAN IV»; в качестве системы управления данными (оболочки) используется программный пакет «FoxPro».
- ❖ Имеющиеся в архиве НИО-10 отчеты содержат описания общих требований к системе, а также требований к ее программной реализации.
- ❖ Детальные описания используемых расчетных методик отсутствуют; комплексный анализ адекватности специализированных модулей (расчетные модели, программная реализация) и их соответствия современным требованиям, а также достигнутому уровню развития науки и техники не проводился.
- ❖ Существующий программный комплекс АРДИС содержит значительное количество результатов расчетов (характеристик) существующих российских и иностранных самолетов, а также проектов самолетов; всего – 240 пакетов исходных и расчетных данных, в том числе:
 - российские (отечественные) самолеты – 11 пакетов;
 - иностранные самолеты – 36 пакетов;
 - проекты российских самолетов – 190 пакетов;
 - проекты иностранных самолетов – 3 пакета.

5. Оценка текущего состояния Системы

5.2. Оценка состояния основных расчетных блоков (расчетных модулей) Системы.

5.2.1. Блок «Геометрические характеристики» («Геометрия»)

№ п/п	Исходные данные	Алгоритм расчета	Результаты расчета	Комментарии, вопросы
1.	<u>Крыло:</u> <ul style="list-style-type: none"> • форма в плане; • толщины и крутки; • механизация; • топливные баки; • зазоры; • ось крутки; • вертикальные законцовки крыла. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Расчет геометрических размеров самолета и основных его элементов: <ul style="list-style-type: none"> • Обычные геометрические соотношения стреловидного трапециевидного крыла (возможно, с наплывом по задней кромке); • размах концевых и корневого элеронов, обеспечивающих необходимую эффективность управления по крену; • оставшая часть задней кромки занята закрылками; • предкрылок размещается по всей передней кромке (возможно с разрывами в зоне двигателей). • формирование компоновки пассажирского салона в диалоговом режиме при различных дискретных признаках, характеризующих поперечное сечение (с использованием банка данных различных элементов интерьера) с учетом требований по комфорту (ширина проходов, шаг кресел) и безопасности (число аварийных выходов, их размеры, подходы к ним); ○ Описания дискретных признаков схемы. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Геометрические параметры: <ul style="list-style-type: none"> • крыла; • горизонтального оперения; • вертикального оперения; • фюзеляжа; • шасси; ○ Эквивалентное тело вращения. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Рассчитываются геометрические характеристики самолетов нормальной схемы; ○ Необходима проверка фактических формул и их программной реализации; ○ Возможность расчета геометрических характеристик самолетов нетрадиционных компоновок (летающее крыло, несущий фюзеляж, др. компоновки).
2.	<u>Фюзеляж:</u> <ul style="list-style-type: none"> • количество пассажиров; • число кресел в ряду; • шаг кресел; • геометрические параметры фюзеляжа. 			
3.	<u>Горизонтальное оперение:</u> <ul style="list-style-type: none"> • геометрия; • расположение относительно фюзеляжа; 			
4.	<ul style="list-style-type: none"> • статический момент. <u>Вертикальное оперение:</u> <ul style="list-style-type: none"> • геометрия; • расположение относительно фюзеляжа; • расположение относительно горизонтального оперения; 			
5.	<ul style="list-style-type: none"> • статический момент. 			
6.	<u>Мотогондола</u> (геометрия, расположение);			
7.	<u>Шасси</u> (геометрия, расположение); <u>Зазоры ВПП-фюзеляж, двигатель.</u>			

5. Оценка текущего состояния Системы

5.2.2. Блок «Весовой расчет»

№ п/п	Исходные данные	Алгоритм расчета	Результаты расчета	Комментарии, вопросы
1.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Аэродинамические производные (отн. расстояния до фокусов, производные коэф-та подъемной силы по углу атаки); ○ Условия полета и нагрузки (макс. взлетная масса, посадочный вес, масса полезной нагрузки, скоростной напор, индикаторная скорость, запас устойчивости при предельно передней центровке); ○ Схема самолета (отн. расположение крыла, эксплуатационные разъемы, излом продольного набора, тип закрылка, стойки шасси); ○ Крыло (ресурс для панелей крыла, отн. расстояния, расстояние между нервюрами, сечение продольного набора панелей, материал крыла, расчетные напряжения, базовые напряжения, модуль упругости, топливные баки); ○ Фюзеляж (раб. давление в кабине экипажа и пасс. салоне, материалы конструкции, багажные отсеки, изгибающие моменты); ○ Горизонтальное оперение (сочленение оперения, отн. расстояния, экспл. разъем, расстояние между нервюрами, сечение продольного набора панелей, заданная нагрузка, изгибающий момент); ○ Вертикальное оперение (сочленение оперения и фюзеляжа, отн. положение на г.о., отн. расстояния, экспл. разъем, расстояние между нервюрами, изгибающий момент, площадь форкиля); ○ Характеристика материалов оперения (материал, расчетное напряжение, модуль упругости, плотность материала); ○ Шасси (допустимая экспл. перегрузка, перегрузки при посадке и разбеге, пневматик, тип ВПП, число стоек и колес, материалы); ○ Силовая установка (удельная масса, степень двухконтурности, пилон, ВСУ, материалы пилона и мотогондолы); ○ Вес снаряженного ВС в 1-ом приближении (масса элементов по самолетам-прототипам и статистическим данным); ○ Вес самолетного и пассажирского оборудования (приближенный расчет, точный расчет); ○ Вес снаряжения (экипаж, пассажиры); ○ Заданные веса (абс. и отн. массы); ○ Заданные нагрузки (крыла, фюзеляжа, оперения). 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Расчет по балочной теории (упругая модель крыла (оперения) – консольная балка); <ul style="list-style-type: none"> • масса основных (силовых) элементов крыла и оперения – на базе проектировочного расчета площадей поперечных сечений элементов, потребных для восприятия действующих в расчетных случаях нагрузок; • нагрузки – в соответствии с нормами прочности; ○ Методы РДК. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Весовая сводка: <ul style="list-style-type: none"> • самолета; • крыла; • фюзеляжа; • шасси (основное, носовое); • оперения; • самолетного оборудования; • пассажирского оборудования; • снаряжения; • силовой установки; ○ Ну при полете в неспокойном воздухе. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Рассчитываются массы основных элементов самолета; ○ Необходима проверка фактических формул и их программной реализации; ○ Возможность весового расчета самолетов нетрадиционных компоновок (летающее крыло, несущий фюзеляж, др. компоновки).

5. Оценка текущего состояния Системы

5.2.3. Блок «Двигатель» («Силовая установка»)

№ п/п	Исходные данные	Алгоритм расчета	Результаты расчета	Комментарии, вопросы
1.	<u>Коррекция дросселя:</u> <ul style="list-style-type: none"> относительная тяга на макс. крейсерском режиме; высота полета; число М полета; максимальная относительная тяга; расход топлива. 	<ul style="list-style-type: none"> Расчет по термодинамическим параметрам; Аппроксимация; Данные расчетов ЦИАМ. 	<ul style="list-style-type: none"> Высотно-скоростные характеристики двигателей; Дроссельные характеристики двигателей; Характеристики двигателей на режимах «номинал» (набор высоты) и «малый газ» (снижение); Данные каталога двигателей. 	<ul style="list-style-type: none"> Рассчитываются высотно-скоростные и дроссельные характеристики двигателей, а также характеристики на режимах «номинал» (набор высоты) и «малый газ» (снижение); Необходима проверка фактических формул и их программной реализации; Возможность расчета характеристик силовых установок нетрадиционных схем («открытый ротор», «распределенная силовая установка», двигатели с использованием сложных термодинамических циклов, гибридные СУ, др. схемы).
2.	<u>Коэффициенты потерь:</u> <ul style="list-style-type: none"> потери в тяге на взлете ; потери в расходе на взлете ; потери в тяге на крейсерском режиме (правая и левая граница); потери в расходе на крейсерском режиме (правая и левая граница). 			
3.	<u>Режим «малый газ»:</u> <ul style="list-style-type: none"> часовой расход топлива; относительная тяга. 			
4.	<u>Прочее:</u> <ul style="list-style-type: none"> коэффициент увеличения тяги на чрезвычайном режиме; отн. тяга реверса. 			
5.	<u>Двигатель-прототип.</u>			

5. Оценка текущего состояния Системы

5.2.4. Блок «ЛТХ» («Профиль полета (ЛТХ)»)

№ п/п	Исходные данные	Алгоритм расчета	Результаты расчета	Комментарии, вопросы
1.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Основные данные (макс. взлетная масса, макс. масса полезной нагрузки, посадочный вес самолета, взлетная тяга двигателей, число пассажиров, вес пассажира с багажом, крейсерское число М, расчет профиля полета и экономики, отличие температуры атмосферы от стандартного значения); ○ Ограничения (макс. крейсерская высота, макс. крейсерский S_u, макс. скоростной напор, скоростной напор при наборе высоты, скоростной напор при снижении); ○ Аэронавигационный запас топлива (дальность перелета до запасного аэродрома, высота перелета до запасного аэродрома, число М перелета за запасным аэродромом, высота ожидания над запасным аэродромом, время ожидания над запасным аэродромом, доп. время крейсерского полета, продолженный крейсерский полет, отн. часть топлива АНЗ); ○ Взлет (аэр. качество при отрыве, S_u при отрыве, S_u при разбеге, S_x при разбеге, коэфф. трения при разбеге, S_u при разбеге с заторм. колесами; S_x при разбеге с откл. коэфф. трения при заторм. колесах, производная S_u по углу атаки, длина концевой полосы безопасности, длина выруливания, температура на аэродроме, давление на аэродроме, время гонки двигателя на номинале, время рулежки перед взлетом); ○ Посадка (высота при заходе на посадку, время захода на посадку, аэр. качество при планировании, S_u при планировании, S_u при пробеге, S_x при пробеге, коэфф. трения при пробеге с затормож. колесами, потеря скорости при выдерживании, наклон глиссады, N_u при выравнивании, длина выруливания, температура на аэродроме посадки, давление на аэродроме посадки, время рулежки после посадки); ○ Параметры для расчета зависимости $G_0(L)$ (удельная тяговооруженность, удельная нагрузка на крыло, взлетная тяга двигателей, площадь основной трапеции крыла, дальность полета). 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Расчет основных этапов полета энергетическим методом; ○ Оптимизация режимов по различным критериям (расход топлива на полет, себестоимость полета, минимум рейсового времени); ○ Расчет рейсового времени, расхода топлива на полет, расхода топлива на единицу транспортной работы; ○ Требования авиационных правил (АП-25). 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Для участков траектории (взлет, разгон до $H=400$ м, крейсерский полет, снижение, посадка) рассчитывается длина, расход топлива, время, километровый расход топлива; ○ Полный расход топлива, суммарное время полета; ○ Число и высоты эшелонов полета; ○ Крейсеровская и рейсовая скорость полета, удельный почасовой расход топлива; ○ Аэронавигационный запас топлива (АНЗ); ○ Практическая и техническая дальность полета; ○ Удельный расход топлива в $г/(пасс*км)$ для практической и технической дальности. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Расчет параметров основных этапов полета (взлет, набор высоты, крейсерский полет, перелет на запасной аэродром, снижение, посадка) в соответствии с требованиями авиационных правил (АП-25) с учетом оптимизации по заданным параметрам; ○ Необходима проверка фактических формул и их программной реализации, а также степени соответствия заложенных алгоритмов действующей редакции авиационных правил.

5. Оценка текущего состояния Системы

5.2.5. Блок «Сх (М, Су, Н)» («Аэродинамика»)

№ п/п	Исходные данные	Алгоритм расчета	Результаты расчета	Комментарии, вопросы
1.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Аэродинамический прототип (для расчета поляры); ○ Критическое число М фюзеляжа; ○ Отн. положение точки перехода на крыле; ○ Отн. величина вредного сопротивления; ○ поправка на Сх; ○ Сх фюзеляжа прототипа; ○ Сх горизонтального оперения прототипа; ○ Сх вертикального оперения прототипа; ○ Сх мотогондолы прототипа; ○ Мz0 (без горизонтального оперения); ○ Отн. положение центра тяжести самолета; ○ Xf (без горизонтального оперения); ○ Безразмерная циркуляция; ○ Скос за крылом при Су=0; ○ Су при Схmin профильной поляры; ○ Коэффициент эффективного удлинения; ○ Коэффициент влияния формы на Сх фюзеляжа; ○ Коэффициент влияния толщины на Сх мотогондолы; ○ Коэффициент коррекции сопротивления пилона; ○ Коэффициент в формуле волнового сопротивления; ○ Критическое значение числа М; ○ Отн. положение точки перехода на фюзеляже; ○ Отн. положение точки перехода на горизонтальном оперении; ○ Отн. положение точки перехода на вертикальном оперении; ○ Отн. положение точки перехода на мотогондоле; ○ Критическое крыло М крыла (заданное); ○ Средняя отн. толщина крыла для расчета критического числа М крыла. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Быстродействующая методика расчета сопротивления на основе анализа результатов в АДТ и летных испытаниях; ○ Метод пересчета коэффициентов сопротивления модели в АДТ на условия натурального полета; ○ Оценка волнового сопротивления и его изменения при вариациях стреловидности и толщины профиля крыла; ○ Для расчета аэродинамических характеристик на режимах взлета и посадки используются: <ul style="list-style-type: none"> • параметрические экспериментальные зависимости Сутах (χ); • соответствующие РДК; • приближенный пересчет к натурным условиям. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Расчет поляры Сх (Су); ○ Расчет Мкрит; ○ Расчет коэффициентов интерполяции а и b: <ul style="list-style-type: none"> • по заданным Мкрит при 2-х значениях стреловидности; • по заданному (dМкрит)max в зависимости dМкрит от Се; ○ Интерполяция зависимостей Сх (М, Су) прототипа. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Расчет аэродинамических характеристик самолета на крейсерском и взлетно-посадочном режимах; ○ Необходима проверка фактических формул и их программной реализации; ○ Необходима оценка адекватности используемых методов расчета с учетом современного уровня развития расчетных методов (в т.ч. коммерческих программ).

План работ по развитию (совершенствованию) автоматизированной системы формирования облика и предварительного (концептуального) проектирования перспективных гражданских (пассажирских) самолетов

Первоочередные задачи:

- 1) Уточнение (детализация) требований к программному комплексу формирования облика и предварительного (концептуального) проектирования перспективных гражданских (пассажирских) самолетов;
- 2) Анализ (оценка) соответствия расчетных модулей (используемые модели, программная реализация) существующей системы установленным требованиям (по результатам выполнения п. 1);

План работ по развитию (совершенствованию) автоматизированной системы формирования облика и предварительного (концептуального) проектирования перспективных гражданских (пассажирских) самолетов

План дальнейших работ:

- 3) Обновление (модернизация) программного комплекса формирования облика и предварительного (концептуального) проектирования перспективных гражданских (пассажирских) самолетов (по результатам выполнения пп. 1-2);
- 4) Проведение модельных расчетов с целью верификации обновленного (модернизированного) программного комплекса формирования облика и предварительного (концептуального) проектирования перспективных гражданских (пассажирских) самолетов (по результатам выполнения пп. 1-3);
- 5) Применение обновленного (модернизированного) программного комплекса при формировании облика и проектировании перспективных гражданских самолетов (по результатам выполнения пп. 1-4).