



ВЕРТОЛЕТЫ РОССИИ

Разработка прогрессивной технологии монтажа силовой установки вертолета Ми-24/Ми-35 на основе стохастического моделирования пространственных многозвенных размерных цепей и математических моделей сборок

Краткое описание работы, выполненной в 2018 г. и представленной на конкурс «Авиастроитель года»

Авторы проекта:

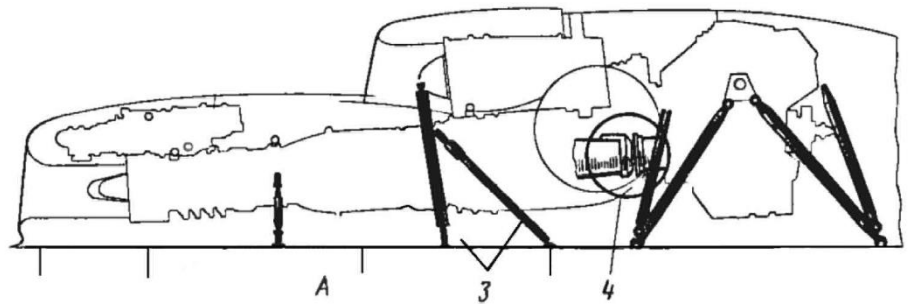
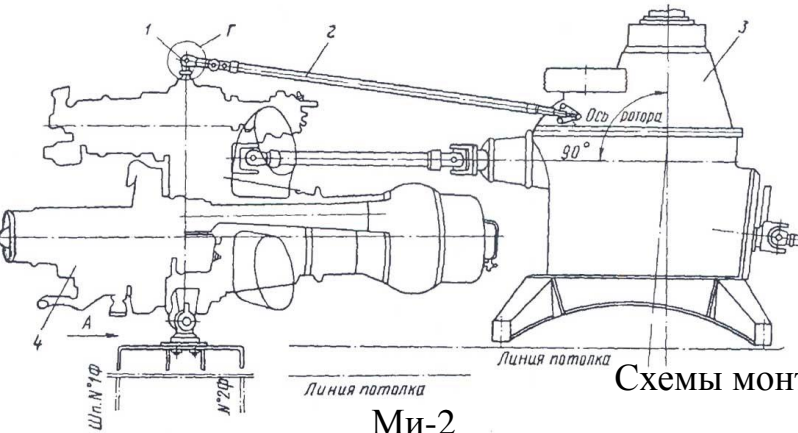
Чотчаева С.К., заведующая лабораторией, канд. техн. наук

Чигринец Е.Г., начальник группы, канд. техн. наук

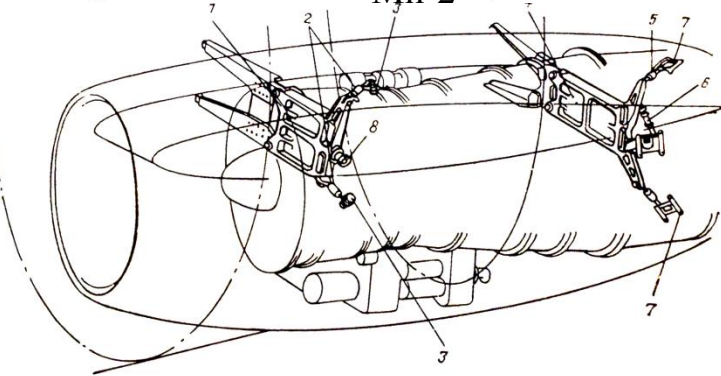
**Ростовский вертолетный производственный комплекс
ПАО «Роствертол» им. Б.Н. Слюсаря**



Технологическая проблема обеспечения точности замыкающих звеньев многозвенных связанных трехмерных размерных цепей, возникающих при монтаже авиационных агрегатов



Схемы монтажа силовой установки вертолетов



Крепление реактивного двигателя на пилоне

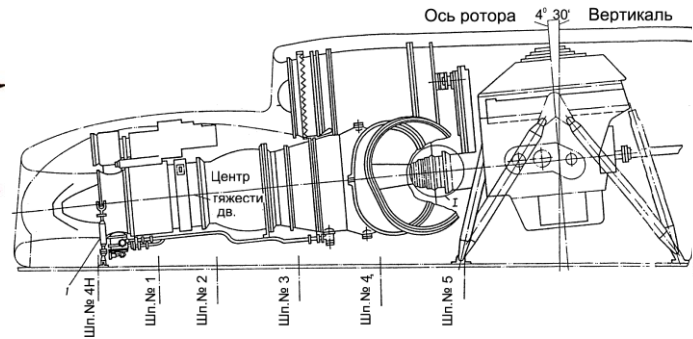
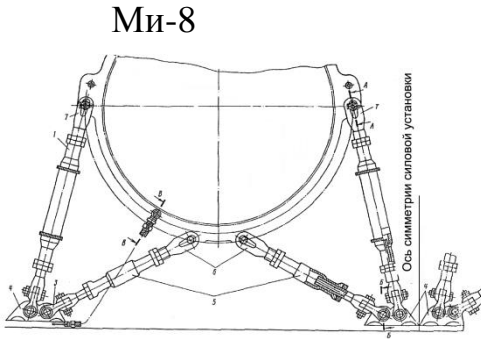


Схема монтажа силовой установки вертолета Ми-24

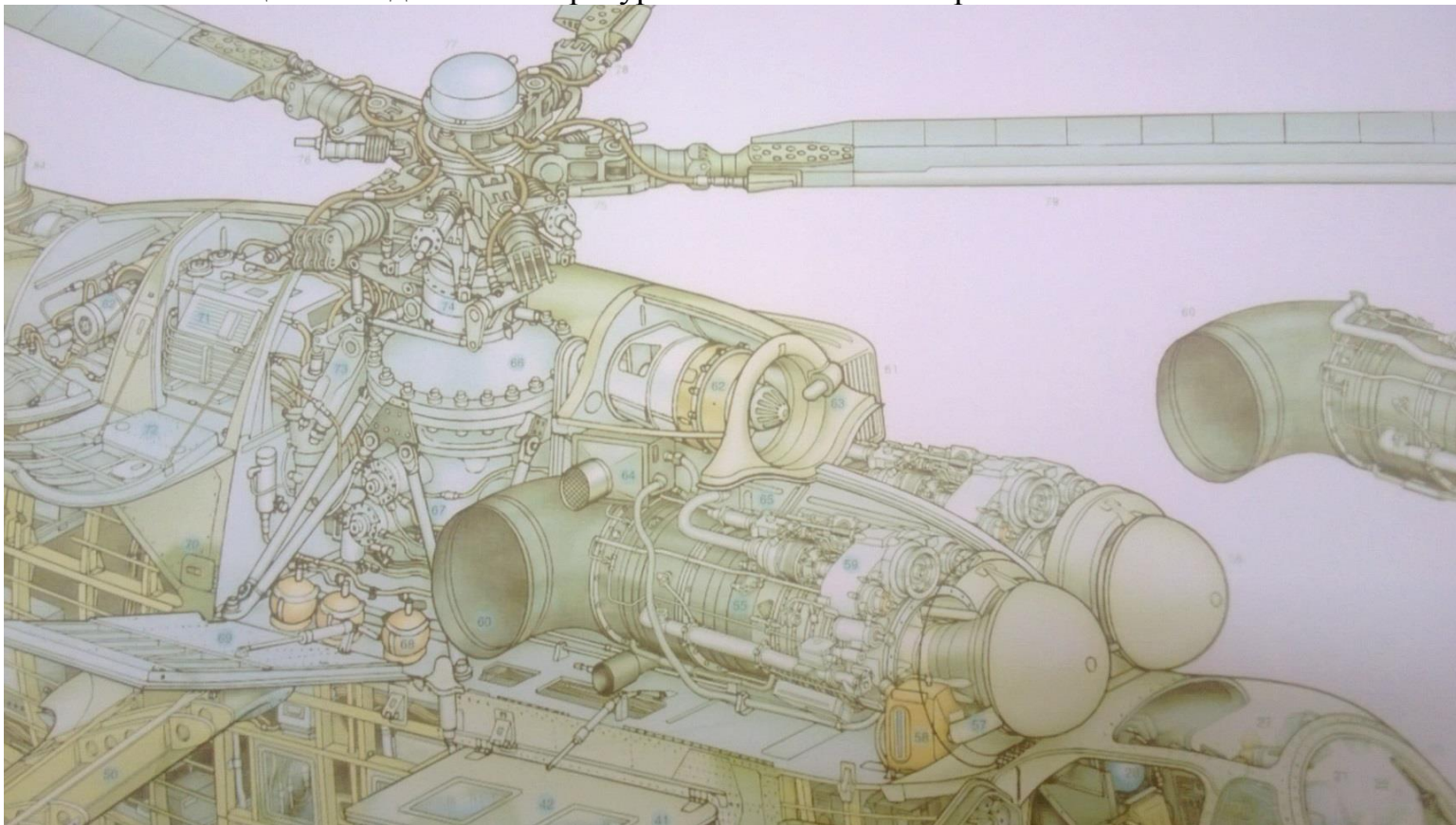


Ми-8

Такие операции окончательной сборки летательных аппаратов как монтаж силовых установок, трансмиссий, систем управления, отличаются наличием размерных цепей, которые характеризуются многозвенностью, пространственностью, наличием одновременно как линейных, так и угловых звеньев, связанностью, т.е. свойством, когда изменение одного из звеньев влияет сразу на два и больше замыкающих размера. Достижение точности замыкающих звеньев таких размерных цепей, выполняется, как правило, методом регулирования и связано с большими трудностями из-за сложности и больших габаритов собираемых изделий, когда точки регулирования и контроля разнесены друг от друга, а размеры звеньев заданы в различных системах координат, а их реальные значения не поддаются прямому измерению. Регулировочные работы производятся непосредственно на собираемом изделии, имеют высокую трудоемкость и требуют большого количества контрольных замеров



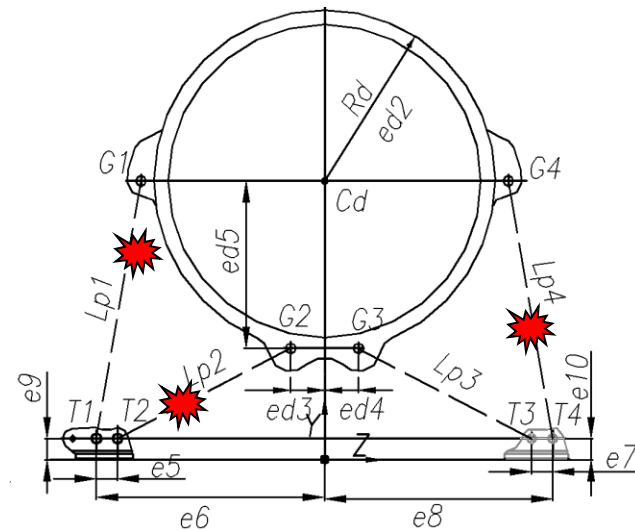
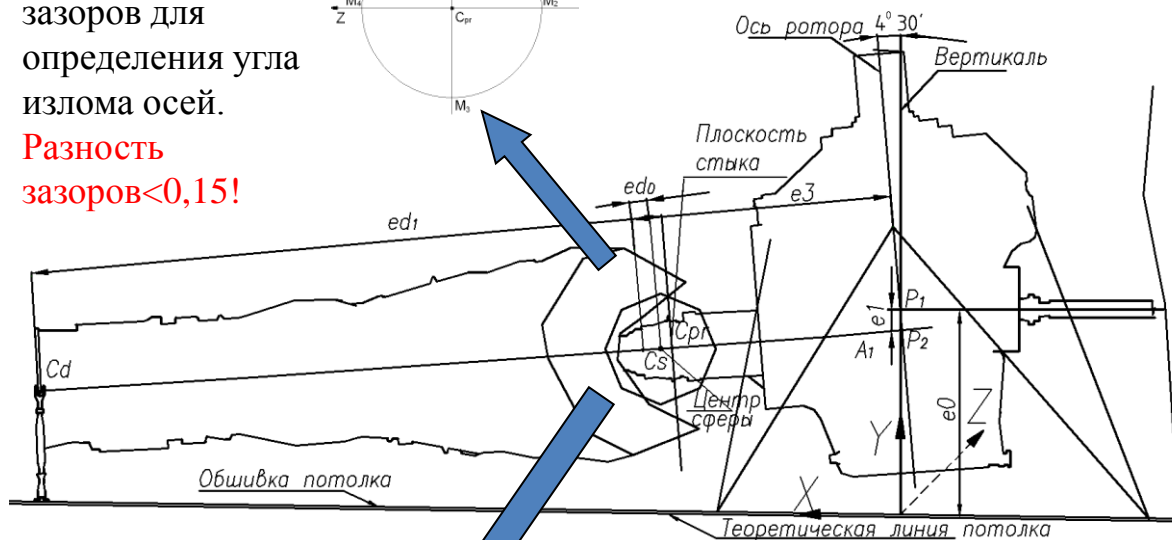
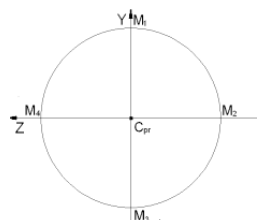
Сравнительно небольшой размер партий выпускаемых самолетов и вертолетов не позволяет производить подробный статистический анализ точности сборки и полей рассеяния составляющих и замыкающих звеньев, как это регламентируется в руководящих технологических документах. Однако виртуальные компьютерные модели сложных размерных цепей позволяют путем массированных симуляций выполнить статистический анализ влияния составляющих звеньев и компенсаторов на результирующую точность замыкающего звена. Они могут быть эффективно использованы для снижения трудоемкости сборочных работ, для повышения точности сборки, в конечном итоге оказывающей на надежность и ресурс летательного аппарата.



Нормируются угол излома осей двигателя и редуктора, а также угол поворота двигателя вокруг своей оси

Схема измерения зазоров для определения угла излома осей.

Разность зазоров <math>< 0,15!</math>



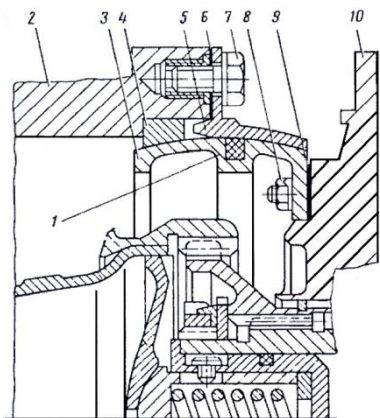
Регулирование путем изменения длин подкосов

«Неподвижные» звенья размерной цепи:

- размеры редуктора (готового изделия);
- размеры двигателя (готового изделия);
- размеры фюзеляжа;
- размеры, обеспеченные монтажом редуктора на фюзеляже;
- размеры кронштейнов крепления подкосов двигателя.

Размеры подвижных компенсаторов

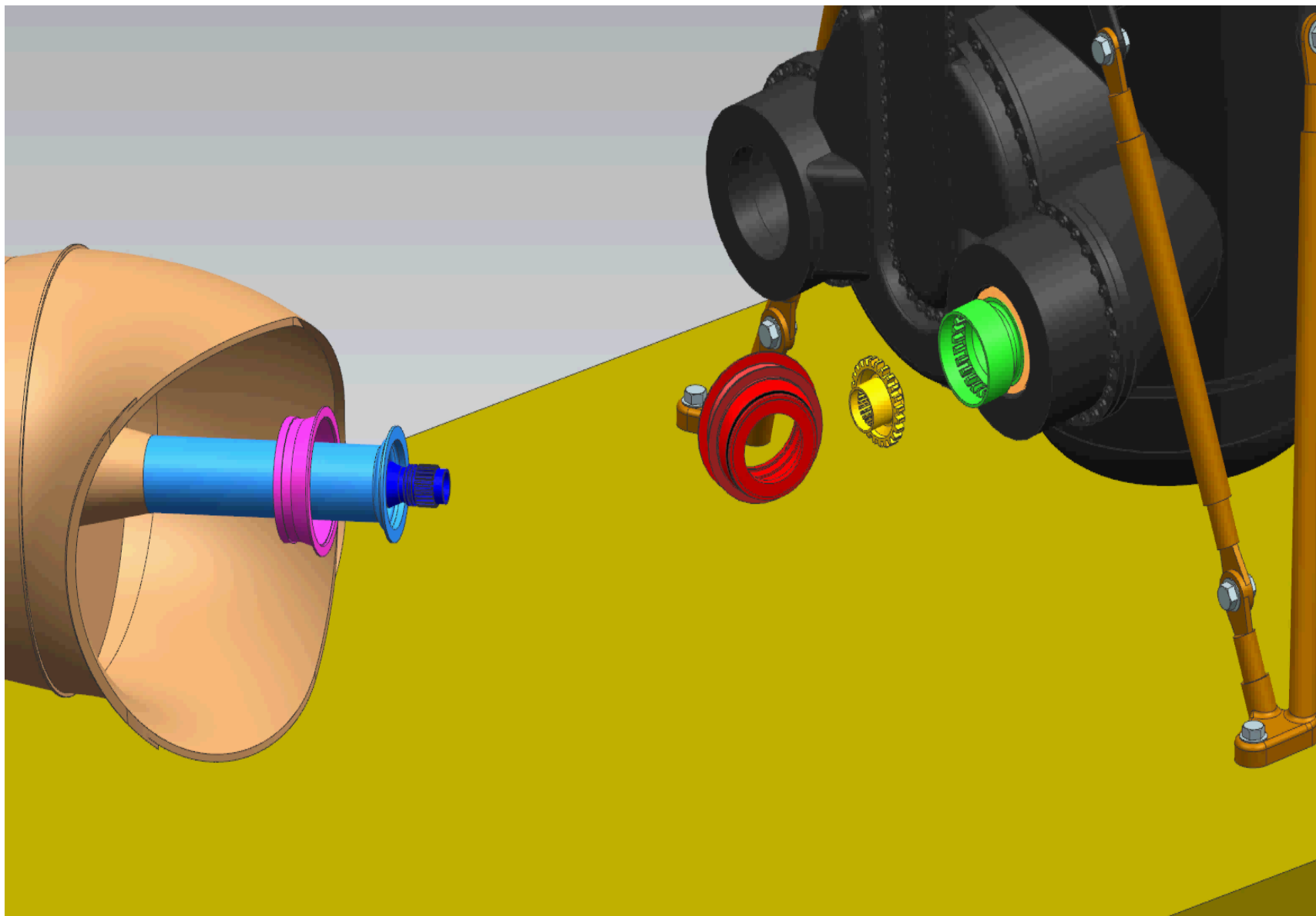
Размеры замыкающих звеньев

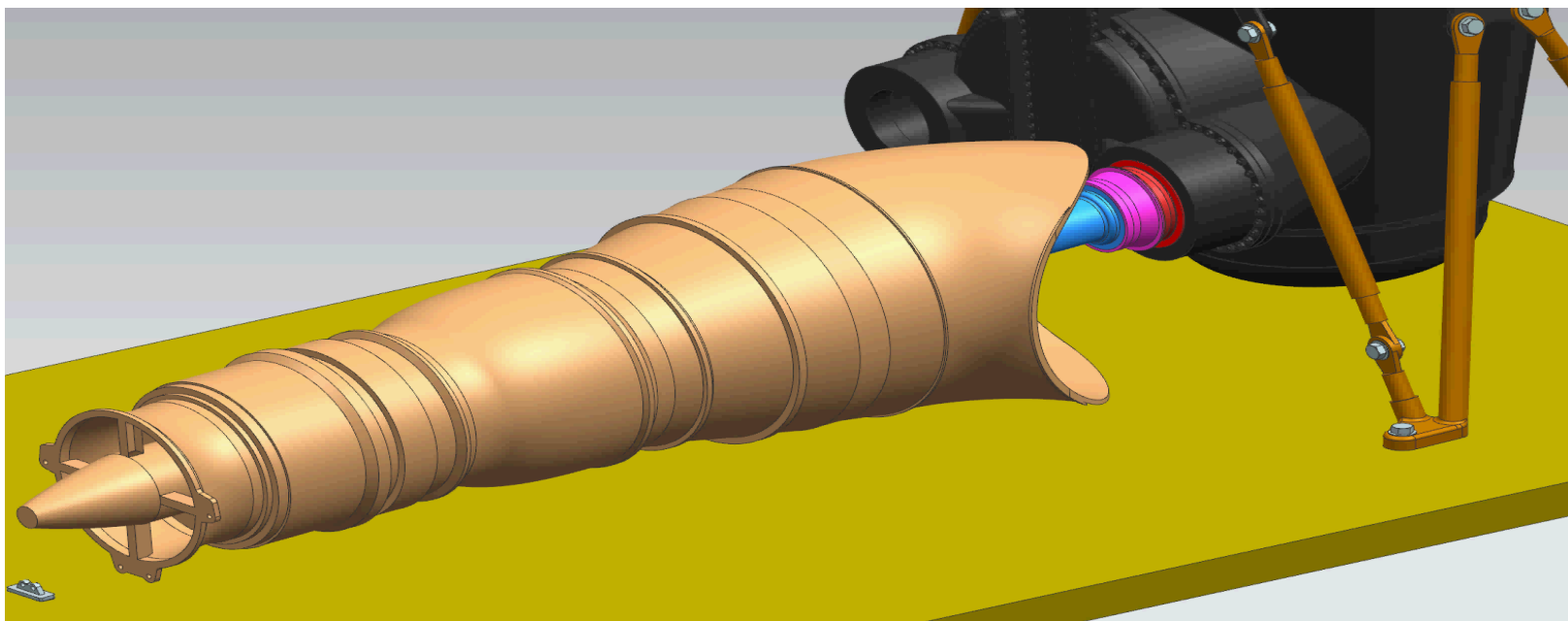
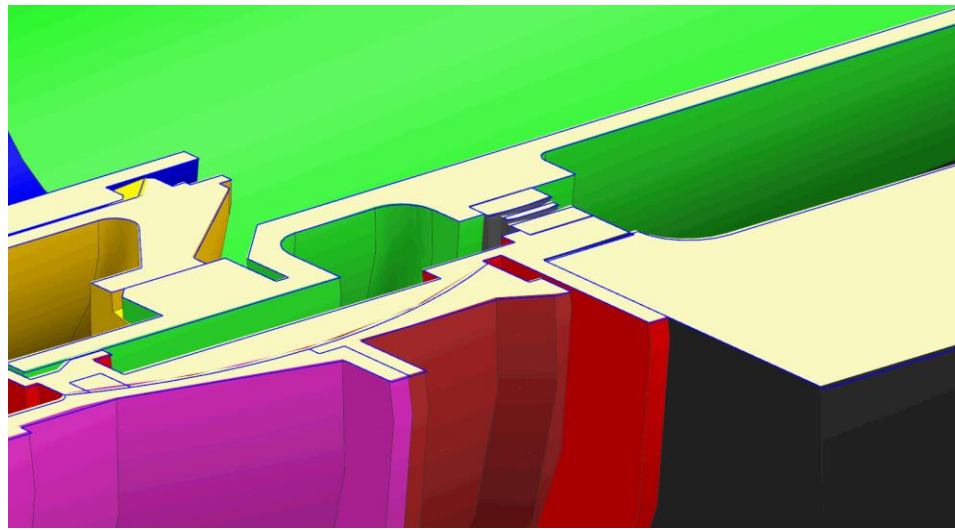
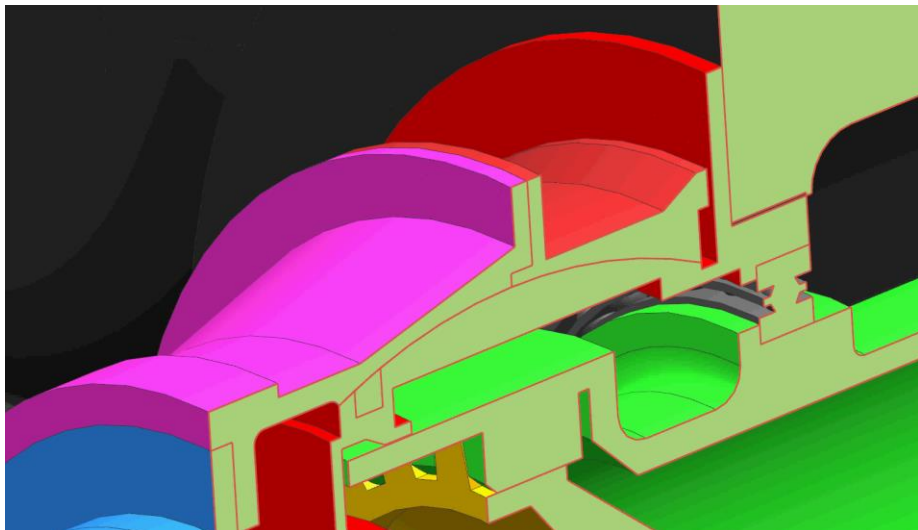


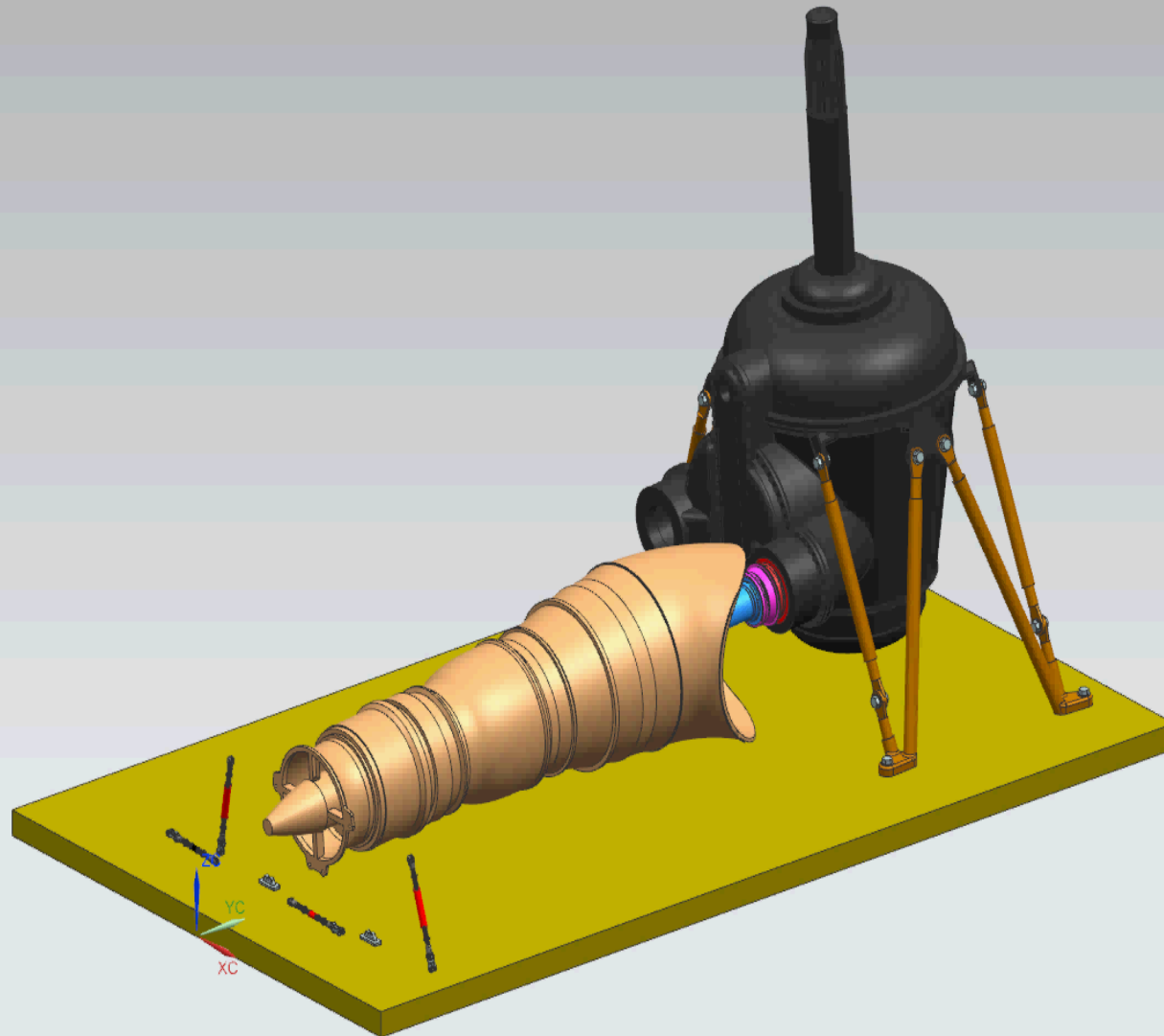
Оба замыкающих звена одновременно изменяются при регулировании!

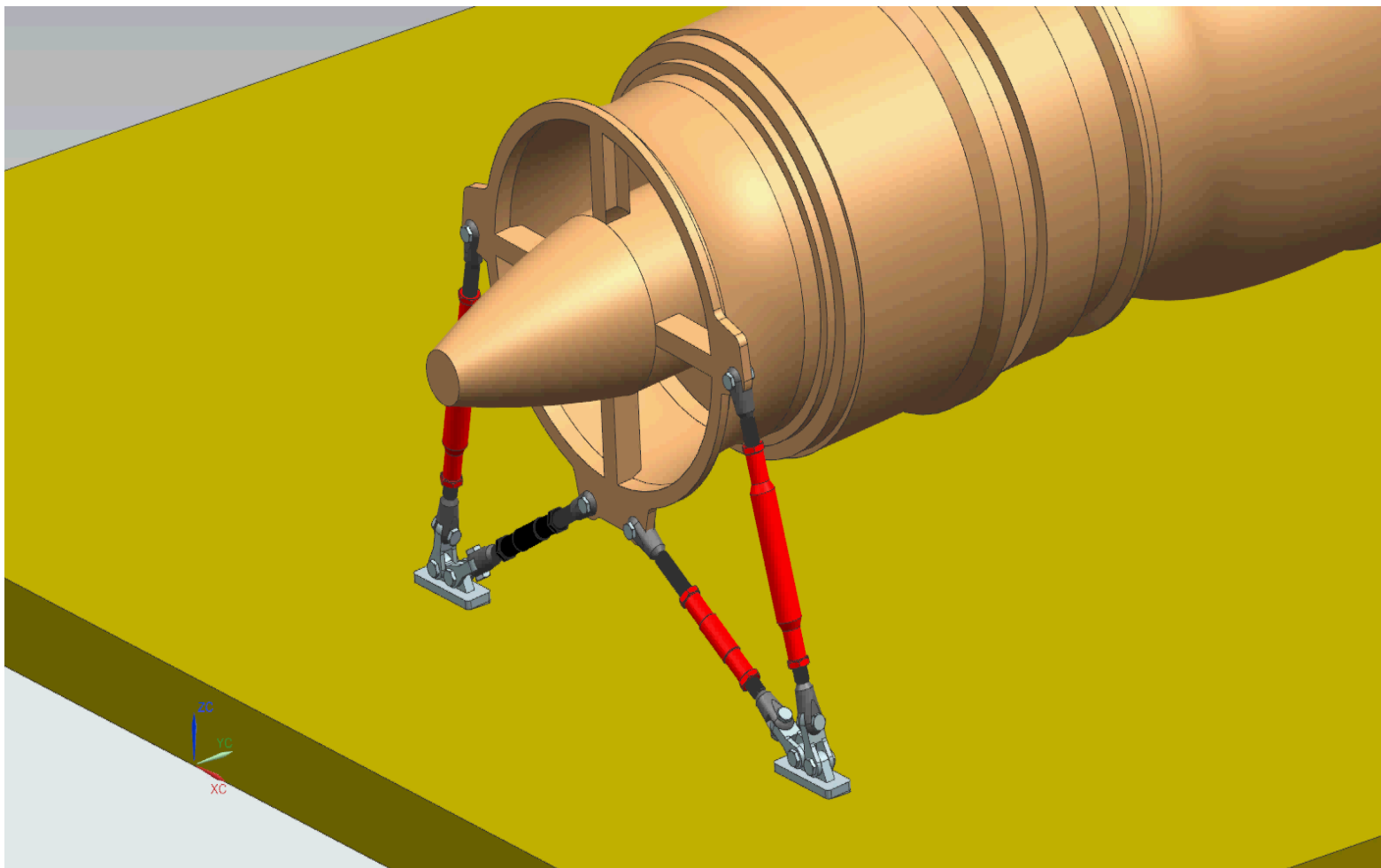


Сборка шарового соединения, основа для совмещения осей двигателя и главного редуктора









Построение математической модели сборки включает геометрическое описание расположения всех монтируемых элементов в системе координат вертолета. Решение прямой задачи состоит в определении длин подкосов (подвижных компенсаторов), при заданных величинах зазоров между плоскостями стыка и угла поворота двигателя вокруг его оси, определяемого по смещению ротора, а также в определении угла излома осей двигателя и редуктора. Таким образом, имитации конкретной сборки отвечает ситуация, соответствующая поступлению на сборку комплекта сборочных единиц, деталей и покупных изделий. Предполагалось, что бракованные детали и узлы отсутствуют.

Построение начинается с определения направляющего вектора входного вала главного редуктора, далее строится векторное уравнение его оси, откуда определяются координаты центра сферы и восстанавливается уравнение привалочной плоскости редуктора по координатам точек замера зазоров. Далее путем минимизации функции Φ восстанавливается вектор нормали к плоскости двигателя, который является направляющим вектором его оси. Это позволяет перейти к переднему поясу двигателя и определить координаты точек его крепления к подкосам, а зная угол поворота двигателя вокруг своей оси (отсчет по рискам), выполнить преобразование локальных координат переднего пояса к глобальным координатам. Отсюда определяются длины подкосов.

$$\tilde{\mathbf{a}}_1 = (\cos \psi \quad \sin \psi \quad \sin \eta)^T \Rightarrow \mathbf{a}_1 = \frac{\tilde{\mathbf{a}}_1}{|\tilde{\mathbf{a}}_1|} \Rightarrow \bar{\mathbf{r}}(l_1) = P_2 + \mathbf{a}_1 \cdot l_1$$

$$N_i = M_i + \delta_i \cdot \bar{\mathbf{a}}_1 \Rightarrow \bar{\mathbf{Q}} \cdot N_i + R = 0$$

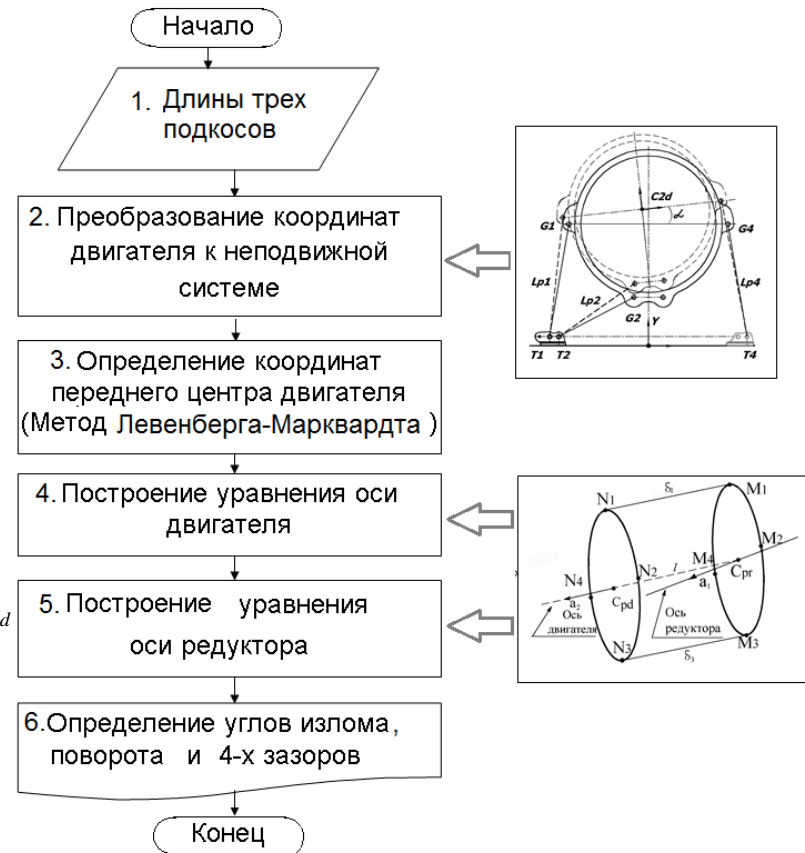
$$\min_{\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}} \Phi(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}) = \sum_{i=1}^4 (\bar{\mathbf{Q}} \cdot N_i + R)^2 = \sum_{i=1}^4 (\tilde{A}N_{ix} + \tilde{B}N_{iy} + \tilde{C}N_{iz} + 1)^2$$

$$\begin{cases} \mathbf{r}_{A1}(l) = C_{pr} + a_1 l \\ Ax_{cpd} + By_{cpd} + Cz_{cpd} + 1 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \begin{pmatrix} x_{cpd} \\ y_{cpd} \\ z_{cpd} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{cpr} \\ y_{cpr} \\ z_{cpr} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{1x} \\ a_{1y} \\ a_{1z} \end{pmatrix} \cdot l \\ Ax_{cpd} + By_{cpd} + Cz_{cpd} + 1 = 0 \end{cases}$$

$$\mathbf{a}_2 = (A \quad B \quad C)^T / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \quad C_d = \bar{\mathbf{r}}(e_{d1} + e_{d0}) = C_s + \bar{\mathbf{a}}_2 \cdot (e_{d1} + e_{d0})$$

$$\alpha = 2 \frac{\varepsilon}{D_f} \Rightarrow C_{2d} = -(C_{d,2} - P_{2,2}) \quad C_{d,1}^T \Rightarrow G^{compl} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} G_x^d \\ G_y^d \end{pmatrix} + C_{2d}$$

$$Lp_i = |T_i - Gt_i|; \quad i = 1, 2, 3$$





Векторная модель 3D связанной размерной цепи монтажа силовой установки вертолета - 12

Постановка этой задачи предполагает по заданным или измеренным размерам трех подкосов определение угла излома осей двигателя и редуктора, или, что то же самое, 4 зазоров между привалочными плоскостями двигателя и редуктора. Внутренние размеры сборки, т.е. составляющих звеньев размерной цепи принимаются равными номинальным или заключенным внутри поля допуска.

Отметим, что постановка уже трех подкосов лишает двигатель всех степеней свободы. В то же время установка двух подкосов, например, первого и второго, позволяет двигателю смещаться, как показано на рисунке.

Преобразуя координаты точек на двигателе в неподвижную систему координат, и минимизируя нелинейный функционал Дельта, описывающий размерную кинематическую связь на переднем поясе, определяем вначале угол поворота и координаты центра переднего торца двигателя. Далее по известному положению центра переднего торца и координатам сферы определяется направляющий вектор оси двигателя a_2 . Из уравнения для оси редуктора, которое определяется так же, как в предыдущей задаче, определяются угол излома и все зазоры между привалочными плоскостями.

$$\tilde{a}_1 = (\cos \psi \quad \sin \psi \quad \sin \eta)^T \Rightarrow a_1 = \frac{\tilde{a}_1}{|\tilde{a}_1|} \Rightarrow \bar{r}(l_1) = P_2 + a_1 \cdot l_1$$

$$N_i = M_i + \delta_i \cdot \bar{a}_1 \Rightarrow \bar{Q} \cdot N_i + R = 0$$

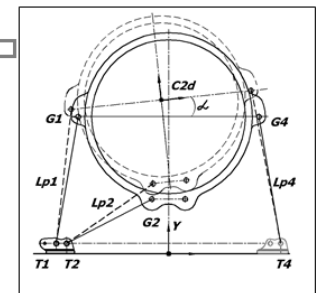
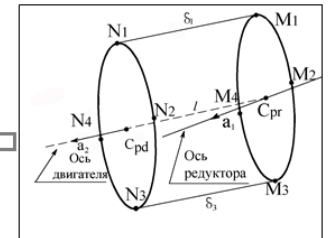
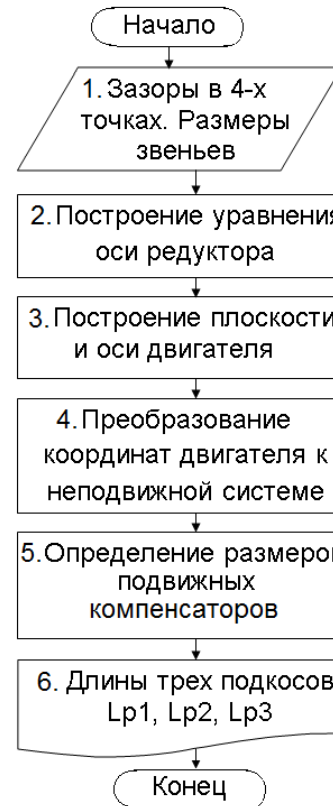
$$\min_{\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}} \Phi(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}) = \sum_{i=1}^4 (\bar{Q} \cdot N_i + R)^2 = \sum_{i=1}^4 (\tilde{A}N_{ix} + \tilde{B}N_{iy} + \tilde{C}N_{iz} + 1)^2$$

$$\begin{cases} r_{A1}(l) = C_{pr} + a_1 l \\ Ax_{cpd} + By_{cpd} + Cz_{cpd} + 1 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \begin{pmatrix} x_{cpd} \\ y_{cpd} \\ z_{cpd} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{cpr} \\ y_{cpr} \\ z_{cpr} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{1x} \\ a_{1y} \\ a_{1z} \end{pmatrix} \cdot l \\ Ax_{cpd} + By_{cpd} + Cz_{cpd} + 1 = 0 \end{cases}$$

$$a_2 = (A \quad B \quad C)^T / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \quad C_d = \bar{r}(e_{d1} + e_{d0}) = C_s + \bar{a}_2 \cdot (e_{d1} + e_{d0})$$

$$\alpha = 2 \frac{\varepsilon}{D_f} \Rightarrow C_{2d} = (-(C_{d,2} - P_{2,2}) \quad C_{d,1})^T \Rightarrow G^{compl} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} G_x^d \\ G_y^d \end{pmatrix} + C_{2d}$$

$$Lp_i = |T_i - Gt_i|; \quad i = 1, 2, 3$$



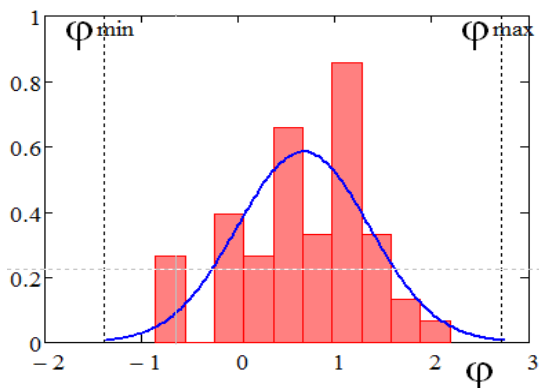
Исследование влияния полей допусков составляющих звеньев на поле рассеяния компонентов замыкающих звеньев

Исследованием 50 виртуальных сборок было установлено, что разработанные численные методы решения прямой-обратной задач для размерной цепи обеспечивал восстановление исходных положений привалочных плоскостей с точностью не хуже 0,005 мм, т.е. с погрешностью примерно в 5 раз меньшей, чем цена деления контрольных щупов. Тем самым было показано, что используемые в алгоритмах приближенные численные методы обеспечивают необходимую точность и самосогласованность результатов решения прямой и обратной задач.

Исследование влияния полей допусков составляющих звеньев на поле рассеяния компонентов замыкающих звеньев производилось путем многократных численных симуляций виртуальных сборок и последующего статистического анализа. Было установлено, что процент собираемости без регулирования составил 10 реализаций, т.е. всего приблизительно 20%.

Были также определены необходимые диапазоны регулирования компенсаторов

Определение требуемого диапазона регулирования подвижных компенсаторов для обеспечения гарантированной собираемости



Номограмма и эмпирическая плотность распределения (нормального) углов излома осей при номинальных длинах подкосов

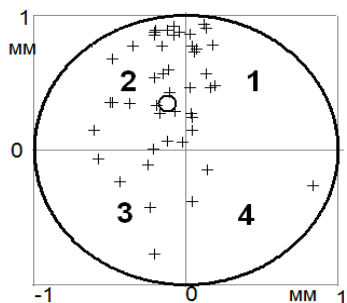
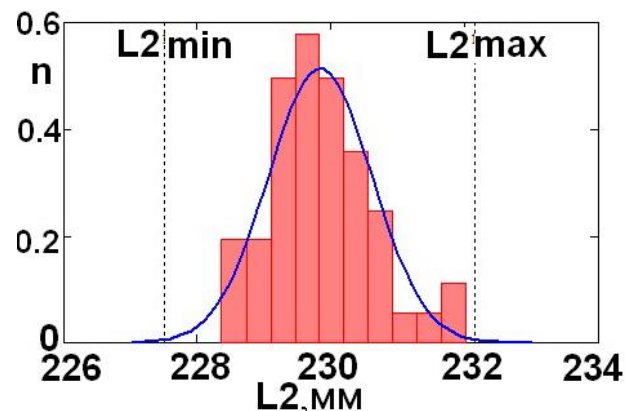
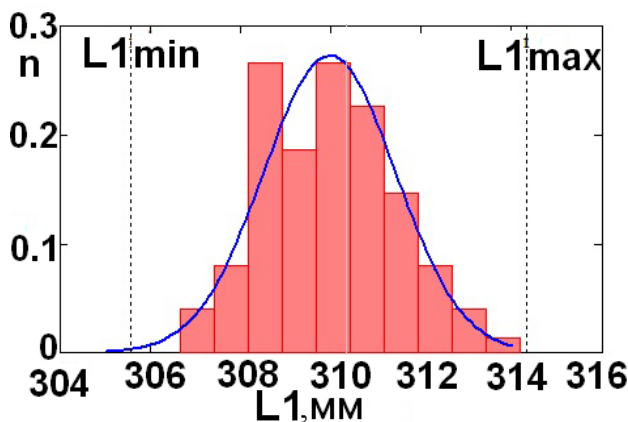
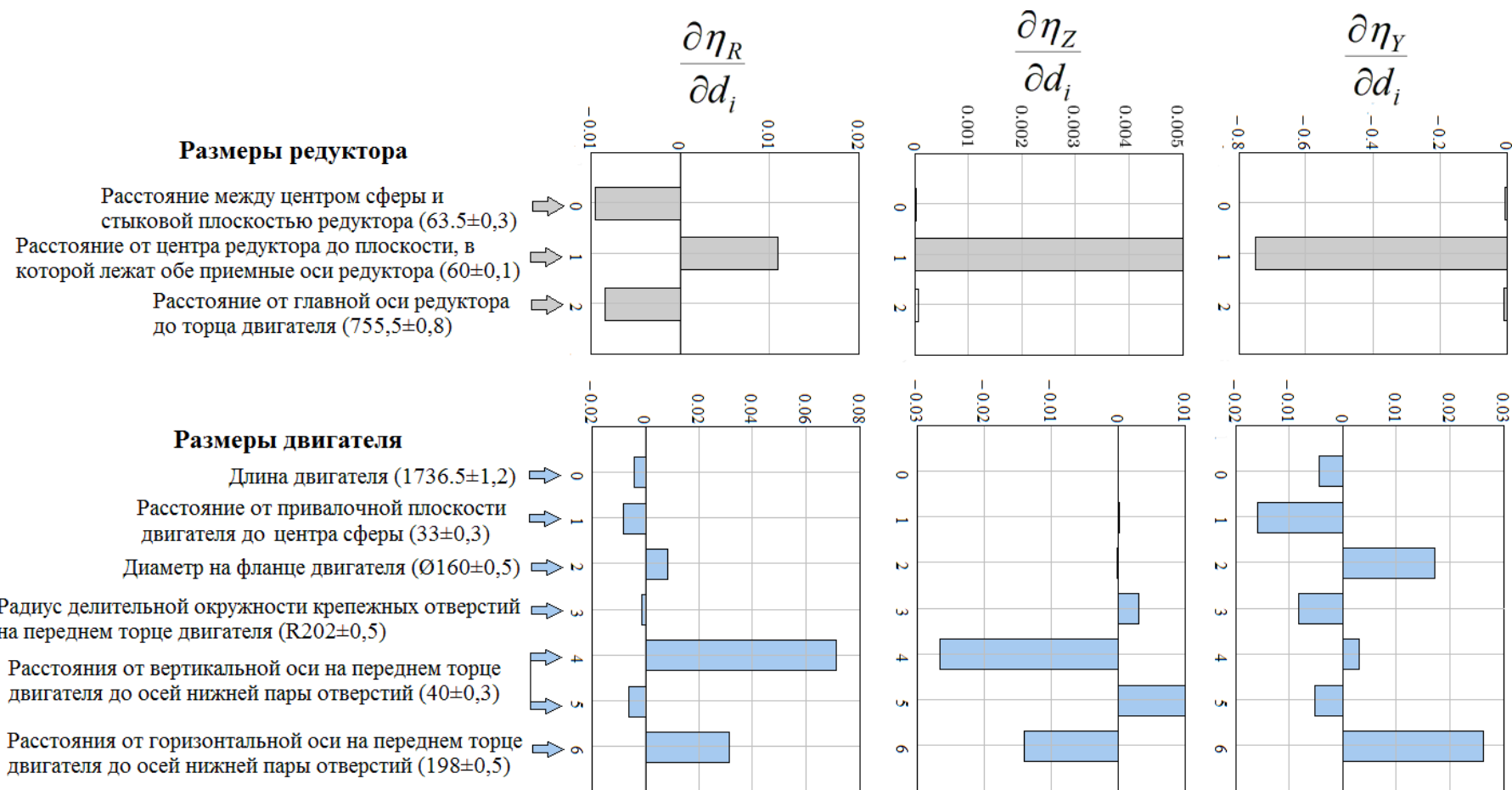


Диаграмма рассеяния положений центра переднего торца двигателя



(Все 4 зазора и остальные размеры сборки генерировались случайно и лежали внутри заданного поля допуска)

На основе полученных моделей была выполнена оценка возможности и эффективности ужесточения отдельных размеров, входящих в рассматриваемую размерную цепь. Общее число звеньев размерной цепи составляет 20. В связи с тем, что это число довольно велико, а, также учитывая малость полей допусков по отношению к их номинальным значениям, принималась линейная зависимость отклонения замыкающих звеньев от отклонений размеров составляющих.

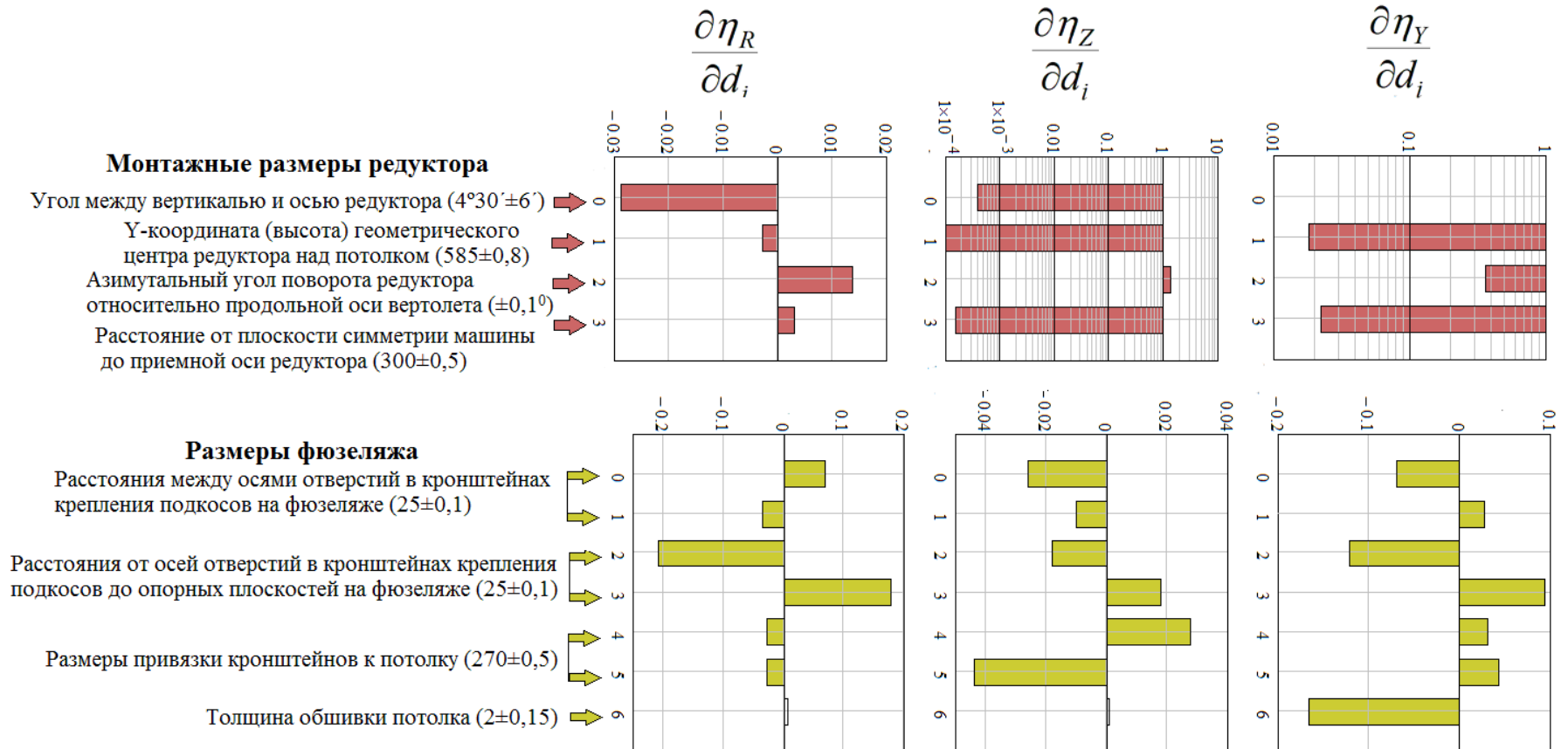


Исследование чувствительности замыкающих звеньев к точности размеров элементов силовой установки, фюзеляжа и размеров, формируемых при монтаже редуктора - 1

Анализ производился численно при номинальных значениях длин регулируемых тяг – подкосов для 100 случайным образом сгенерированных сборок.

Соответствующие оценки для двигателя и редуктора, которые являются покупными изделиями могли быть использованы только в качестве рекомендаций для их производителей.

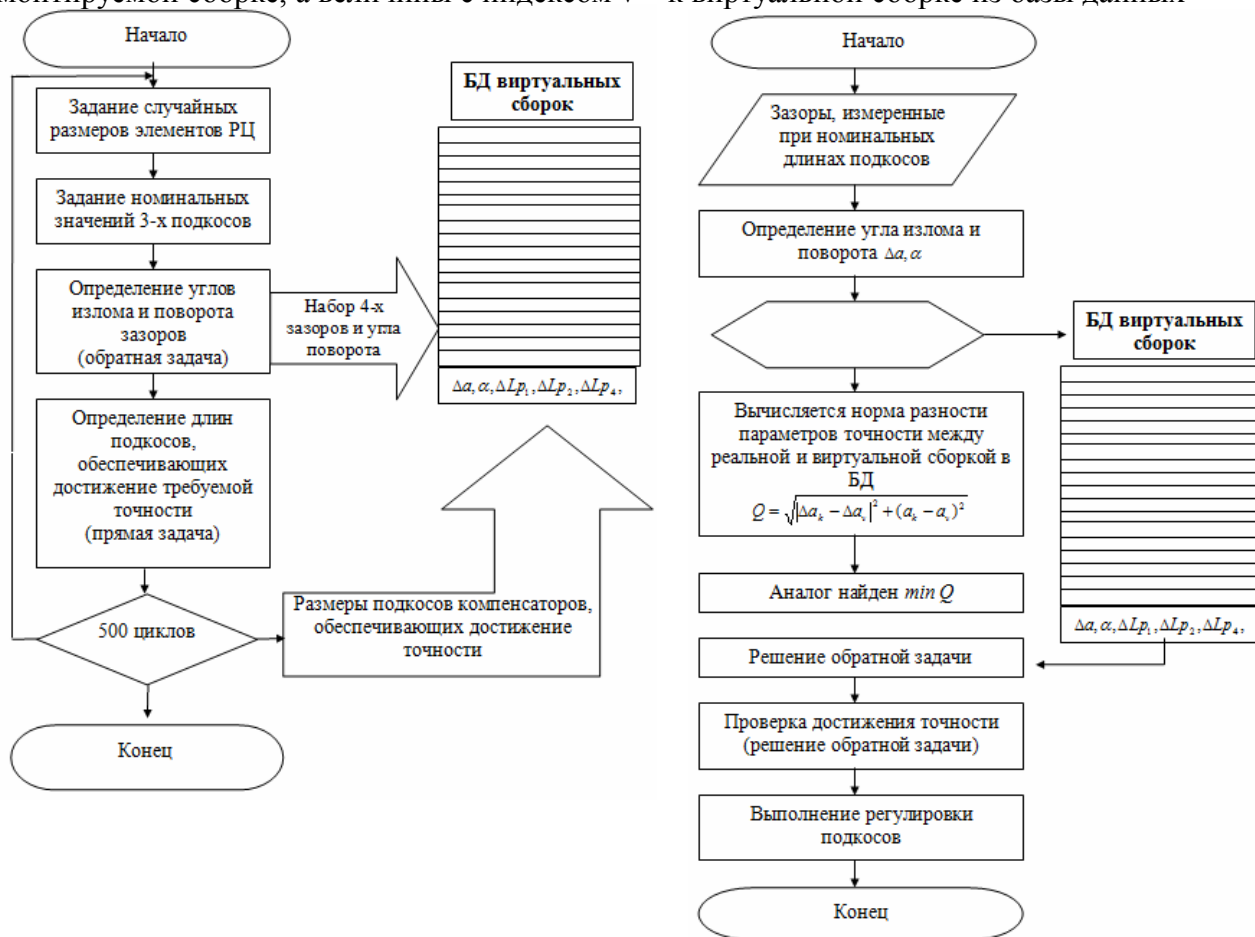
Наибольшее влияние на точность монтажа оказывают азимутальный угол поворота редуктора относительно продольной оси вертолета ($\pm 0,1^\circ$) (передаточный коэффициент на угол излома в горизонтальной плоскости равен 1,5), а также угол между вертикалью и осью редуктора ($4^\circ 30' \pm 6'$) (передаточный коэффициент на угол излома в вертикальной плоскости равен 1,0). Повышение их точности возможно за счет применения лазерных средств.



Алгоритмы формирования БД виртуальных сборок и ее использования при поиске аналога

Особенностью использованного в работе подхода было рассмотрение сборочной размерной цепи как объекта управления.

Разработанный метод синтеза квазиоптимального управления объектом регулирования – сборочной размерной цепью, использовал допущение о том, что если два объекта одинаковой структуры, внутренние параметры которых неизменны, при подаче на их входы одинаковых управлений генерируют векторы выходных сигналов (т.е. нормируемые углы излома, поворота и характеризующие их зазоры), близкие по Эвклидовой норме, то подача на эти два объекта других, но тождественных, управляющих векторов приведет к близкой реакции. Критерием близости сборок принято выражение на плакате, где величины с индексом k относятся к конкретной монтируемой сборке, а величины с индексом v – к виртуальной сборке из базы данных



Это допущение было обосновано многочисленными расчетами и успешными результатами практического использования. Для реализации предложенной концепции на основе разработанной модели и методов решения прямой и обратной задач была создана база данных виртуальных сборок, где для реальной сборки отыскивается аналог, и далее, согласно рекомендации для этого аналога производится регулирование реальной сборки.



Эффективность предложенного подхода, разработанных моделей и программного обеспечения исследовалась на контрольных примерах и в условиях реального сборочного производства.

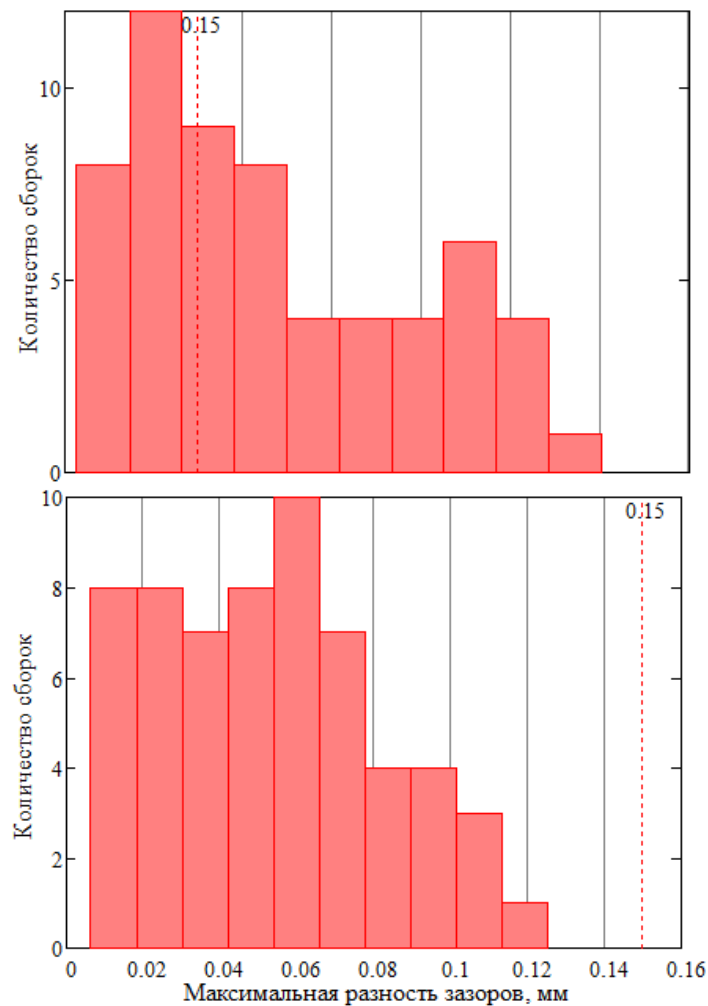
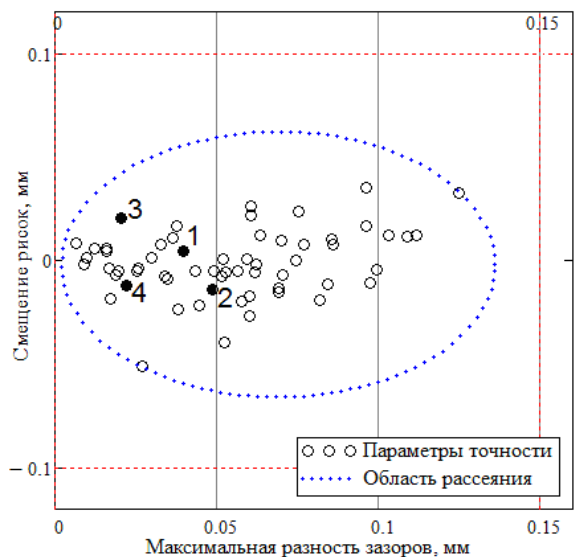
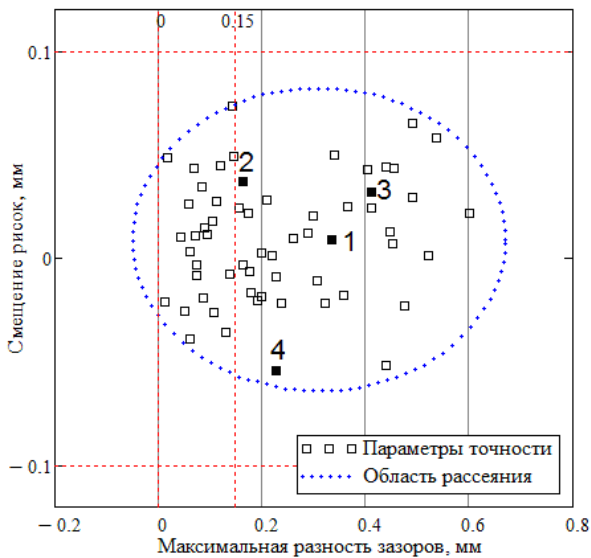
Целью этого этапа исследования, на котором тестировались сборки, генерируемые случайным образом, была проверка возможности использования базы сборок-аналогов для ускорения подбора требуемых величин регулировок компенсирующих звеньев – регулируемых подкосов. созданная предварительно база данных виртуальных сборок содержала данные о зазорах и регулировках, приводящих эти зазоры к значениям в центре заданного поля допуска. Особенностью этой базы данных было то, что внутренние размеры сборок в ней не сохранялись.

Тестируемый массив сборок (75 единиц) был получен генерацией случайным образом всех внутренних размеров при фиксированных номинальных значениях длин подкосов. Далее для всех сборок из тестируемого массива, зазоры которой выходили за поле допуска, поиском в базе данных разыскивалась сборка – аналог, имеющая самое близкое к тестируемой сборке распределение зазоров. К этой тестируемой сборке применялась операция регулирования с значениями регулировок, рекомендуемыми сборкой – аналогом. В результате регулирования тестируемой сборки (все внутренние размеры которой не изменялись!) вычислялись новые значения зазоров.

После подбора аналога и заимствования данных по регулировкам подкосов точность всех 100% тестируемых сборок была обеспечена только одной регулировкой. Медиана эмпирического распределения точности сборок после регулировки составила 0,04 мм, среднеквадратичное отклонение 0,03 мм, точность 70% сборок после регулирования в 2 раза превышала нормируемую. Этот результат подтвердил правомерность использования подхода к большим размерным цепям как к «черным ящикам» с тождественной внутренней структурой и о возможности использования одинакового управляющего воздействия для достижения аналогичного отклика двух таких «ящичков», имеющих близкий отклик при нулевом управляющем воздействии. Кроме того, подтверждена достаточность информации, хранящейся в базе виртуальных сборок для нахождения сборки – аналога.

Параметры точности сборки до и после однократного регулирования компенсаторов, с использованием данных поиска аналога в базе данных виртуальных сборок.

Угол излома осей уменьшен в среднем в 5 раз. 100% сборок обеспечивают заданную точность!



Исследование точности и производительности процесса монтажа силовой установки производилось при условии обязательного исполнения требований директивного технологического процесса. Количество основных технологических переходов, связанных с обеспечением точности и обуславливающих трудоемкость выполняемых работ, равно 21.

Бригада сборщиков устанавливала двигатель на подкосы номинальной длины, после чего производилось измерение зазоров. Величины измеренных зазоров заносились в программу поиска виртуальной сборки-аналога, для которой требуемые регулировки были рассчитаны и внесены в базу данных. Величины этих регулировок сообщались сборщикам, которые выполняли требуемые изменения длин подкосов, после чего измерялись зазоры между привалочными плоскостями. Если число регулировок превышало одну, это число регистрировалось. Регистрировалось также общее время, включая работу лаборанта с компьютерной программой, которое составляло 2...3 минуты. Так же, как и при традиционной технологии строились статистические характеристики рабочего времени. Испытания разработанной методики производились на четырех вертолетах серийного исполнения, причем левый двигатель монтировали по обычной технологии, а правый – по рекомендованной в работе. Производилось хронометрирование действий бригады трех опытных сборщиков, в течение которого регистрировали общее время и количество перерегулировок вплоть до достижения заданной точности.

В производственных условиях производились измерения:

-Длин подкосов – компенсаторов

-Зазоров

-числа регулировок подкосов и времени до достижения требуемой точности

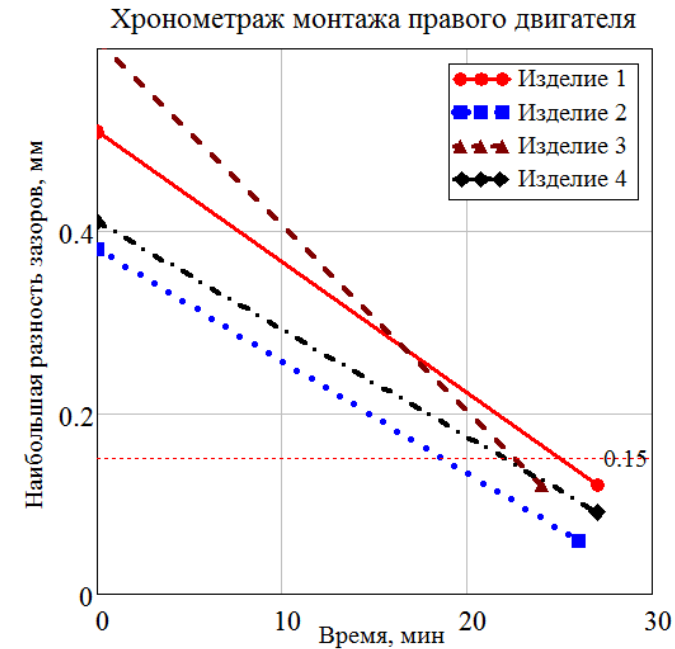
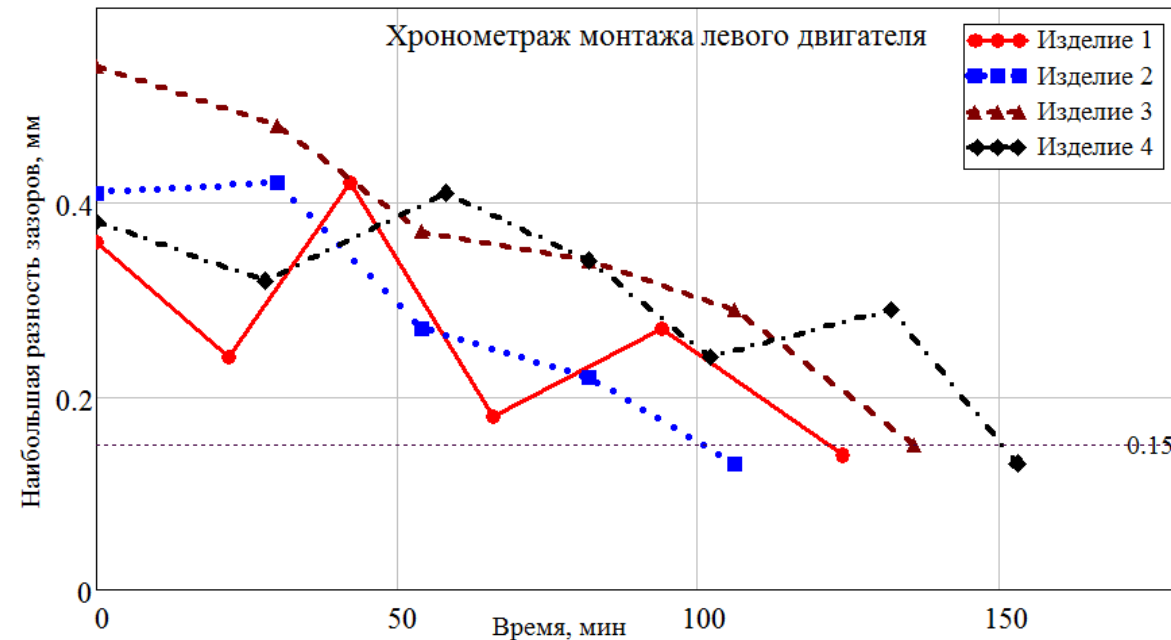


Набор щупов



Все остальные звенья пространственной размерной цепи «двигатель-редуктор» образуют черный ящик; их размеры имеют случайную величину для каждого отдельного исследуемого вертолета.

Испытания разработанной методики производились на четырех вертолетах серийного исполнения, причем левый двигатель монтировали по обычной технологии, а правый – по рекомендованной в работе.



Результаты хронометрирования: продолжительность выполнения регулировочных переходов в среднем уменьшилась с 2 часов 15 минут (4-7 перерегулировок) до 25 минут, т.е. в 5,4 раза. Для одного изделия (два двигателя), собираемого бригадой из трех высококвалифицированных рабочих, уменьшение трудоемкости составляет 11 человеко*часов.

Заданная точность монтажа достигается всего одной регулировкой.

- ✓ На основе размерного анализа входящих в сборку агрегатов создана математическая модель связанной пространственной размерной цепи с замыкающими звеньями – углом излома осей и взаимного поворота двигателя и редуктора, а также с размерами трех подвижных компенсаторов – регулируемых подкосов.
- ✓ Для рассмотренной пространственной связанной размерной цепи силовой установки разработаны и реализованы в виде алгоритмов и компьютерных программ методы решения, использующие в качестве исходных данных внутренние размеры собираемого агрегата, результаты замеров замыкающих звеньев и подвижных компенсаторов.
- ✓ С использованием построенной математической модели связанной пространственной размерной цепи выполнен статистический размерный анализ агрегатов, позволивший связать показатели точности сборки с размерами трех подвижных компенсаторов, уточнить их номинальные размеры и диапазоны регулирования.
- ✓ На основе математической модели размерной цепи монтажа силовой установки вертолета разработан метод повышения производительности и точности технологии монтажа, использующий поиск и заимствование данных сборки – аналога в базе данных виртуальных компьютерных сборок.
- ✓ Программно реализованы численные методы, обеспечивающие для реализаций виртуальных сборок получение результата с погрешностью не более 0,1% за время, не превосходящее 2 сек, что позволяет использовать разработанные программные средства непосредственно на участке сборки.
- ✓ Выявлены звенья размерной цепи, оказывающие наибольшее влияние на показатели точности монтажа, что позволило оценить возможность и эффективность их ужесточения.
- ✓ Сравнительными испытаниями установлено, что за счет предлагаемой методики, продолжительность выполнения регулировочных переходов в среднем уменьшилась в 5,4 раза. Заданная точность достигается одной регулировкой против 5...7 при выполнении работ по традиционной технологии.



Главный инженер ПАО «Роствертол»
И.Б. Сячев
2018 г.

А К Т промышленных испытаний технологии монтажа авиационных агрегатов и адаптивной механической обработки деталей сложной пространственной геометрии

Основание для проведения испытаний. Технологическая трансформация производства в рамках реализации на предприятии мероприятий, изложенных в государственных программах «Цифровая экономика Российской Федерации» (распоряжение Правительства №1632-р от 28.02.2017), «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы (постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 301), «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы» (постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 303)

Цель испытаний. Разработка и программная реализация математической модели пространственной размерной цепи монтажа силовой установки вертолетов Ми-24/35 и процессов адаптивной лезвийной обработки на основе OMW-технологий (on-machine verification). Снижение издержек и повышение производительности труда за счет применения виртуального базирования на этапе технологической подготовки и использования баз данных виртуальных сборок на заключительном этапе производственного цикла.

Объект испытаний. а) Методы оптимизации и технология сборки конструкций, размерное описание которых включает многозвенные трехмерные связанные размерные цепи, достижение точности которых обеспечивается методом регулирования в условиях мелкосерийного авиационного производства. б) Технология адаптивной механической обработки и алгоритмы OMW-измерений в подготовке производства деталей сложной пространственной геометрии.

Методика испытаний. а) Методика экспериментального исследования процесса сборки в производственных условиях включала выполнение косвенных измерений параметров замыкающих звеньев (зазоров) и выполнение регулировок компенсаторов. При разработке метода выявления звеньев, оказывающих наибольшее влияние на показатели точности, учитывалось, что составляющие звенья размерной цепи (РЦ) недоступны для измерения. Поэтому исследование производилось на 100 моделях виртуальных сборок с размерами, нормально распределенными внутри полей допусков. В результате решения обратной задачи для виртуальных сборок определялись значения зазоров между плоскостями двигателя и редуктора при номинальных значениях компенсирующих звеньев и варьируемых размерах остальных звеньев. Далее согласно численному методу решения переопределенной системы линейных алгебраических уравнений вычислялись чувствительности (передаточные коэффициенты) замыкающих звеньев к изменениям составляющих звеньев РЦ. Реализации процесса достижения точности монтажа с использованием базы данных виртуальных сборок включала создание, собственно, базы данных, алгоритм поиска в ней аналога и заимствование данных по оптимальным регулировкам, приводящим к достижению заданной точности монтажа. Входными базами данных, сохраняемой в текстовом файле, являются измеримые зазоры и углы поворота двигателя относительно своей оси, а на выходе – значения требуемых регулировок подкосов.

Проверка эффективности разработанного метода и программных средств производилась в условиях сборочного производства ПАО «Роствертол» на четырех собираемых вертолетах типа

Ми-24, причем один двигатель монтировался по традиционной технологии, включающей традиционный процесс регулирования по методу проб и ошибок, тогда как второй двигатель монтировали с использованием разработанного метода с занесением данных первого замера в переносной компьютер и мгновенным получением рекомендаций по регулировке всех трех подкосов. Учет времени всех технологических переходов позволил сделать заключение о снижении трудоемкости монтажа с 2 часов 15 минут до 25 минут, т.е. в 5,4 раза. Причем заданная точность монтажа достигается всего одной регулировкой. Анализ всех 20 передаточных коэффициентов РЦ позволил выявить степень влияния размеров покупных изделий (двигатель, редуктор), размеров деталей и монтажных размеров, обеспечиваемых точностью привязки размеров главного редуктора к системе координат вертолета. Показано, что наибольшее влияние на точность монтажа оказывают азимутальный угол поворота редуктора относительно продольной оси вертолета ($\pm 0,10$) (передаточный коэффициент на угол излома в горизонтальной плоскости равен 1,5), а также угол между вертикалью и осью редуктора ($4^{\circ}30' \pm 6'$) (передаточный коэффициент на угол излома в вертикальной плоскости равен 1.0). Обосновано ужесточение требований к точности данных размеров, что может быть обеспечено применением лазерных средств.

б) Методы оптимизации адаптивной механической обработки исследованы на примере детали «Корпус рукоятки», имеющей сложную пространственную геометрию (получаемая методом литья) и неважные технологические базы. Управляющая программа (УП) механической обработки формировалась в САМ системе NX по твердотельной трехмерной модели с учетом сложной геометрии обрабатываемых поверхностей, обуславливающую особенность базирования, закрепления детали и конструкции оснастки, а формирование траектории движения инструмента выполняется с учетом стратегии обработки отдельных поверхностей, зон малой жесткости деталей и зон обхода инструмента. В качестве оборудования использовался 4-х координатный обрабатывающий центр HURCO BC-102 и 5-ти координатный MAZAK Variaxis 730-5X-II. Ввиду отсутствия явных технологических баз принято решение использовать виртуальное базирование данных заготовок, т.е. внесение поправок в нулевую точку УП под реальное положение заготовки. Подпрограмма OMW-измерения для определения угловых поправок рассчитана методом параметрического программирования с последующей ее интеграцией в управляющий код. Координаты контрольных точек определены измерительным датчиком Renishaw, которым оснащены обрабатывающие центры.

Проверка эффективности предложенной технологии проведена в условиях механообрабатывающего цеха на партии деталей в количестве 60 штук для вертолетов типа Ми-28. Виртуальное базирование позволило обеспечить «вписываемость» механической обработки с учетом кривизны литейной заготовки, что позволило сократить количество брака на 90%. Разработанный алгоритм предварительно обмера заготовки позволил адаптивно смещать опорные точки управляющей программы с учетом неравномерности распределения припуска. Это позволило сократить машинное время обработки на 25%, а расход режущего инструмента на 40%, обеспечив более стабильный процесс резания.

Начальник Научно-исследовательского отдела

Ю.Б. Рубцов

Начальник Отдела систем автоматизации
технологического проектирования

С.Б. Родригес

Исполнители:

Е.Г. Чигринец, к.т.н.

С.К. Чотчаева, к.т.н.