

Методология интегрированного проектирования и моделирования тяжёлого транспортного вертолёта

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

В настоящее время ни одна авиастроительная фирма не может оставаться конкурентоспособной, если она не в состоянии обеспечить высокое качество изготавливаемых образцов авиационной техники, быструю их модернизацию или смену модельного ряда. При этом на современном рынке является нормой наличие большого количества модификаций базовой модели. Обеспечить высокие темпы работ с сохранением высокого качества конечной продукции и ее большой гаммы очень сложно без применения компьютерных интегрированных систем CAD/CAM/CAE, позволяющих интегрировать процессы проектирования, инженерного анализа и подготовки производства.

Процесс создания авиационной техники и ее модификаций сопровождается развитием методов ее проектирования. Уже пройдены стадии статистического, аналитического, оптимального, автоматизированного и системного методов проектирования. В основе методологии проектирования вертолетов лежит метод оптимального проектирования на базе интегральных критериев качества современных вертолетов, выбираемых из условия удовлетворения требований заказчика (покупателя) к вертолету и Авиационных правил.

В настоящее время общепризнанным количественным критерием оценки качества гражданских вертолетов является стоимость перевозок и обеспечение безопасности полетов. Конструкторы, проектирующие вертолет и каркас планера вертолета, достигают концептуально заданных количественных показателей критериев качества путем:

- уменьшения массы конструкции как главного фактора, снижающего прямые эксплуатационные расходы благодаря возможности увеличения платной нагрузки;

- увеличения срока службы конструкции и ее ресурса при обеспечении надежности и безопасности полетов как факторов, снижающих расходы на амортизацию, обслуживание и ремонт.

Главным критерием в основе современных методов проектирования авиационных конструкций является требование создания и функционирования надежной, безопасно повреждаемой конструкции минимальной массы с заданным ресурсом. При этом должна гарантироваться возможность обнаружения повреждений до достижения ими допустимых критических размеров и сохраняться достаточная остаточная прочность конструкции.

Очевидно, что создание безопасно повреждаемой конструкции предусмотрено Нормами прочности и Авиационными правилами, а проектирование на заданный ресурс при минимальной массе отражает экономические проблемы.

Программой развития авиационной промышленности Украины предусмотрено создание новых легких многоцелевых вертолетов с широким диапазоном функциональных возможностей, отличающихся:

- современным техническим и эксплуатационным уровнем развития, превышающим уровень развития XX века, который достигается на основе новых концепций, научно-технических решений и изобретений в области аэродинамики,

проектирования, конструирования, прочности, весового совершенства, силовой установки, систем вертолета, оборудования, материалов, технологии производства и его подготовки, эксплуатабельности, надежности и безопасности;

- соответствием современным Нормам летной годности и Авиационным правилам, гармонизированным по структуре и требованиям с FAR (JAR), стандартам качества и перспективным экологическим стандартам;

- высокой степенью конструктивно-технологической и эксплуатационной унификации и преемственности с современными вертолетами;

- экономической эффективностью, обусловленной меньшей, чем у конкурентов, ценой аналогичных вертолетов при сопоставимых эксплуатационных показателях;

- применением стратегии технической эксплуатации по состоянию;

- внедрением интегрированных технологий проектирования, подготовки производства, инженерного анализа, испытаний, сертификации, информационной поддержки жизненного цикла авиационных комплексов с помощью систем CAD/CAM/CAE/PLM и ERP (рис.1).

Разработка интегрированных систем обеспечения высокого качества, долговечности, надежности и ресурса, сертификации авиационной техники и ее производства, а также научно-технического задела создает предпосылки для совершенствования авиатехники следующих поколений с использованием интегрированной компьютеризации при проектировании, конструировании, технологической подготовке производства, серийном производстве, летных испытаниях на основе непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделия (CALS-технологий) и является важной задачей выпуска авиационной техники в условиях современного рынка.

Информационные технологии совместно с прогрессивными авиационными технологиями проектирования и производства при наличии единого информационного пространства позволяют существенно повысить производительность труда, качество выпускаемой авиационной техники при значительном сокращении сроков поставки на производство и выпуска новых, более современных вертолетов, отвечающих запросам покупателей.

Для организации единого информационного пространства необходима интеграция конструкторской, производственной и эксплуатационной баз данных в единую базу данных.

Идея создания единой информационной среды и интегрирование ее во все звенья сопровождения изделия по жизненному циклу также способствует выполнению основной задачи авиации Украины – обеспечить безопасность перевозок при минимуме затрат на перевозку тонно-километра груза или одного пассажиро-километра, снижение стоимости жизненного цикла вертолета.

В соответствии с задачами сопровождения изделия по жизненному циклу единая база данных должна содержать данные о создаваемой авиационной технике, предприятиях-производителях и сервисных центрах с описанием протекающих организационных, конструкторских и технологических процессов. В настоящее время методы и идеи сопровождения изделий авиационной техники по жизненному циклу и основанные на них интегрированные информационные технологии находят все большее применение во всех авиационных фирмах мира.

Развитие информационных технологий позволяет интенсифицировать процессы создания технической документации, конструкторской и технологической подготовок производства, управления производством и

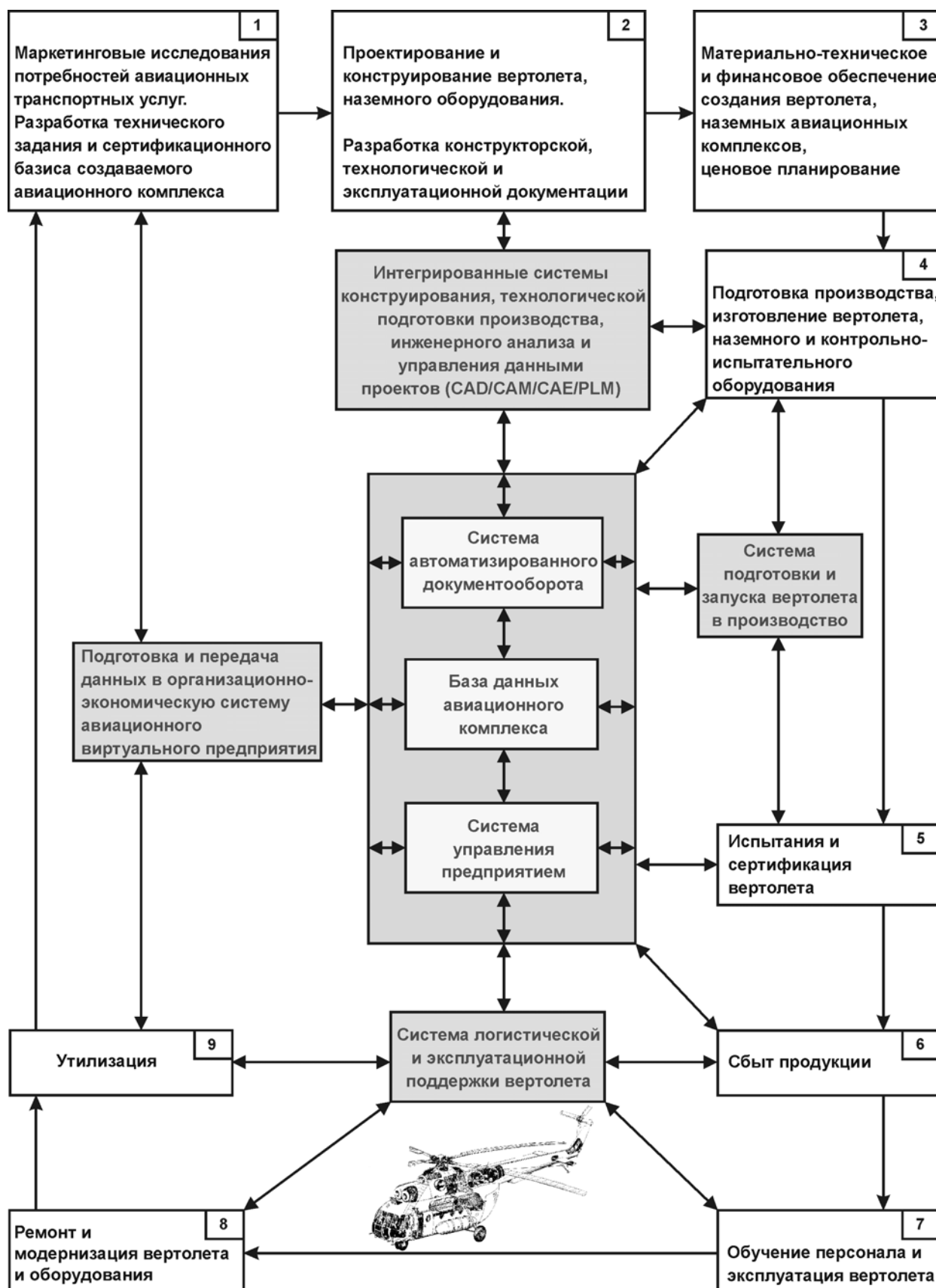


Рис. 1. Компоненты жизненного цикла вертолета и его информационной поддержки

сопровождения изделия и, самое главное, реализовать информационную поддержку жизненного цикла изделия, схема которой показана на рис. 1.

Данные для информационной поддержки собираются и упорядочиваются в распределенной по организациям единой базе данных с открытым доступом к ним всех участников сопровождения по жизненному циклу.

При создании нового изделия, конструкторской и технологической подготовке его производства с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM в интегрированной информационной системе описываются структура изделия, его состав и все входящие компоненты: детали, узлы, агрегаты, комплектующие изделия, материалы.

Применение интегрированных информационных технологий к процессу проектирования вертолета позволит уменьшить затраты на создание, производство и сопровождение по жизненному циклу вертолета, на 30% повысить производительность и эргономику труда, что в конечном итоге повысит качество и конкурентоспособность производимой продукции, качество производственной деятельности инженеров.

Информационная технология интегрированного проектирования вертолета предполагает применение параметрического аналитического эталона конструкции, созданного в системе CAD\CAM в расчетах: аэродинамики и прочности; ресурса и живучести; массы вертолета и его центровки; динамики конструкции и безопасности ее функционирования, а также при технологической подготовке производства и управлении качеством, эксплуатации и ремонте.

Метод интегрированного проектирования охватывает проектирование и компьютерное параметрическое трехмерное моделирование конструкции вертолета в целом и отдельных ее частей. Вертолет представляет собой множество деталей, сборок, узлов и агрегатов, соединенных между собой различными типами разъёмных и неразъёмных соединений, от качества проектирования и выполнения которых зависят массовые, ресурсные, аэродинамические и эстетические характеристики вертолета.

Применявшиеся ранее методы проектирования сборных вертолетных конструкций базировались на двумерных моделях и их плазовой увязке, что не позволяло учесть все конструктивные и технологические особенности и привело к необходимости создания интегрированного метода проектирования.

На рис. 2 показана новая концепция интегрированного проектирования сборных вертолетных конструкций.

Разработанная концепция интегрированного проектирования сборных вертолетных конструкций является методологической основой создания соединений силовых элементов планера заданной статической прочности, ресурса, герметичности и качества внешней поверхности при минимальной массе соединения.

Интегрированное проектирование сборных вертолетных конструкций можно разделить на этапы, взаимосвязь которых показана на рис. 2:

1. Создание интегрированной информационной среды, комплекса технических и программных средств для создания проекта вертолета, производственной и экспериментальной базы, коллектива специалистов
2. Разработка концепции создания нового вертолета или модификации уже существующего с применением компьютерных интегрированных систем проектирования CAD/CAM/CAE/PLM.
3. Разработка параметрической модели мастер-геометрии вертолета в системе CAD/CAM/CAE/PLM.



Рис. 2. Новая концепция интегрированного проектирования сборных вертолетных конструкций

4. Определение расчетных нагрузок, действующих на агрегаты вертолета, и нагрузок типового полета, допускаемых напряжений в регулярной зоне для обеспечения регламентируемой долговечности.

5. Интегрированное проектирование соединений сборных вертолетных конструкций.

6. Создание аналитических эталонов сборных вертолетных конструкций.

7. Разработка конструкторской, технологической и эксплуатационной документации.

Все работы по интегрированному проектированию сборных вертолетных конструкций выполняются в единой базе данных проектируемого вертолета с применением конструкторских и технологических баз данных.

На основе предложенной концепции были разработаны принципы интегрированного проектирования сборных вертолетных конструкций:

1. *Принцип создания аналитических эталонов сборных вертолетных конструкций*

Трехмерные компьютерные модели мастер-геометрии, распределения пространства, аналитические эталоны элементов сборных вертолетных конструкций создаются методами аналитической геометрии с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM в единой информационной среде поддержки жизненного цикла вертолетов.

2. *Принцип создания мастер-геометрии облика вертолета*

Параметры облика нового вертолета минимальной массы и регламентируемой долговечности должны удовлетворять заданным перспективным тактико-техническим требованиям, Авиационным правилам, концепции создания нового вертолета и определяться из соотношений.

$$\begin{array}{ccccccc} TTT, & AP & \rightarrow & \text{схема} & \text{вертолета} & \rightarrow & \\ \rightarrow & m_0 = \frac{m_{\text{ЭК}} + m_{\text{об.упр}} + m_{\text{КОМ}}}{1 - [\bar{m}_K(p, n_p, N_{\text{рег}}, \text{ОГП}) + \bar{m}_{\text{СУ}}(p, \bar{N}_0, \gamma_{\text{ДВ}}, R, N_{\text{ДВ}}) + \bar{m}_T(p, C_T, k, L)]} & \rightarrow & & & & \end{array}$$

$\rightarrow m_{0\text{min}} \rightarrow p_{\text{opt}} \rightarrow \bar{N}_{\text{opt}} \rightarrow N_0 \rightarrow \sigma_i \rightarrow$ профиль лопасти \rightarrow

$\rightarrow (R, \lambda_1, \eta_1, D_{\text{ф}}, L_{\text{Р.В}}, L_{\text{в.о}}) \rightarrow (\text{tg} \varphi_{\text{Ц.М}}) \rightarrow$ аналитический эталон поверхности вертолета.

Этапы параметрического моделирования транспортного вертолета показаны на рис.3. Каждый из этапов претерпевает множество итераций, и они последовательно следуют друг за другом, тем самым позволяя достигнуть достаточной степени проработки проекта. Разработанные варианты моделей мастер-геометрии агрегатов и вертолета в целом изображены на рис.3.

3. *Принцип проектирования регулярных зон сборных вертолетных конструкций*

Конструктивные параметры и технология выполнения регулярных зон (р.з) вертолетных конструкций должны обеспечивать восприятие расчетных разрушающих нагрузок, регламентируемую долговечность при нагрузках, эквивалентных нагрузкам типового полета в эксплуатационной среде, заданный коэффициент усталостного качества (K_y), заданное качество внешней поверхности, степень герметичности и удовлетворять следующим неравенствам:

$$P_{разр} \geq P_{расч}(КП_{р.з}, \sigma_{др.з}, (N_{реглам.р.з}));$$

$$N_{реглам} \leq N_{расч.р.з}(КП_{р.з}, \sigma_{0экв}, \sigma_{к}, ТВ);$$

$$\Delta_3 < 0 \text{ при } P = P_{экспл}; \Delta h \leq 0,05\text{мм}; K_y \leq 3.$$

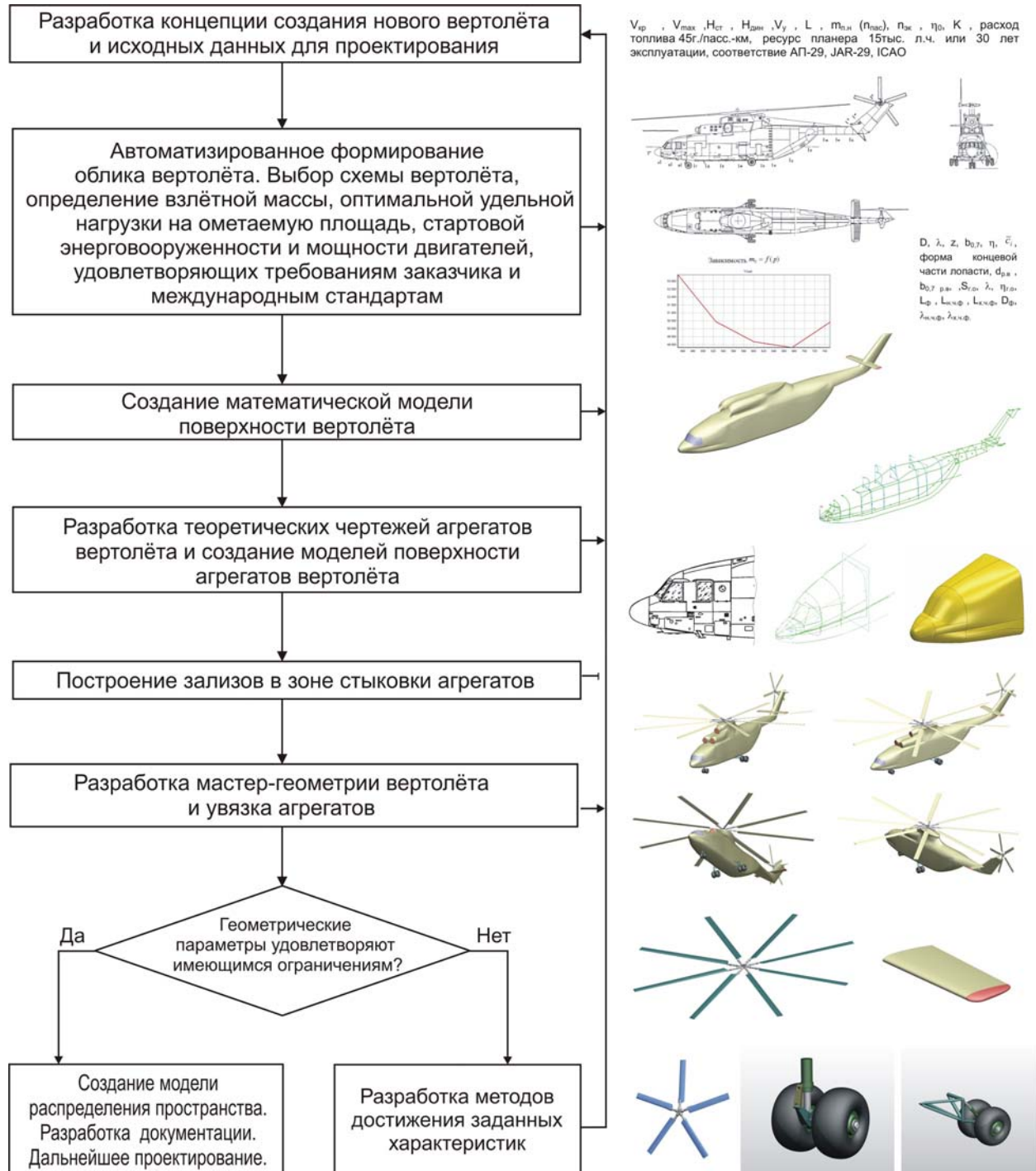


Рис. 3. Методика создания мастер-геометрии вертолёта

4. *Принцип проектирования нерегулярных зон сборных вертолетных конструкций*

Конструктивные параметры и технология выполнения нерегулярных зон (н.р.з) должны обеспечивать восприятие расчетных усилий в нерегулярной зоне при статическом нагружении, регламентируемую долговечность, качество внешней поверхности и герметичность, равные характеристикам регулярной зоны или превышающие их, и удовлетворять следующим неравенствам:

$$P_{\text{разр}} \geq P_{\text{расч}}(KП_{\text{н.р.з}}, \sigma_{\text{дн.р.з}}(N_{\text{реглам.н.р.з}})); \Delta h_{\text{н.р.з}} \leq \Delta h_{\text{р.з}}; \Delta z_{\text{н.р.з}} < \Delta z_{\text{р.з}};$$

$$N_{\text{реглам}} \leq \min(N_{\text{расч.н.р.з}}(KП_{\text{н.р.з}}, (\sigma_{0\text{ЭКВ}} \cdot \varepsilon_{\text{ЭКВ}}), \sigma_{\text{к}}, ТВ));$$

$$N_{\text{эксп}}(KП_{\text{н.р.з}}, \sigma_0, \sigma_{\text{к}}, ТВ)).$$

5. *Принцип поддержки и достижения живучести сборных вертолетных конструкций с усталостными трещинами*

Конструктивные параметры безопасно разрушаемых сборных вертолетных конструкций должны обеспечивать возможность контроля критических мест, обнаружения усталостных трещин и применения прогрессивных способов задержки их роста, восстановления несущей способности и герметичности поврежденной конструкции и удовлетворять следующим неравенствам:

$$(N_{\text{ост.СЗРТУ}}/N_{\text{ост.стр}}) > 1; \Delta z_{\text{СЗРТУ}} < 0.$$

Для реализации этих принципов необходима разработка научно обоснованных методов интегрированного проектирования.

6. *Принцип повышения аэродинамического качества*

Повышение аэродинамического качества является существенным фактором в улучшении летно-технических характеристик вертолета. Совершенствование несущего винта вертолета может осуществляться путём применения новых оптимизированных аэродинамических профилей, оптимизации формы концевых частей лопасти, а также угла отгиба законцовки лопасти вниз.

Наконец, увеличение геометрической крутки лопасти, применение напльва и непрямоугольной формы лопасти в плане дают дополнительные возможности для увеличения аэродинамического качества несущего винта.

Проведение всех перечисленных выше мероприятий может реально увеличить на 3-5% относительный КПД несущего винта на режиме висения и поднять его максимальное аэродинамическое качество в поступательном полете на 7-10%.

Повышение аэродинамического качества всего вертолета предполагает проведение комплекса работ по снижению сопротивления несущих элементов конструкции вертолета и уменьшению сопротивления, вызываемого интерференцией между отдельными элементами конструкции.

В частности, целесообразно применять убирающееся шасси, снижать сопротивление втулок, несущего и рулевого винтов, улучшать обтекание в зоне между несущим винтом и фюзеляжем, рассматривать возможность применения отсоса пограничного слоя или выдува воздуха для дополнительного снижения лобового сопротивления.

Методы создания мастер-геометрии, моделей распределения пространства и эталонов сборных вертолетных конструкций

Развитие компьютерной техники и появление компьютерных систем, таких, как CATIA, UNIGRAPHICS, предоставили возможность проводить интегрированное проектирование сборных вертолетных конструкций.

Однако применение таких систем существенно изменяет как традиционную форму конструкторско-технологической документации, так и сам процесс проектирования деталей и узлов, делая его более наглядным и определенным. Правда, использование конструкторско-технологической документации в компьютерном виде порождает и новые трудности, связанные с легкостью внесения изменений в компьютерные модели и невысокой надежностью длительного хранения информации на компьютерных носителях.

Сегодня под компьютерным проектом понимают систему конструкторских, расчетных и технологических моделей, а также данные для сертификации, управления качеством, технического обслуживания в эксплуатации, утилизации, т.е. управления жизненным циклом вертолета.

Модель геометрии детали в компьютерном виде (далее – аналитический эталон, или анэт детали) является базовым, первичным элементом конструкции при компьютерном конструировании новой машины. Он содержит в себе эталонные координаты всех точек поверхности детали в заданной системе координат и представляет собой основу компьютерного проекта геометрии вертолета.

Компьютерный проект вертолета включает в себя следующие модели:

- модель № 1. Мастер-геометрия вертолета (модель поверхности вертолета, определяющая все точки, лежащие на поверхности вертолета);
- модель № 2. Модель распределения внутреннего пространства вертолета;
- модель № 3. Модели соединений и стыков по конструктивно-технологическим разъемам;
- модель № 4. Модель геометрии всего изделия (аналитические эталоны всех деталей, узлов, агрегатов и вертолета в целом), т.е. модель полного компьютерного определения вертолета.

Рассмотрим процесс создания каждой из перечисленных моделей вертолета.

Модель №1. Мастер-геометрия вертолета.

Процесс создания модели №1 можно разделить на следующие этапы:

- 1) разработка математической модели вертолета;
- 2) разработка теоретических чертежей агрегатов;
- 3) создание моделей поверхности агрегатов, объединение их в модель поверхности вертолета;
- 4) создание каркаса (нанесение следов базовых поверхностей конструктивно-силового набора (КСН) в объеме теоретического чертежа (ТЧ) и конструктивно-силовой схемы (КСС)).

Модель №2. Модель распределения внутреннего пространства вертолета.

Процесс создания модели №2 можно разделить на следующие этапы:

- 1) разработка конструктивно-технологического членения;
- 2) панелирование фюзеляжа, хвостовой балки и оперения;
- 3) разработка схемы трансмиссии (рис. 4);
- 4) создание конструктивно-силового набора;
- 5) создание элементов конструкции фюзеляжа, хвостовой балки и оперения;
- 6) создание элементов конструкции несущего винта;
- 7) создание элементов конструкции рулевого винта;
- 8) размещение оборудования, приборов, покупных изделий и т.д.;
- 9) компоновка систем;

- 10) компоновка кабины экипажа;
- 11) компоновка пассажирской кабины (грузовой кабины);
- 12) стыковка агрегатов и систем;
- 13) создание дерева проекта вертолета.

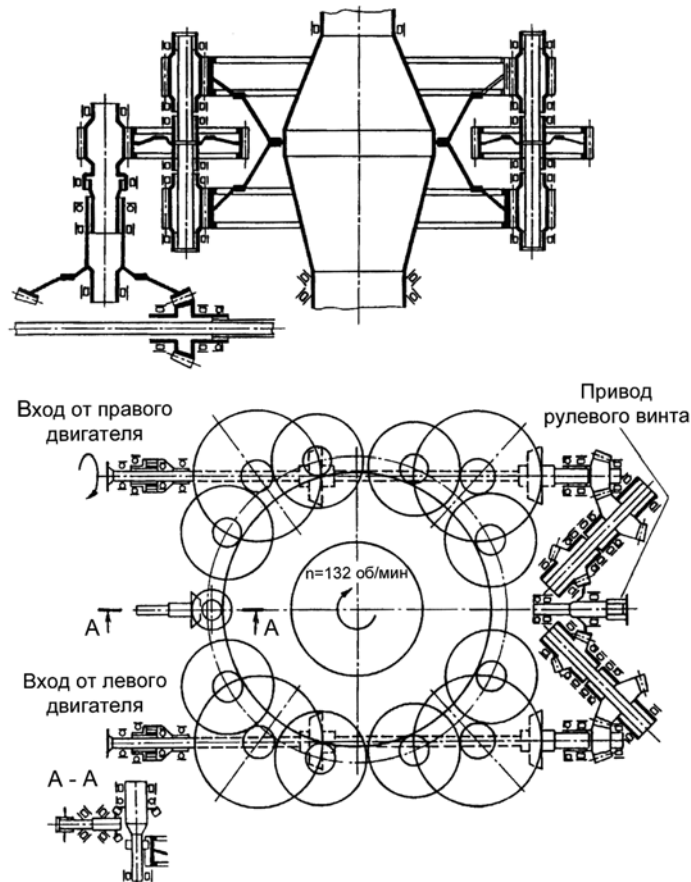


Рис. 4. Кинематическая схема главного редуктора вертолета Ми-26

Модель №3. Модели соединений и стыков по конструктивно-технологическим разъемам.

Разработка модели №3 включает в себя следующие этапы:

1. Полное определение конструкции соединений и стыков.
2. Назначение взаимоувязанной системы допусков на элементы стыка.

Модель №4. Модель геометрии всего изделия.

Разработка модели №4 включает в себя следующие этапы:

1. Позонное моделирование:
 - размерно-точных компонентов конструкции со всеми связями и сопряжениями;
 - системы с конструктивными элементами крепления;
 - очертаний агрегатов и приборов с точной привязкой элементов крепления, а также проверку элементов конструкции для определения взаимопроникновения и зазоров, собираемости.
2. Посекционное моделирование:
 - аналитических эталонов всех элементов конструкции;
 - базы данных чертежей;
 - наполнения атрибутивной информацией.
3. Поагрегатное моделирование (рис.5,6):

- систем, проходящих через агрегаты без технологического членения;
- сбор и контроль всей информации по проекту.

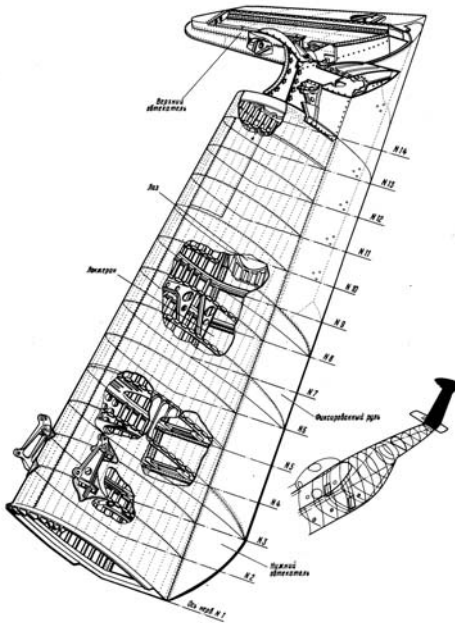


Рис. 5. Килевая балка Ми-26

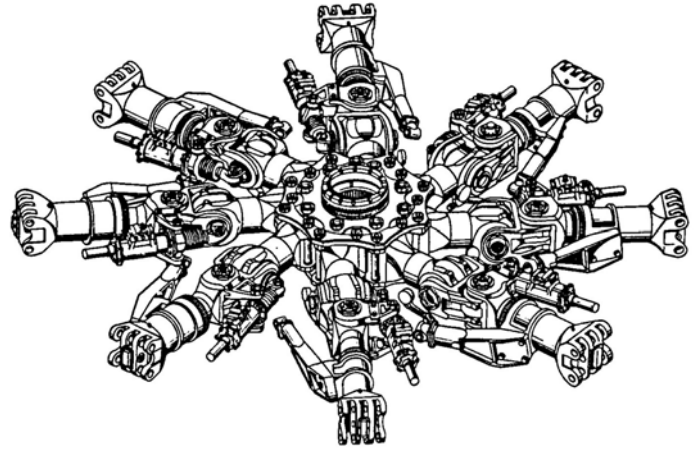


Рис. 6. Втулка несущего винта Ми-26

В качестве исходных данных для разработки параметрических компьютерных моделей вертолета принимают основные данные, полученные в результате общего автоматизированного проектирования вертолета: схема вертолета, весовые и геометрические данные, летно-технические характеристики.

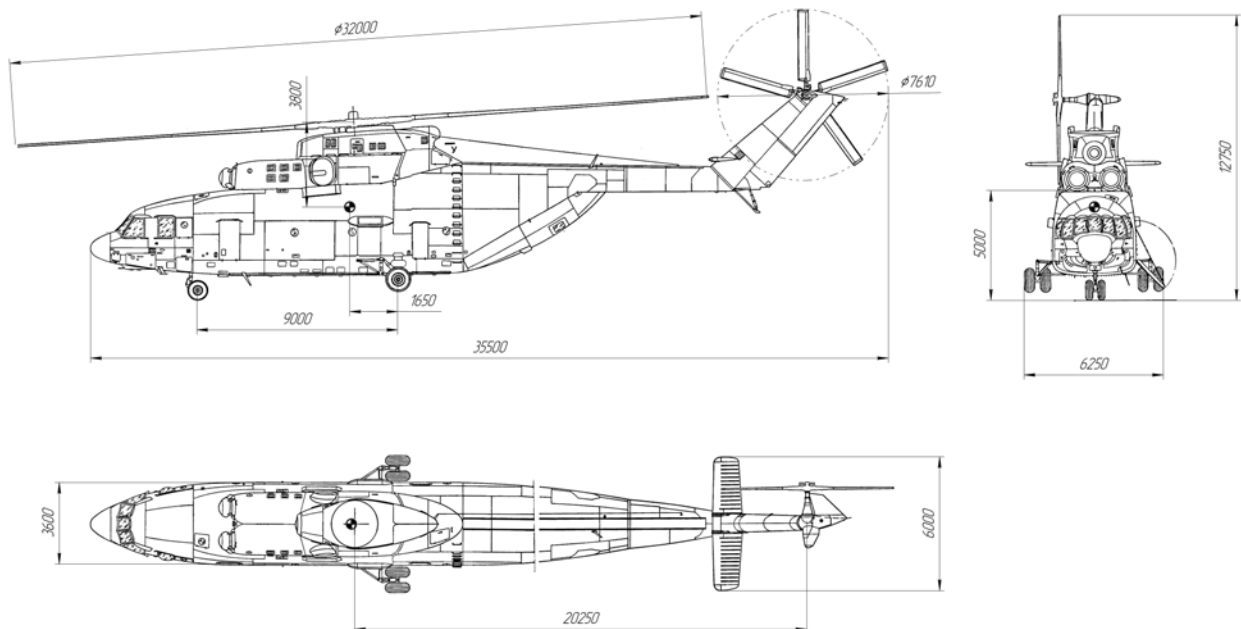


Рис. 7. Общий вид тяжёлого транспортного вертолётa

Общий вид (рис. 7) и компоновка (рис. 8) являются основой для создания

мастер-геометрии, модели распределения пространства и аналитических эталонов деталей вертолѐта.

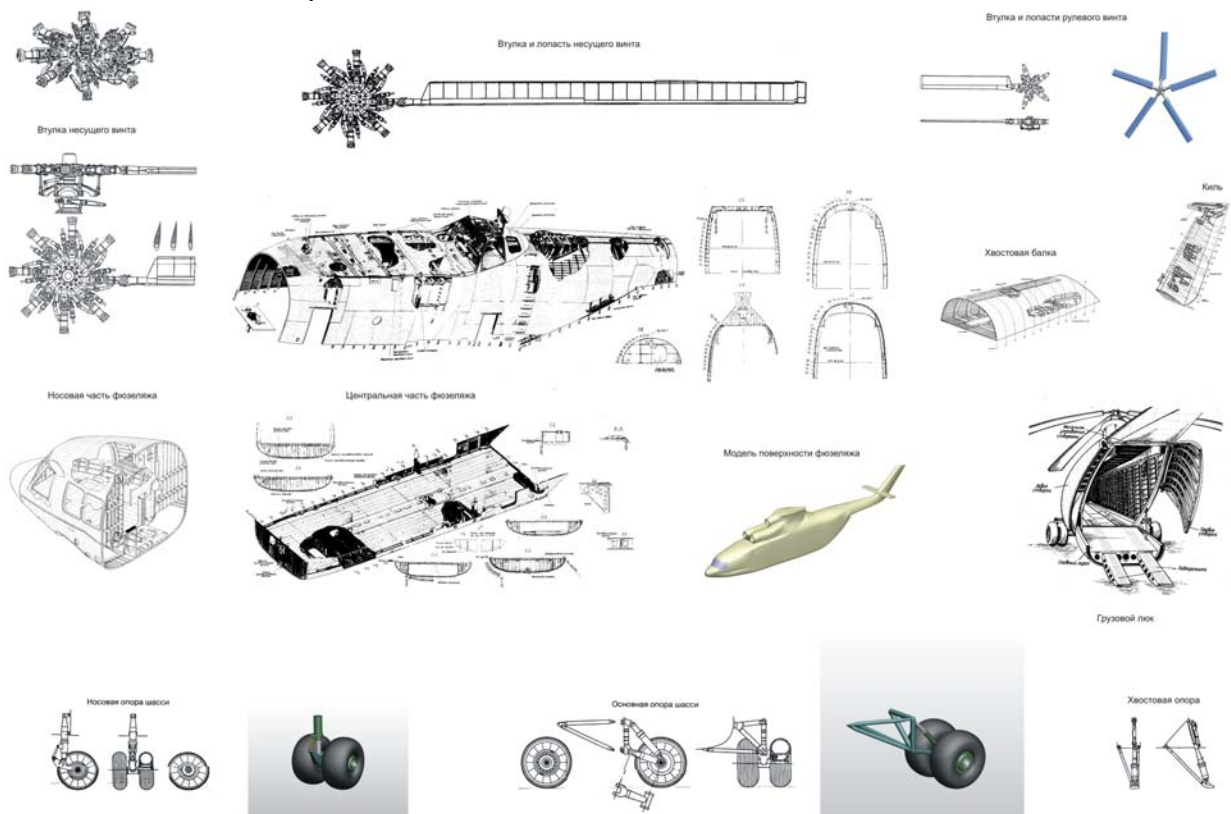


Рис. 8. Компоновка агрегатов тяжѐлого транспортного вертолѐта

Список литературы

1. Авиационные правила. Часть 29-я. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории. – М.: МАК, 1995. – 191 с.
2. Проектирование вертолетов / В.С. Кривцов, Я.С. Карпов, Л.И. Лосев: учебник. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 344 с.
3. Методологии интегрированного проектирования и моделирования сборных самолѐтных конструкций / Гребеников А.Г. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т. «ХАИ», 2006. – 532 с.
4. Проектирование тяжѐлых одновинтовых вертолѐтов и их трансмиссий. Ч.2 / А.Г. Гребеников, А.М. Гуменный, А.И. Долматов и др.: Учебник. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т. «ХАИ», 2007. – 422 с.
5. Тищенко М.Н., Некрасов А.В., Радин А.С. Вертолеты. Выбор параметров при проектировании. – М.: Машиностроение, 1976. – 356 с.