

УДК 629.7.015.4

Построение и исследование в MSC.ADAMS динамической модели вертолѐта

Желонкин А. А.

*Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля, ул. Горшенина, 26/1, Московская область,
Томилино, 140070, Россия*

e-mail: jelonkin@mi-helicopter.ru

Аннотация

Цели работы - построение динамической модели вертолѐта, моделирование режимов эксплуатации изделия, определение требований к компонентам динамической модели, изучение и опробование технологий моделирования и исследования изделий средствами ANSYS и MSC.ADAMS. Динамическая модель вертолѐта представлена большой сборкой основанной на технологии модальных компонент. Режимы эксплуатации смоделированы переходным процессом. Получены графики внутренних силовых факторов в узлах динамической модели, смоделированы колебания и движение изделия и его взаимодействие с аэродромом, приобретены знания, практические опыт и навыки разработки компонент и динамической модели изделия, определены направления дальнейших работ, получено представление о технологиях моделирования в среде ANSYS и MSC.ADAMS.

Ключевые слова: динамическая модель, вертолѐт, фюзеляж, шасси, модальная компонента, большая сборка, переходный процесс, посадка, технология моделирования

1. Введение.

Современные компьютерные технологии проектирования подразумевают использование инженерного анализа в процессе разработки изделия. Среди технологий инженерного анализа большое значение имеет моделирование переходных процессов.

Типичный пример переходного процесса - моделирование посадки и рулёжки вертолѐта. Моделирование переходных процессов позволяет исследовать динамическое поведение изделий.



В настоящем докладе показан один из этапов работ по моделированию вертолѐта, как большой сборки состоящей из большого количества компонент (механических и иных) взаимодействующих между собой. Причем механические компоненты могут быть упругими и неупругими.

На этом этапе работ моделирование несущего винта, рулевого винта, трансмиссии и системы управления не выполнялось. Модели этих компонент будут разработаны и добавлены на последующих этапах.

1.1. Преимущества моделирования:

- Низкая стоимость относительно натуральных испытаний.
- Возможность многократного моделирования с желаемыми начальными условиями (иногда натурные испытания не могут быть проведены из-за возможности повреждения изделия).
- Возможность изменения/подбора разнообразных параметров (коэффициентов трения, величин и графиков изменения жѐсткости и демпфирования, масс, сил и моментов страгивания, зазоров, законов управления, начальных условий) с отслеживанием их влияния на поведение изделия.
- Возможность параметризации модели для последующего использования методик оптимизации и вероятностного анализа (учѐт рассеяния параметров).

- Позволяет детально исследовать поведение конструкции и получить графики сил, моментов, перемещений, скоростей и ускорений.

1.2. Сочетание натурального (тестирования) и численного экспериментов.

Математическое моделирование надо сочетать с натурными испытаниями (тестированием):

- Построение конечно-элементной модели действительно отражающей динамические свойства конструкции непростая задача. В конечном итоге только опыт, сочетающий конечно-элементное моделирование и натуральный эксперимент (тестирование), может помочь получать адекватные модели компонент.
- Для моделирования шин в ADAMS имеется несколько моделей шины, чтобы их использовать надо ввести параметры которые могут быть получены с помощью натуральных испытаний (от фирм производящих испытания шин или производителей шин) и, возможно, уточненным МКЭ расчётом (в системах типа LS-DYNA, DAITRAN).
- Аналогичный подход полезен и для разработки уточненных моделей покупных изделий (например, амортизатор шасси). Только производитель может относительно точно знать работу своего изделия.

Полученные и/или уточнённые таким образом параметры используются далее для многократного моделирования, например, разнообразных вариантов посадки и маневрирования по земле, с разными покрышками и демпферами.

2. Построение динамической модели вертолѐта.

Динамическая модель вертолѐта разрабатывалась в системе ADAMS/View, как один из вариантов большой сборки (рис.15). Для моделирования упругого поведения фюзеляжа, редукторов, двигателей, стабилизатора использовались модальные компоненты (CMS) сгенерированные в системе ANSYS, которые были переданы через модальные нейтральные файлы (.mnf) в систему ADAMS/View как упругие тела со своими наборами собственных форм и частот. Для построения этих модальных компонент использовалась ранее разработанная в системе ANSYS (рис. 1) КЭ модель одного из вертолѐтов.

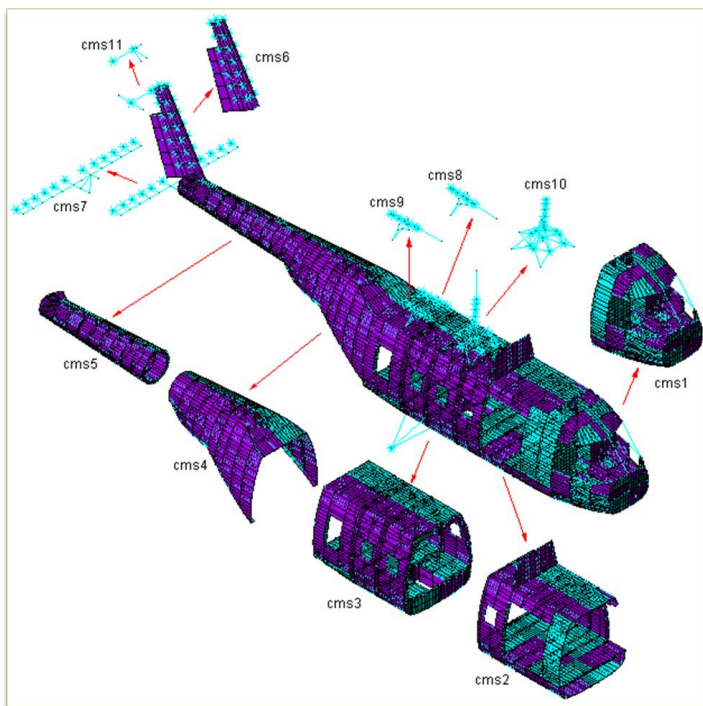


Рис. 1. Модель вертолѐта в ANSYS.

Такой подход был выбран, чтобы в дальнейшем модели этих агрегатов заменить более совершенными моделями. Именно такой путь разработки поддерживает система ADAMS.

Твёрдотельные модели стоек шасси были сделаны в Solid Work (рис. 5, 9, 13) и переданы в систему ADAMS/View для построения динамических моделей стоек шасси (рис. 6, 10, 13).

В системе ADAMS/View была сформирована база данных проекта, которая состоит из фюзеляжа со стабилизатором, главного и хвостового редукторов, стоек шасси (носовая стойка, главная левая стойка, главная правая стойка, хвостовая опора) с динамическими моделями колесо-дорога.

Далее в системе ADAMS/View проводилось моделирование посадки вертолѐта как переходного процесса.

2.1. Модель фюзеляжа.

Для моделирования в ADAMS/View фюзеляжа использовалась ранее разработанная в ANSYS модель вертолѐта. Из этой модели вертолѐта был выбран фюзеляж без стоек шасси, главного редуктора, двигателей, хвостового редуктора и стабилизатора. Эта модель фюзеляжа достаточно условна и включает в себя разнообразные массы, такие как угловой редуктор, валы и опоры хвостовой трансмиссии, агрегаты установленные под капотом главного редуктора и проч.

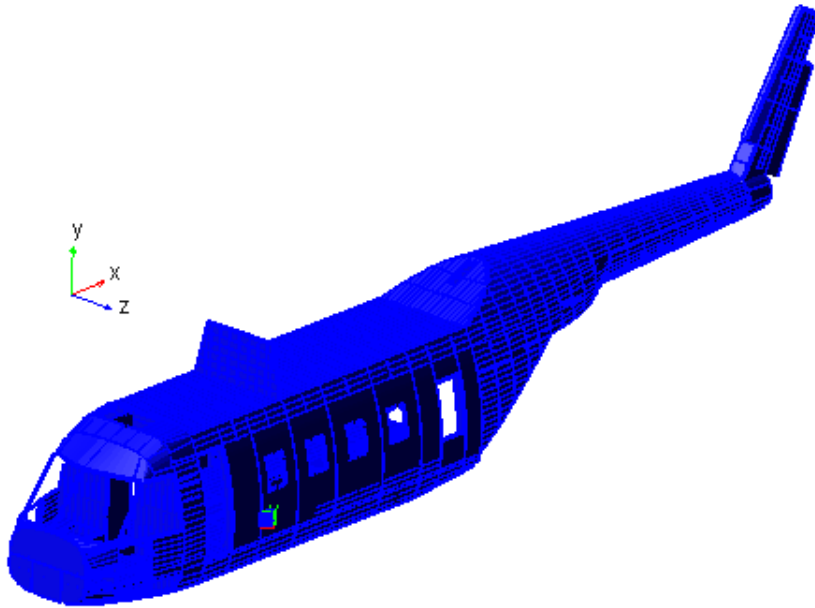


Рис. 2. Модель упругого фюзеляжа в ADAMS/View.

При генерации в ANSYS модальной компоненты (CMS) было заказано 150 собственных форм и частот и определены 28 точек интерфейса для присоединения агрегатов при построении сборки вертолёта в ADAMS/View. Таким образом, была сгенерирована модель фюзеляжа (рис. 2) как модальная компонента (CMS) с 318 собственными и статическими формами и 28 точками интерфейса (по 6 степеней свободы на точку).

2.2. Модель хвостового редуктора с рулевым винтом.

Для моделирования в ADAMS/View хвостового редуктора с рулевым винтом (РВ) использовалась ранее разработанная в ANSYS модель. Из этой модели вертолёта была выбрана модель хвостового редуктора с РВ (в виде балки). Для генерации в ANSYS модальной компоненты (CMS) было заказано 6 собственных форм и частот и определены 4 точки интерфейса для присоединения хвостового редуктора к сборке вертолёта в ADAMS/View. Таким образом, хвостовой редуктор был сгенерирован как модальная компонента с 30 собственными и статическими формами и 4 точками интерфейса (по 6 степеней свободы на точку).

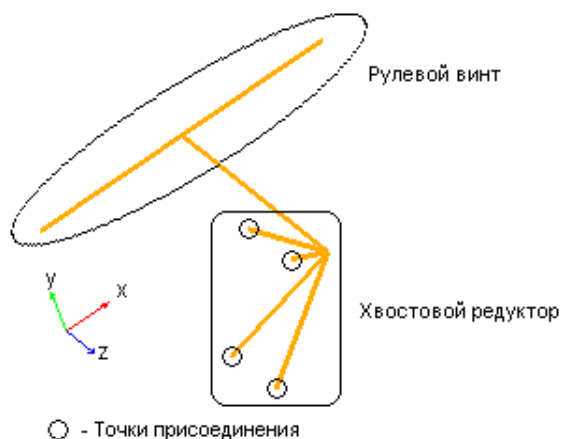


Рис. 5. Балочная модель хвостового редуктора с рулевым винтом в ADAMS/View.

Надо отметить, что такая (рис. 5) модель РВ очень примитивна, так как не отражает проблему колебаний рулевого винта на упругой хвостовой балке, что чрезвычайно важно для вертолётa. Такая модель была принята только для опробования методологии построения большой сборки.

2.3. Модель носовой стойки шасси.

Твёрдотельная модель носовой стойки была сделана в SolidWork и передана в ADAMS/View для построения динамической модели передней стойки (рис. 6). В системе ADAMS/View все детали носовой стойки моделировались как твёрдые тела.

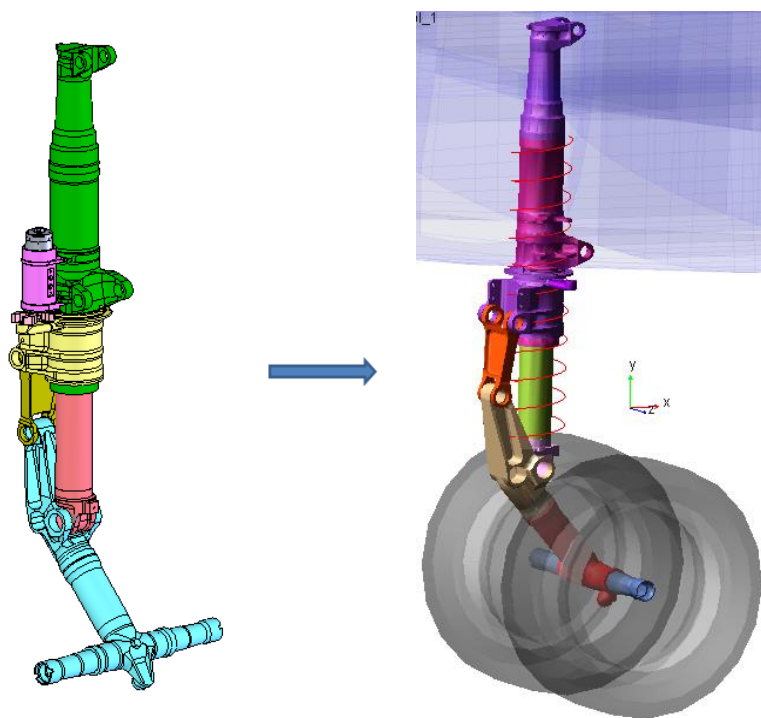


Рис. 6. Твёрдотельная модель носовой стойки шасси в CAD и динамическая модель носовой стойки шасси в ADAMS/View.

Моделирование работы передней стойки производилось со свойствами амортизатора приведенными на рис. 7 и 8.

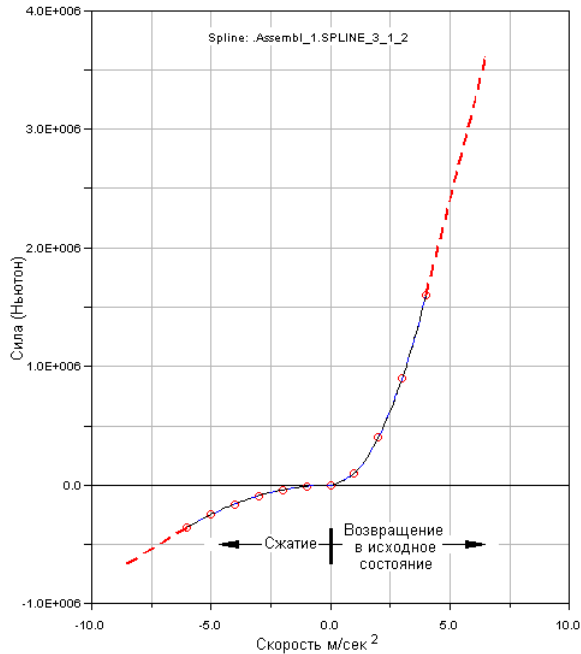


Рис. 7. Зависимость силы демпфирования от скорости обжатия амортизатора.

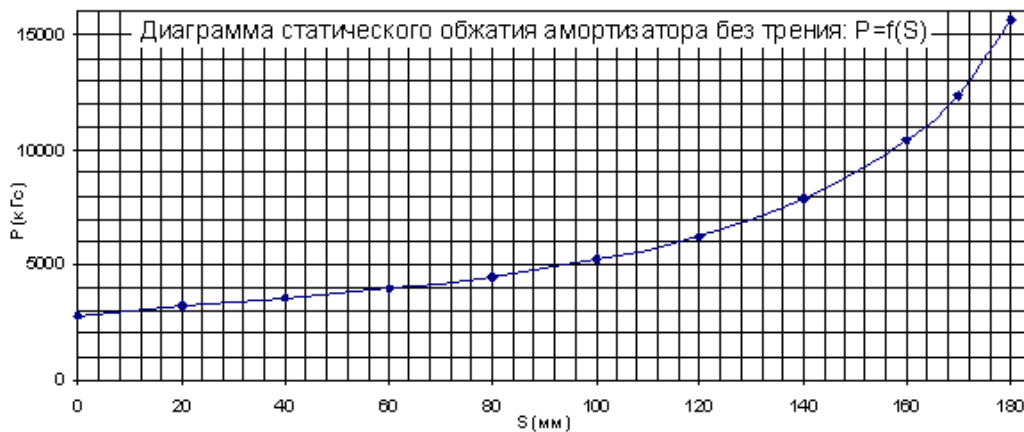


Рис. 8. Диаграмма статического обжатия амортизатора передней стойки.

2.4. Модели главных стоек шасси.

Твёрдотельные модели главных стоек шасси были сделаны в SolidWork (рис. 9) и переданы в ADAMS/View для построения динамических моделей главных стоек (рис. 10). На этом этапе работ все детали главных стоек моделировались в системе ADAMS/View как твёрдые тела.

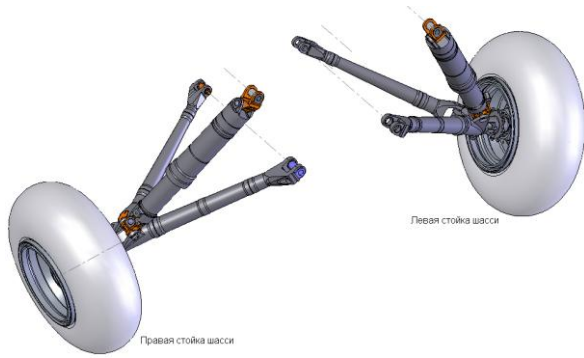


Рис. 9. Модели главных стоек шасси в CAD

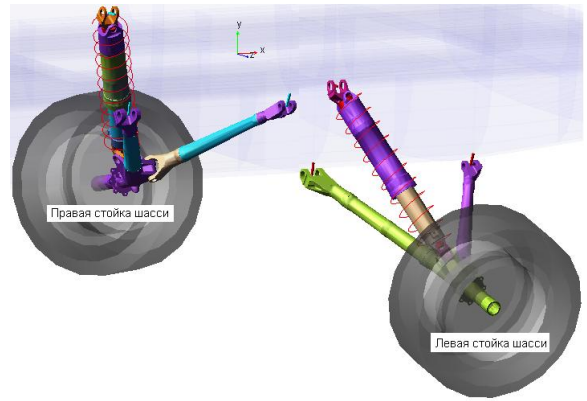


Рис. 10. Динамические модели стоек главного шасси в ADAMS/View.

Моделирование работы стоек главного шасси производилось со свойствами амортизатора приведенными на рис. 11 и 12.

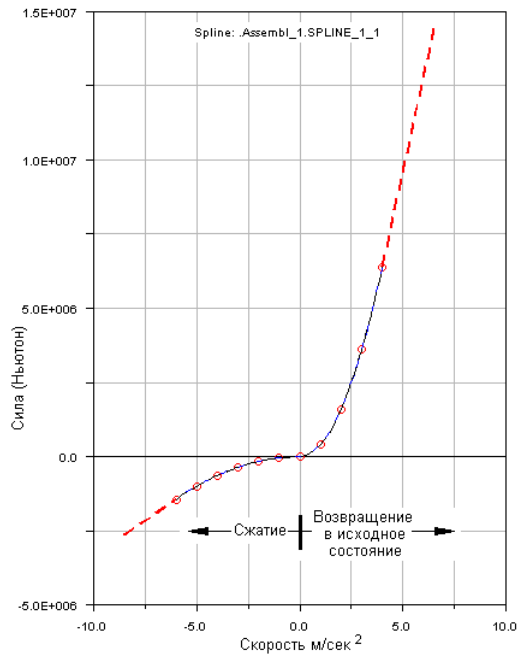


Рис. 11. Зависимость силы демпфирования от скорости обжатия амортизатора.

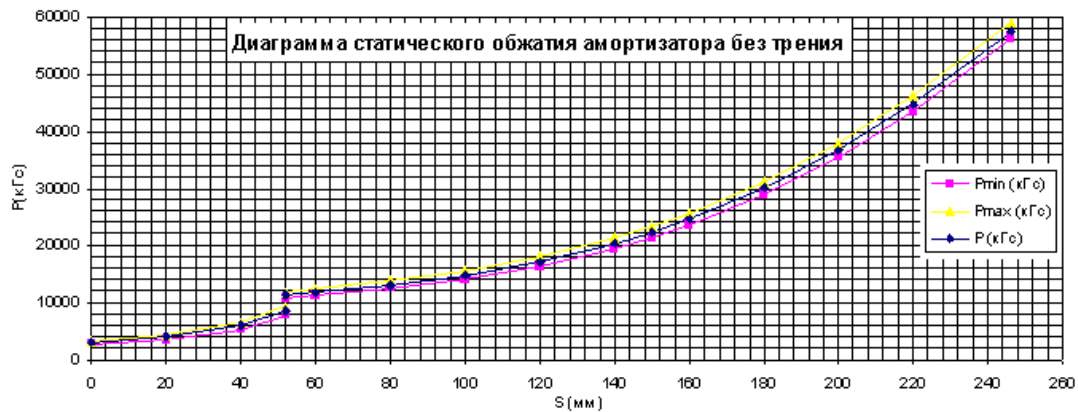


Рис. 12. Диаграмма статического обжатия амортизатора главной стойки шасси.

2.5. Модель хвостовой опоры.

Твёрдотельная модель хвостовой опоры была сделана в SolidWork и передана в ADAMS/View для построения динамической модели хвостовой опоры (рис. 13).

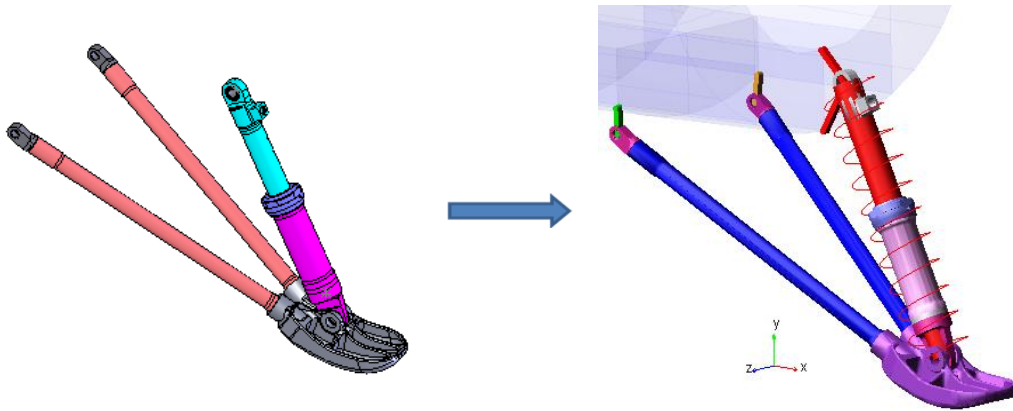


Рис. 13. Твёрдотельная (в CAD) и динамическая (в ADAMS/View) модели хвостовой опоры.

2.6. Модели колёс и дороги.

Для моделирования колёс носовой и основной стоек шасси была выбрана модель Фиала, как наиболее простая для задания. Для моделирования дороги выбрана плоская дорога, как наиболее простая. Параметры боковой жёсткости и демпфирования колёс были выбраны приближённо. Вертикальные жёсткости выбирались по графикам обжатия колёс. На рис. 14 представлен один из вариантов моделирования падения колеса на дорогу.

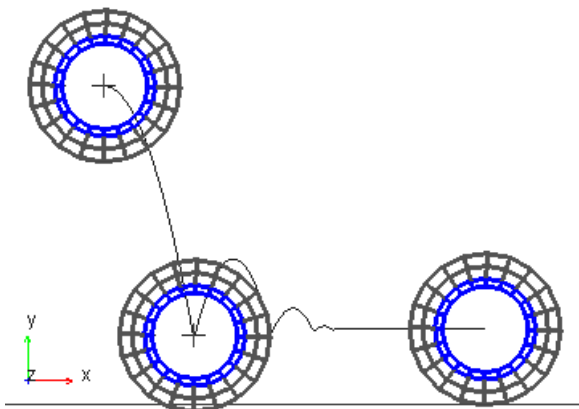


Рис. 14. Моделирование колеса и дороги.

2.7. Динамическая модель вертолѐта в сборе.

Динамическая модель вертолѐта (рис. 15) собрана из упругого фюзеляжа, на который установлены модели стоек шасси, хвостовой опоры и упругие модели стабилизатора,

главного редуктора с двигателями на подвесках и хвостового редуктора. На шасси установлены модели колёс. Модель дороги (аэродром) генерируется совместно с колёсами.

Надо иметь в виду, что поведение модели вертолёт с винтами будет существенно отличаться от поведения данной модели, но методологически имеет смысл сначала пройти некоторый путь с более простой моделью, приобрести при этом знания и опыт которые впоследствии позволят перейти к более полному моделированию.



Рис. 15. Динамическая модель вертолёт в сборе.

Элементы сборки динамической модели вертолёт показаны на рис. 16.

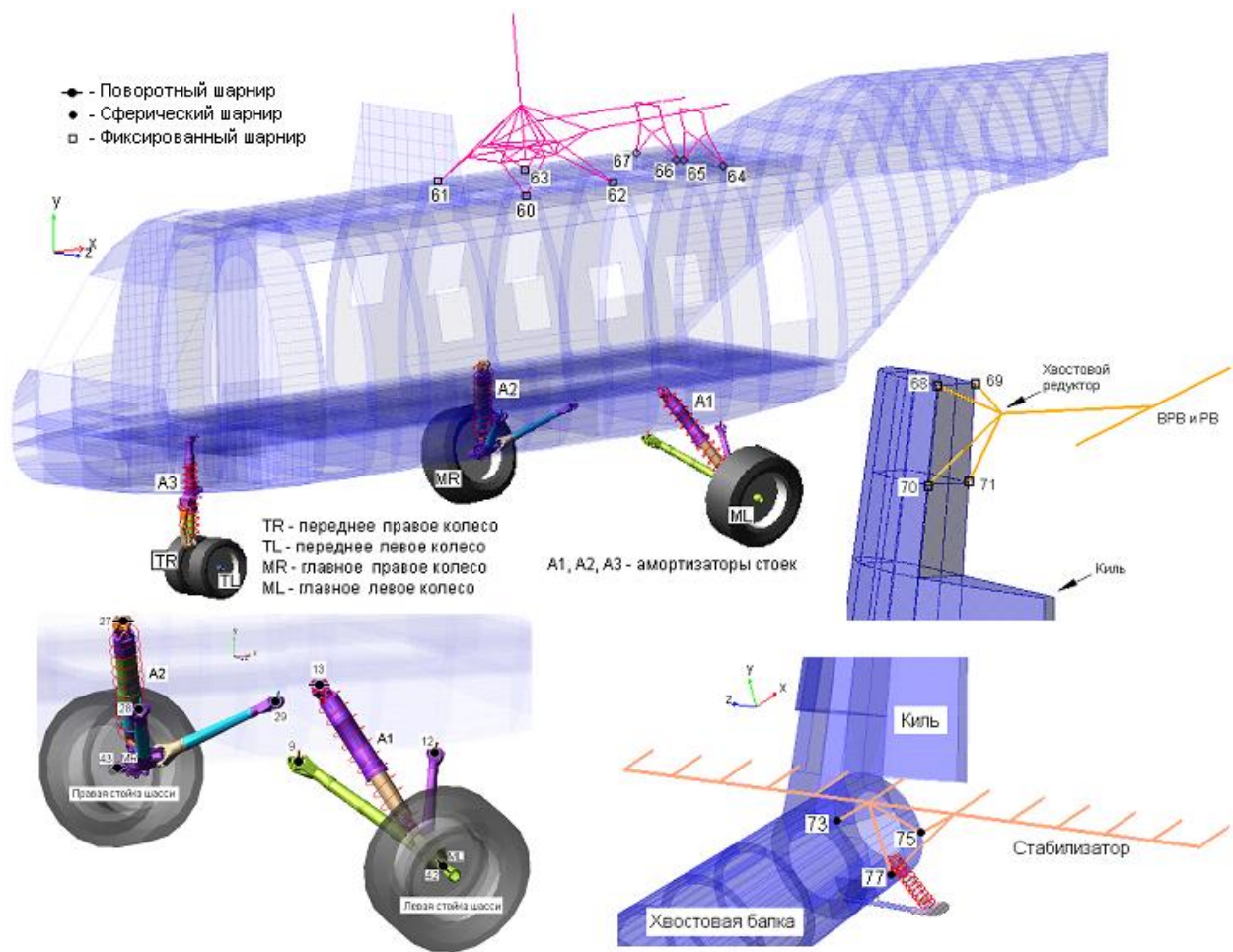


Рис. 16. Сборка динамической модели вертолёта.

3. Моделирование посадки вертолёта.

Моделирование посадки вертолёта выполнялось в ADAMS как переходный процесс.

Представлены два примера посадки вертолёта. В обоих случаях исходное положение модели было горизонтально поверхности земли.

В 1-ом случае вертолёт приземлялся горизонтально (без крена и тангажа).

Горизонтальная скорость 0,2м/сек. (рис. 17). Усилия на НВ и РВ не задавались (по требованиям НЛГВ на НВ должно быть 70% тяги). Вертолёт вертикально разогнался ускорением свободного падения $9,81 \text{ м/сек}^2$. Вертикальная скорость падения вертолёта при начале касания (носовой стойкой) составляла 3м/сек. Коэффициент трения дороги (аэродрома) был задан равным 0,1.

Во 2-ом случае вертолёт приземлялся с теми же граничными условиями, что и в первом случае, но с креном вправо (рис.18).

Интегрирование: шаг интегрирования 0,005сек, время интегрирования 4 сек.

На рис. 17 и 18 показана анимация моделирования посадки.

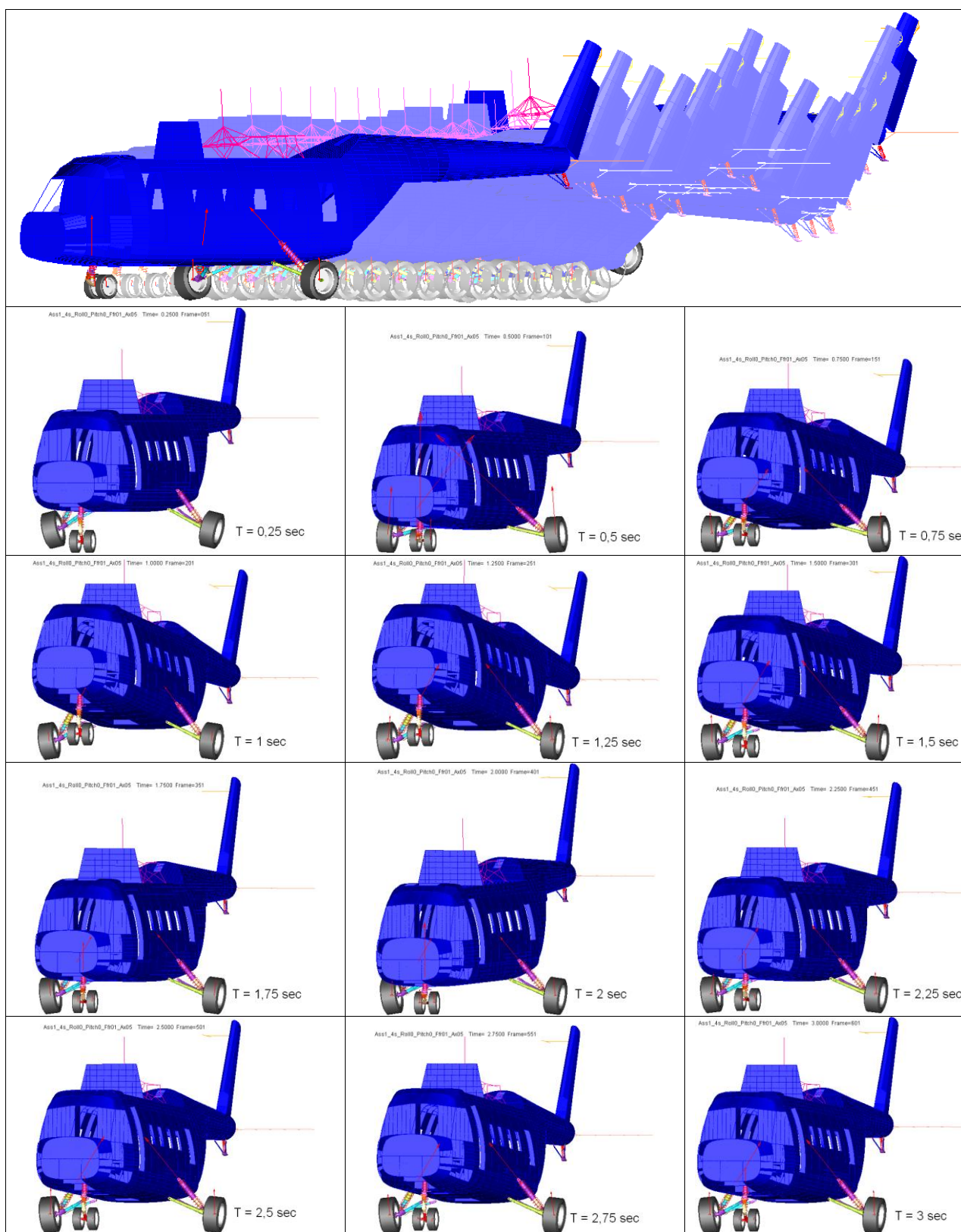


Рис. 17. Первый вариант посадки (без крена и тангажа).

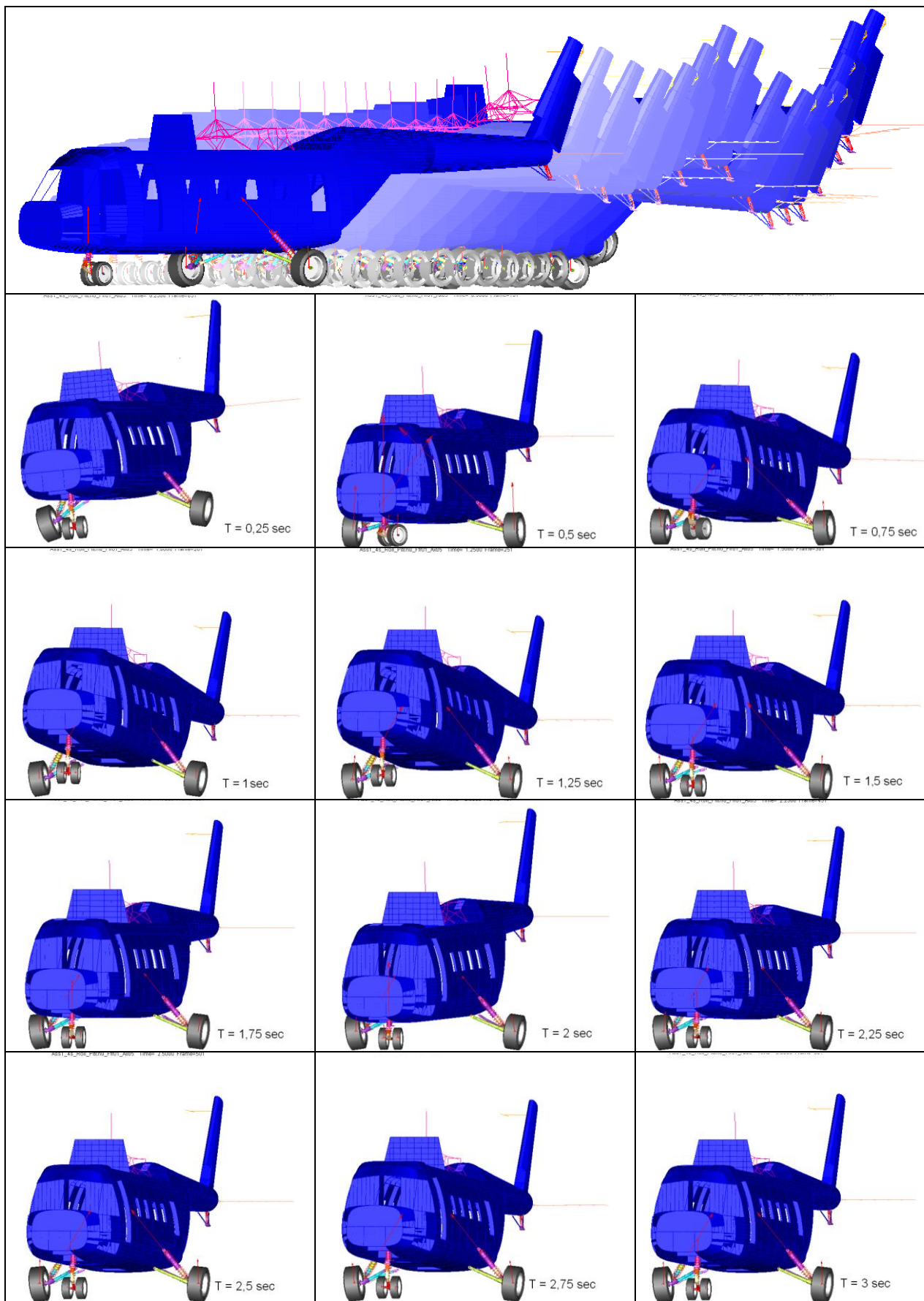


Рис. 18. Второй вариант посадки (с креном).

4. Некоторые результаты моделирования.

4.1. Полученные результаты носят экспериментальный характер, так как:

- При проведении расчётов обнаружены низкие угловые жёсткости модели фюзеляжа в местах крепления шасси (на это указывают расчёты), поэтому кронштейны навески стоек главного шасси пришлось (с каждой стороны) объединить в твёрдые тела.
- Распределение масс по модели фюзеляжа носит достаточно условный характер и скорее отражает требования балансировки. Это изменяет спектр частот фюзеляжа (только нижние частоты фюзеляжа могут быть достоверными).
- Конечные элементы, использованные в модели обшивки, не соответствуют реальной конструкции обшивки.
- Конечно-элементная модель фюзеляжа не учитывает наличие стыков (например, между аппарелью и хвостовой балкой) – это увеличивает собственные частоты фюзеляжа.
- Модели редукторов весьма условны и отображают не динамическую, а их статическую жёсткость и массовые свойства .
- Простейшая модель двигателя (в виде балки с массами) и его подвески способны отобразить только низшие тона двигателя и его массовые свойства.
- Стабилизатор смоделирован балочной моделью с сосредоточенными массами. Такая модель может иметь набор собственных форм и частот не совпадающий с реальными формами и частотами, особенно в высокочастотной области. Появление “паразитных” форм и частот.
- Свойства шин не точны (продольная, боковая жёсткость и демпфирование выбраны приблизительно). Имелись только графики обжатия.
- Неточны свойства амортизаторов. Их устройство вообще не моделировалось, а их работа задана приближёнными графиками (рис. 7, 8, 11, 12).
- Не уточнялись свойства шарниров (жёсткости, геометрические характеристики, коэффициенты трения, силы и моменты страгивания).

На рис. 19...32 приведены некоторые вычисленные перемещения, скорости, силы и моменты в функции времени для некоторых элементов динамической модели вертолёта изображённой на рис. 15 и 16.

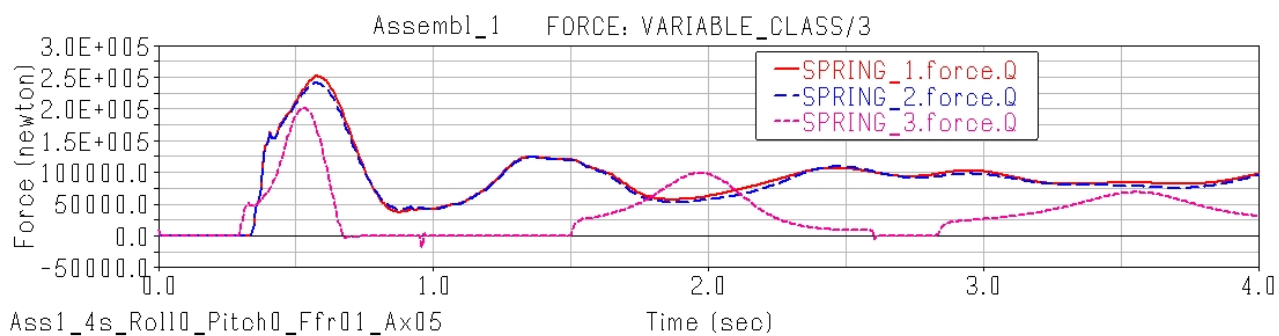


Рис. 19. Усилия на амортизаторах носовой и главных стоек. Посадка без крена.

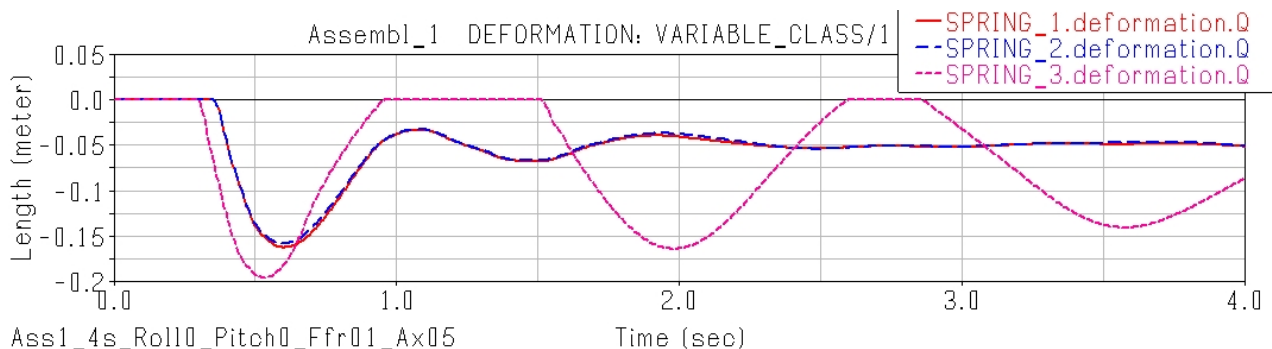


Рис. 20. Ходы амортизаторов носовой и главных стоек. Посадка без крена.

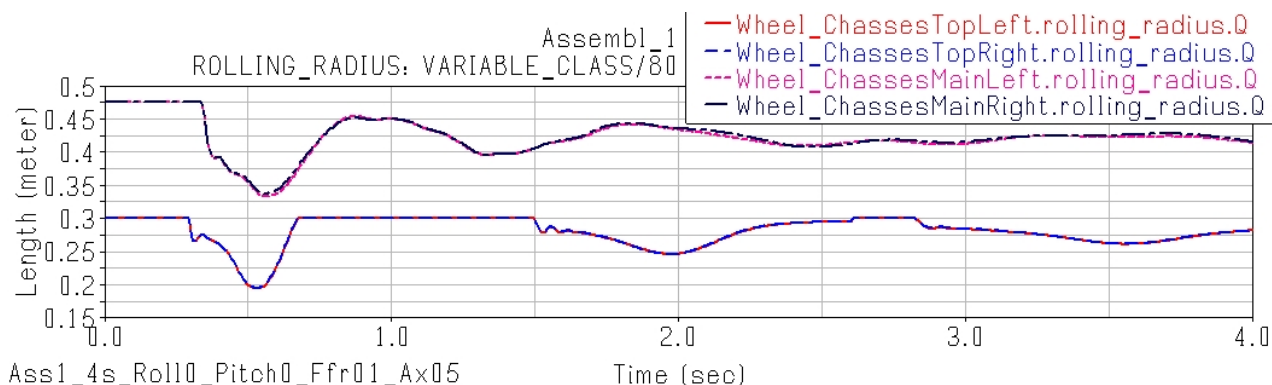


Рис. 21. Обжатие колёс носовой и главных стоек. Посадка без крена.

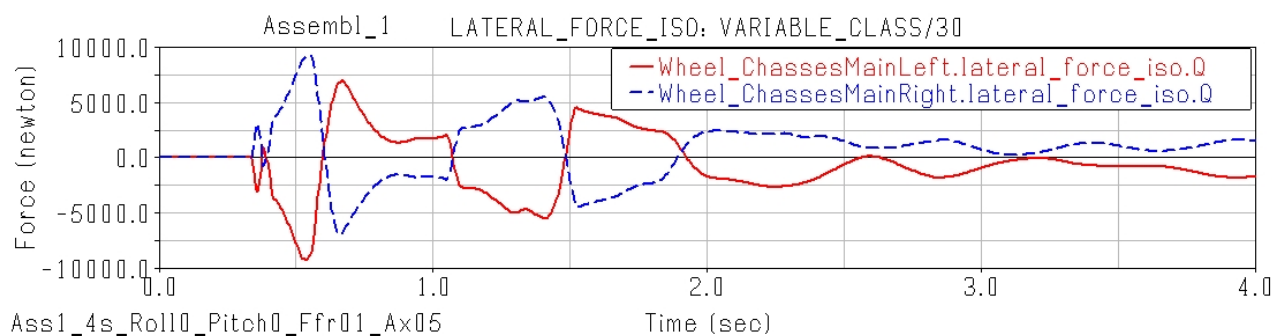


Рис. 22. Боковые силы на ступицах колёс главного шасси. Посадка без крена.

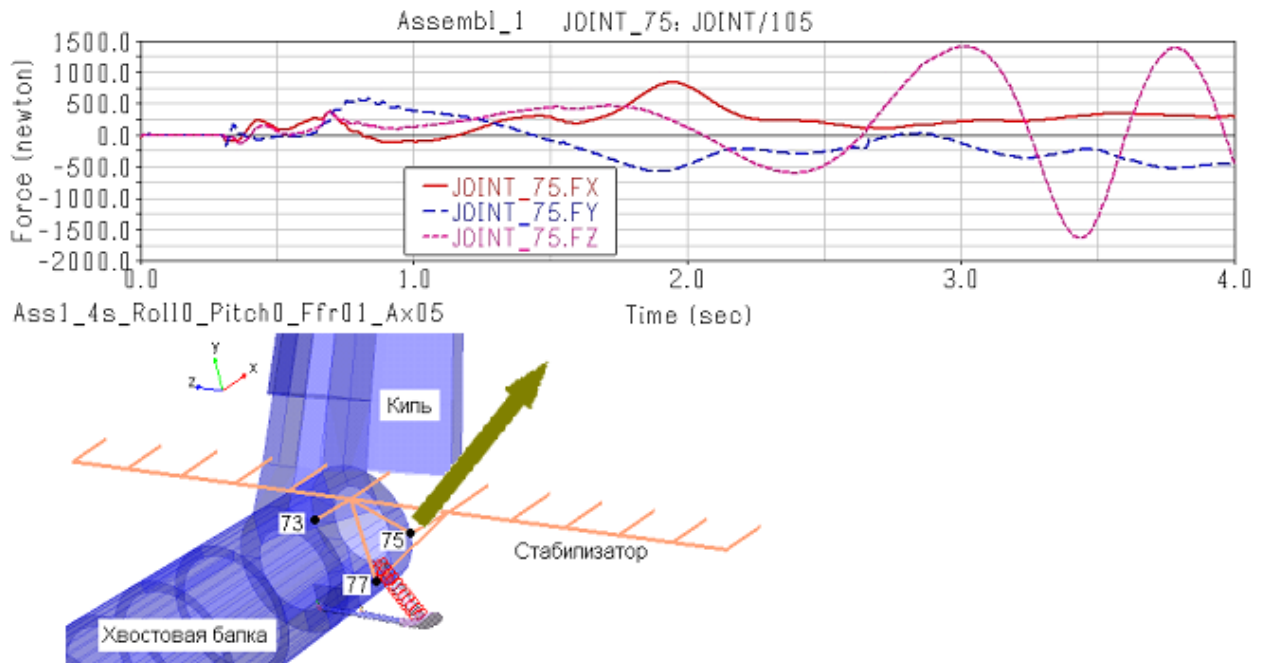


Рис. 23. Усилия в узле 75 крепления подвески стабилизатора. Посадка без крена.

Наибольшие усилия в узле 75 крепления подвески стабилизатора возникают не от перегрузки при ударе о грунт, а от возникших затем колебаний через 3 сек.

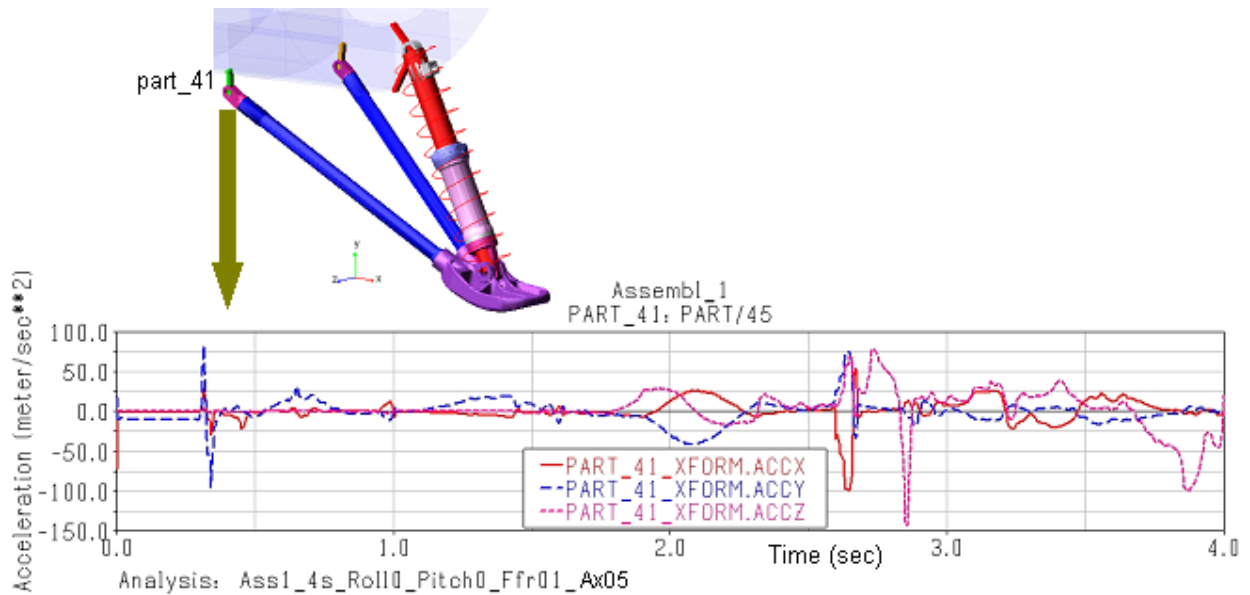


Рис. 24. Виброускорения в районе хвостовой опоры. Посадка без крена.

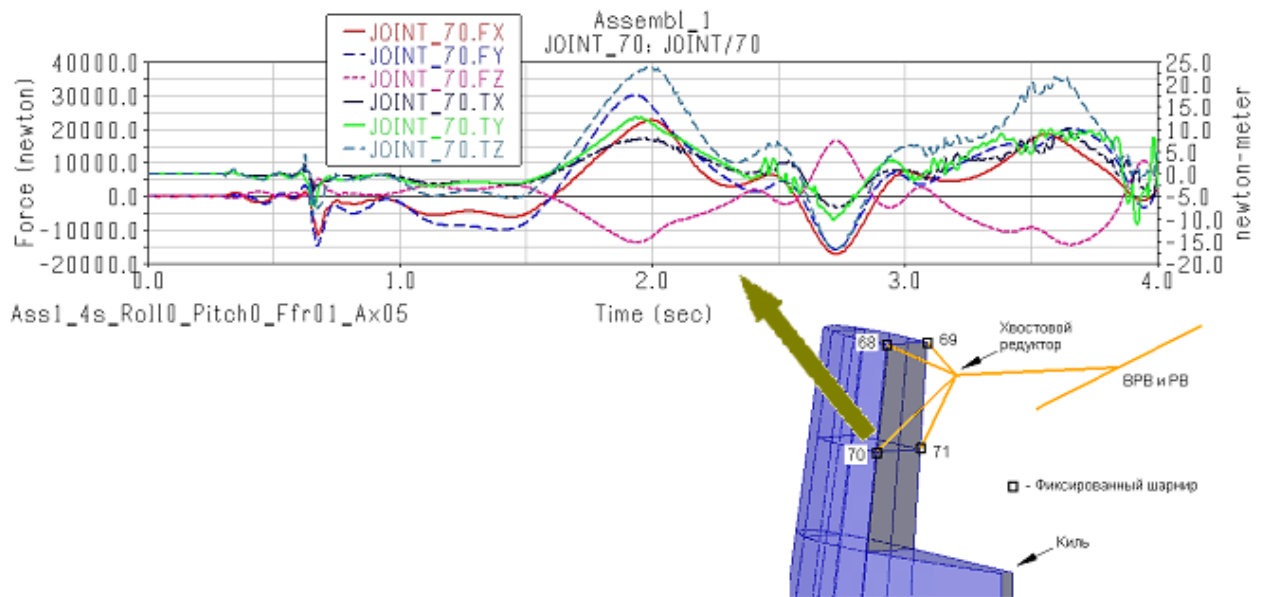


Рис. 25. Силы и моменты в узле 70 крепления хвостового редуктора. Посадка без крена.

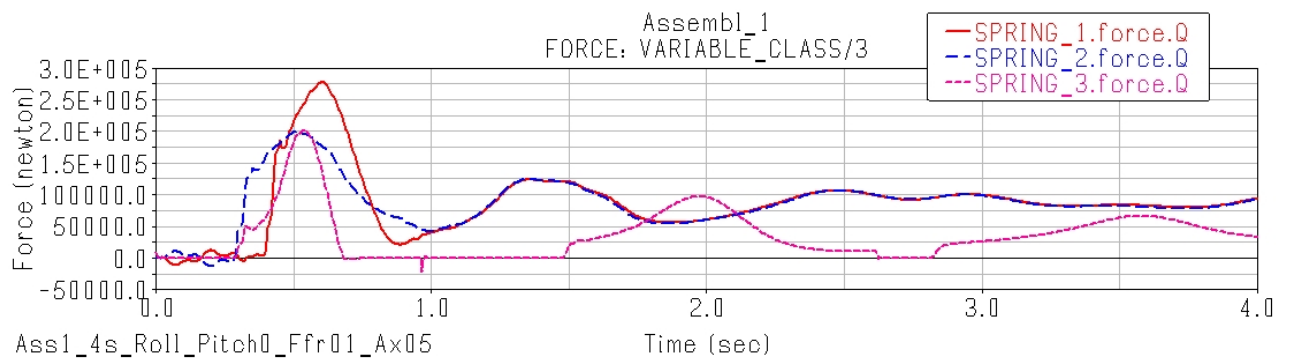


Рис. 26. Усилия на амортизаторах носовой и главных стоек. Посадка с креном.

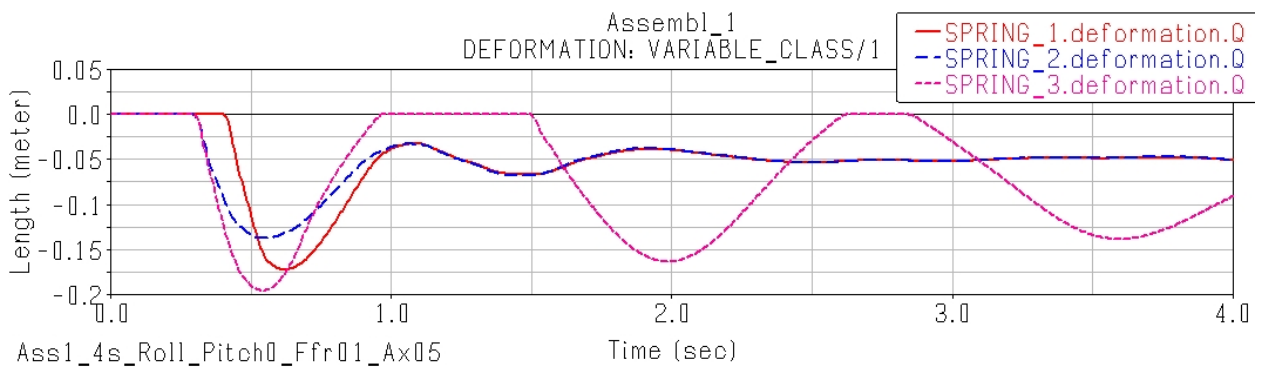


Рис. 27. Ходы амортизаторов носовой и главных стоек. Посадка с креном.

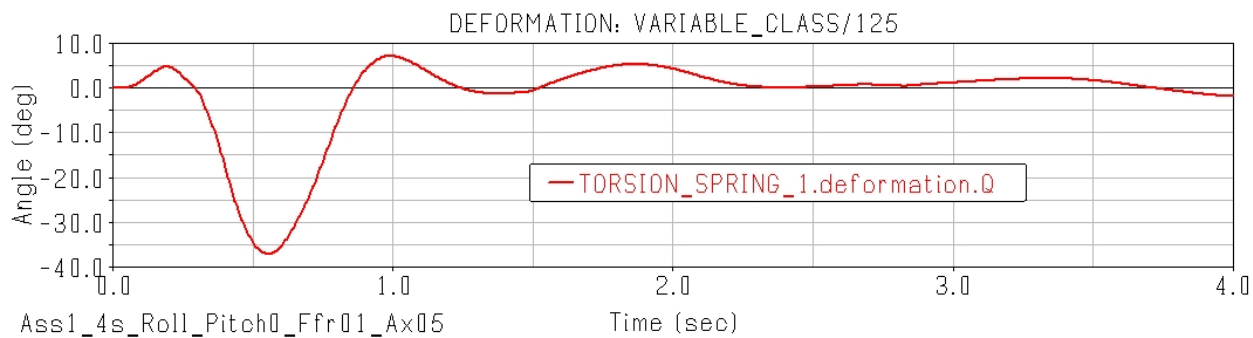


Рис. 28. Поворот носовой стойки шасси. Посадка с креном.

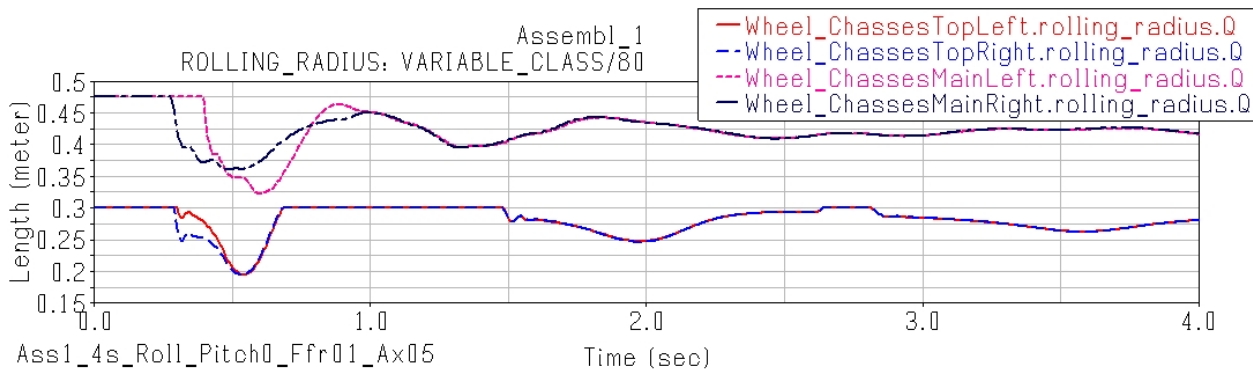


Рис. 29. Обжатие колёс носовой и главных стоек. Посадка с креном.

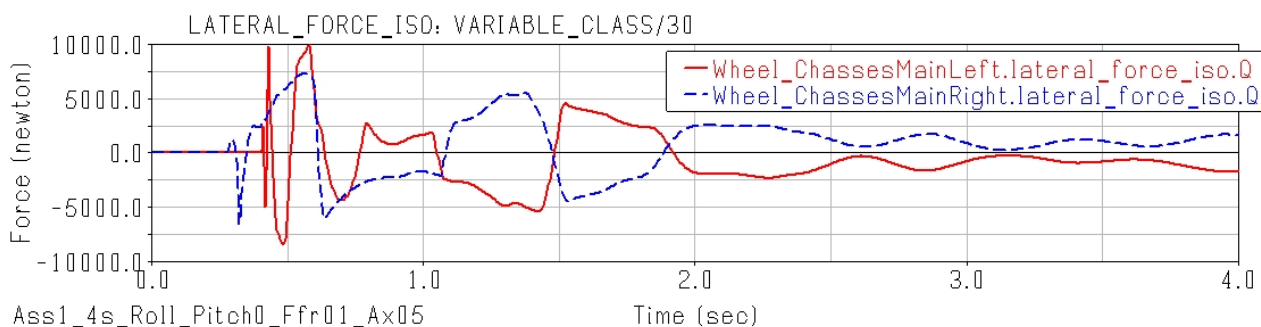


Рис. 30. Боковые силы на ступицах колёсах главного шасси. Посадка с креном.

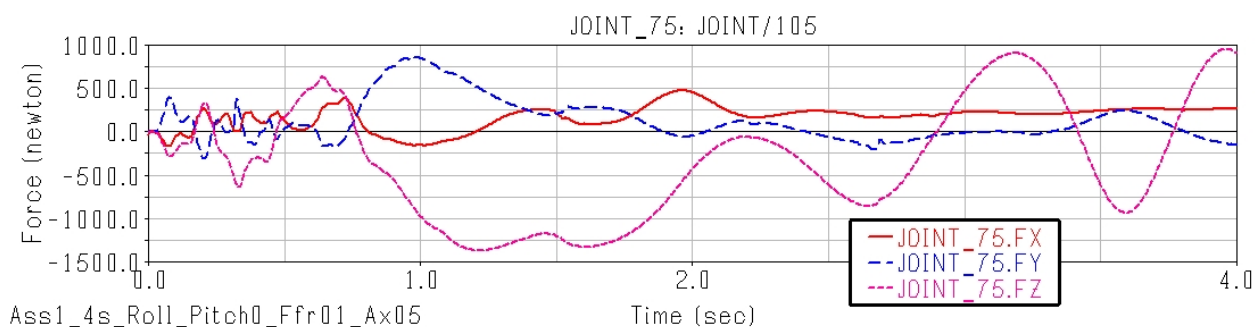


Рис. 31. Усилия в узле 75 (см. рис. 23) крепления подвески стабилизатора. Посадка с креном.

4.2. Учёт условий сборки модели.

Из рассмотрения графика на рис. 32 видно, что при построении модели необходимо учитывать условия сборки модели.

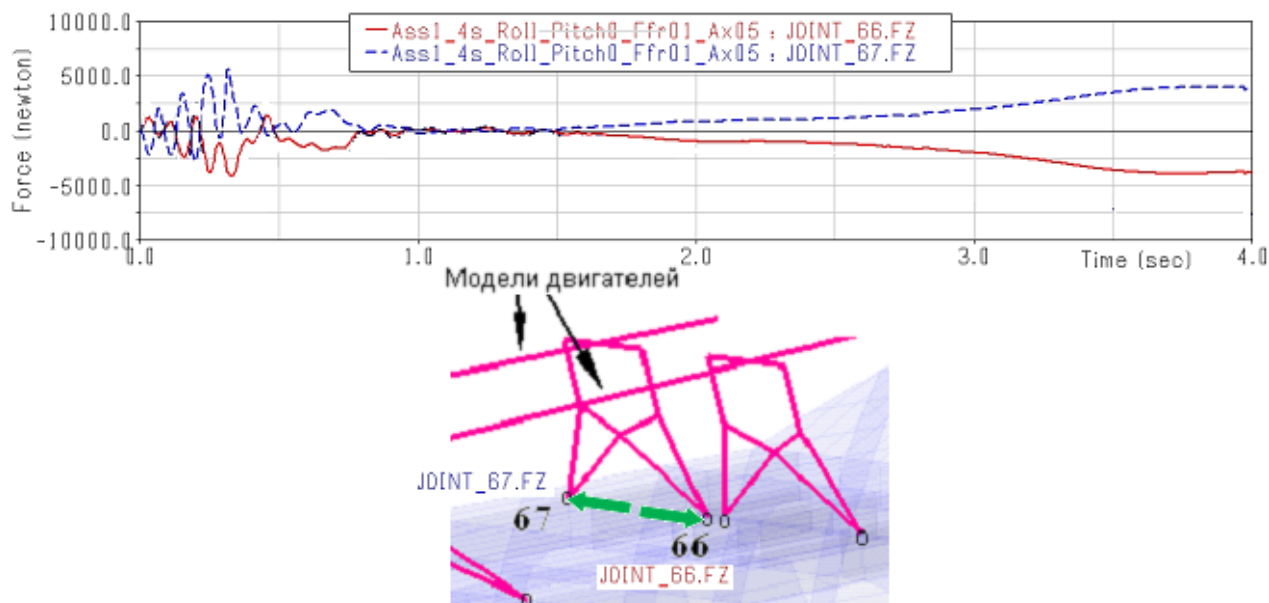


Рис. 32. Компоненты сил на подвеске двигателя. Посадка с креном.

Если динамическая модель вертолёта собрана в невесомости (без учёта силы тяжести), то, например, из-за деформации фюзеляжа под действием силы тяжести на стоянке в подвеске двигателя возникают усилия 3800 N (Time >3,5sec на рис. 32).

5. Выводы.

5.1. В ходе выполнения моделирования выяснилось:

- Модель фюзеляжа требует серьёзной переработки:
 - ✓ надо обеспечить жесткости в местах крепления агрегатов (мест присоединения через которые передаются большие усилия), например, места присоединения шасси, редукторов, двигателей, массивного оборудования, стыки фюзеляжа (кабина ↔ центральная часть ↔ хвостовая балка ↔ килевая балка).
 - ✓ Ячейки должны иметь более частую КЭ сеть, чем “одна ячейка – один элемент”.
 - ✓ В некоторых местах фюзеляжа, где нет больших сосредоточенных масс, возникают большие деформации, что приводит к накоплению ошибки при интегрировании. Это может быть связано с неадекватным КЭ моделированием.

- Балочная модель стабилизатора может давать “паразитные” формы и частоты. Кроме того нет алгоритмов для расширения решения с балочной модели на полную КЭ модель.
- Решение чувствительно к характеристикам демпферов и колёс (в частности боковой жёсткости колеса, коэффициенту трения).
- Решение чувствительно к моделям шарниров (диаметры, плечи, коэффициенты трения, силы и моменты страгивания, жёсткости и проч.).
- В расчёте не учтены условия сборки (рис. 32).
- В целом система ADAMS демонстрирует хорошую устойчивость при моделировании переходного процесса.

5.2. Направления работ.

1. Разработать более достоверную модель фюзеляжа и стабилизатора.
2. Разработать более совершенные модели стоек шасси (свойства амортизаторов, шарниров и подшипников, модели колёс, упругие звенья, система торможения).
3. Разработать модель трансмиссии, которая позволяет **(а)** моделировать процессы в трансмиссии и **(б)** отражает динамические свойства редукторов для включения их в динамическую модель вертолётa.
4. Разработать модель системы управления.
5. Разработать модели НВ и РВ для установки совместно с управлением и трансмиссией на модель вертолётa.
6. Разработать полную динамическую модель вертолётa с винтами, трансмиссией и системой управления.
7. Учёт нагрузок возникающих при сборке.
8. Учёт разброса параметров конструкции и систем.
9. Подключить аэродинамический расчёт.