

ПАВЛЮКОВЕЦ С.А., ВЕЛЬЧЕНКО А.А., ЛОБАТЫЙ А.А., РАДКЕВИЧ А.А., ХОЛОД П.В., БУЙВИД А.П.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрен обзор различных конструкций беспилотных летательных аппаратов серии «FPV-дрон». Проведено имитационное моделирование конструкции беспилотных летательных аппаратов на упруго-деформационные свойства корпуса. Проведен частотно-резонансный анализ и термический анализ конструкции летательного мобильного робота, что позволило проанализировать конструктивные особенности строения летательного мобильного робота и дать рекомендации по выбору материалов и элементов для обеспечения наиболее прочностных характеристик.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, имитационная модель, «FPV-дрон», мультикоптер, миникоптер, микрокоптер, частотно-резонансный анализ, термический анализ

Введение

С развитием авиации и робототехники, на сегодняшний день всё большее распространение получают беспилотные летательные аппараты (БЛА). В последнее время можно встретить термин «FPV-дрон», что фактически является беспилотным летательным аппаратом оснащённым, как правило, видеокамерой на борту. БЛА широко используются для аэрофотосъёмки, для внесения удобрений и ядохимикатов (так называемые агродроны). В связи с конструктивными особенностями FPV-дроны классифицируются:

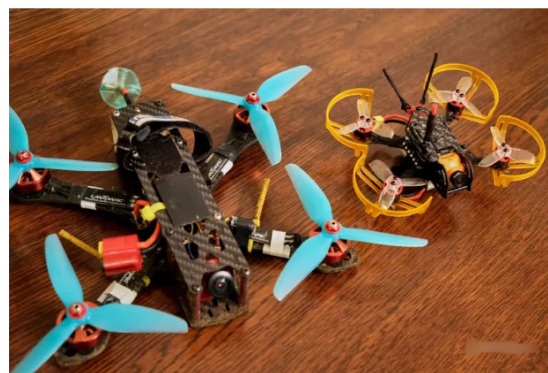
1. «мультикоптер» (или «мультиротор»), данный термин применяется для любого «коптера», который имеет более одного основного мотора или пропеллера [2], например трикоптер оснащается тремя двигателями, квадрокоптер оснащается четырьмя моторами, гексакоптер имеет шесть моторов, октокоптер – восемь и так далее.



Рисунок 1. Пример конструкций квадрокоптера и миникоптера [1]

2. Миникоптер – это фактически малого размера квадрокоптер, данную конструкцию называют FPV-дрон. Из-за малых габаритов данные

мини-квадрокоптеры (2) являются быстрыми, маневренными и устойчивыми к авариям. На сегодняшний день данные FPV-дрон имеет более мощные двигатели, более емкие аккумуляторы и большую дальность полета. Также современные модели имеют хорошее соотношение мощности к весу и могут развивать скорость до 290 км/ч.



а



б

Рисунок 2. Миникоптеры:

а) с лопастями 5 дюймов (слева), с лопастями 2 дюйма (справа); б) 4-дюймовый FPV-дрон массой до 250 грамм. [1]

FPV-дрон с 5-дюймовыми винтами являются универсальными, с отличным балансом между мощностью, эффективностью и маневренностью (рис. 2, а). Данные модели чаще всего используются для полетов вольным стилем, гонок и дальних полетов. Данные модели чаще всего оснащаются экшн-камерой (GoPro), вес их достигает вместе с аккумуляторной батареей 500-700 граммов, а средняя максимальная скорость до 120 км/ч. Так же очень популярны 4-дюймовые FPV-дрон из-за введения в некоторых странах ограничения веса в 250 грамм беспилотного летательного аппарата (рис. 2, б).

3. Микрокоптер – это 2-х дюймовые, 2,5 дюймовые и 3-х дюймовые FPV-дроны малого размера с малым весом и достойной производительностью (рис. 2, а и рис. 3). Данные модели по конструкции аналогичны 5-ти дюймовым микрокоптерам, единственное, из-за малых габаритов, оснастить их экшн-камерой GoPro не представляется возможным.



Рисунок 3. Микрокоптеры с пропеллерами диаметром 3 дюйма и меньше, размер рамы 150 мм и меньше

4. Tiny Whoops – данная категория FPV-дронов является очень легкой (20-30 граммов с аккумуляторной батареей) и предназначенная для полетов в помещении. Данный вид БЛА имеет конструктивные особенности, которая заключается в оснастке защитного кожуха в виде кольцевого ободка по окружности пропеллера. Защитный кожух служит защитой от соприкосновения пропеллера с окружающими предметами, это в свою очередь утяжеляет конструкцию БЛА и снижает его производительность. Тип Tiny Whoops FPV-дрона не особо подходит для полетов на открытом воздухе.



Рисунок 4. Tiny Whoops FPV-дрона для полетов в помещении

5. Сверхлегкие дроны имеют небольшой размер и вес, внешне выглядят как связка зубочисток и поэтому получили название «зубочистки». Данные БЛА предназначены для демонстрации возможности (трюковых элементов).

6. Cinewhoops это разновидность дрона с пропеллерами до 3-х дюймов вокруг которых находятся защитные кольца (рис. 5). Данные модели оснащены HD-камерой типа GoPro. Серия Cinewhoops дронов нашла свое применение для ведения киносъемки. Стиль полета данного дрона медленный и плавный, что безопасно для полета в помещении.



Рисунок 5. Серия Cinewhoops дронов с HD-камерой для ведения киносъемки

7. Дроны с 6 и 7-ми дюймовыми пропеллерами выделяют в отдельный класс БЛА. Данная серия дронов имеет более высокую грузоподъемность могут нести более крупный груз или более крупный аккумулятор чем микрокоптеры с 5-ти дюймовыми пропеллерами дроны. Такие модели подходят уже для дальних полетов, недостаток данной модели в том что более большие инерции и поэтому они не столь проворны, поэтому для гонок и акробатического стиля они не подходят.



Рисунок 6. Дроны с 7-ми дюймовыми пропеллерами

8. Cinelifter – это октокоптеры в конфигурации X8 (квадрокоптер с двумя моторами на каждом луче). На данную серию дронов устанавливают 6-8 дюймов пропеллеры и оснащают камерами премиального уровня для профессиональной киносъемки.

9. Дроны экстра-класса (X-class) и «монстры» являются самыми крупными и мощными беспилотниками среди дронов. Данные серии дронов имеют высокую стоимость и дорогие в обслуживании. Дроны экстра-класса имеют раму размером от 800-1200 мм и оснащаются пропеллерами от 9 до 13 дюймов. На дроны «монстры» используют раму менее 800 мм. Представленные серии дронов имеют достаточно большую дальность полета, большую грузоподъемность и хорошую маневренность, главное преимущество их в высокой точности полета, что актуально для гонок.

Рассмотренные классификации дронов показывают, что в зависимости от винтовой группы, на FPV-дроне имеются свои конструктивные особенности. Это связано с тем, в каких условиях эксплуатируется летательный аппарат и для каких целей. Когда БЛА совершает полет, на корпус действуют силы сопротивления воздуха и в связи с этим из обзора конструкций FPV-дронов, приведенного в статье ранее, можно увидеть, что одни БЛА более мобильные и маневренные, а другие могут лететь с небольшой скоростью. Это связано с конструктивными особенностями БЛА, расположением и количеством двигателей на корпусе. Поэтому, актуальной задачей будет рассмотреть, как влияют силы деформации на корпус БЛА.

Основная часть

Целью данной статьи является проведение моделирования упруго-деформационных свойств различных конструкций с различным количеством и расположением электродвигателей.

Рассмотрим модели квадрокоптеров, в которых традиционно используются 4 бес-

коллекторных электродвигателя (БДПТ). На рис. 8, а показано расположение БДПТ сверху корпуса квадрокоптера, на рис. 8, б, двигатели расположены снизу корпуса квадрокоптера, на рис. 8, в, 2 передних двигателя расположены вниз и 2 в верх над корпусом квадрокоптера. Также в статье рассмотрим традиционную модель квадрокоптера с 4-мя двигателями, расположенными вверх (рис. 8, з) и модель с 8-мью электродвигателями 4 двигателя вверх и 4 двигателя вниз (рис. 8, д), где для этих двух моделей установлен усиленный корпус в виде двух перекладин с правой и с левой стороны квадрокоптера.

С целью экспериментального определения оптимальной конструкции квадрокоптера было проведено конечно-элементное моделирование конструкции для 5 вариантов БЛА с различным расположением двигателей, из которых 2 варианта БЛА были промоделированы с дополнительными по бокам планками для усиления корпуса. Моделирование, проведенное в САПР SolidWorks, включало исследование напряженно-деформируемого и термического поведения конструкций дрона при помощи инструментов «Частотный анализ» и «Термический анализ» в SolidWorks Simulation.

Для проведения анализов были определены материалы элементов конструкций. Примем, что крестовина рамы изготовлена из легированной стали, пластины центра рамы выполнены из холоднодеформируемой стали AISI 1045, крепежные соединения – из литой нержавеющей стали, корпуса электродвигателей – из нержавеющей суперсплава A286 на основе стали, корпус видеокamеры – из АБС-пластика.

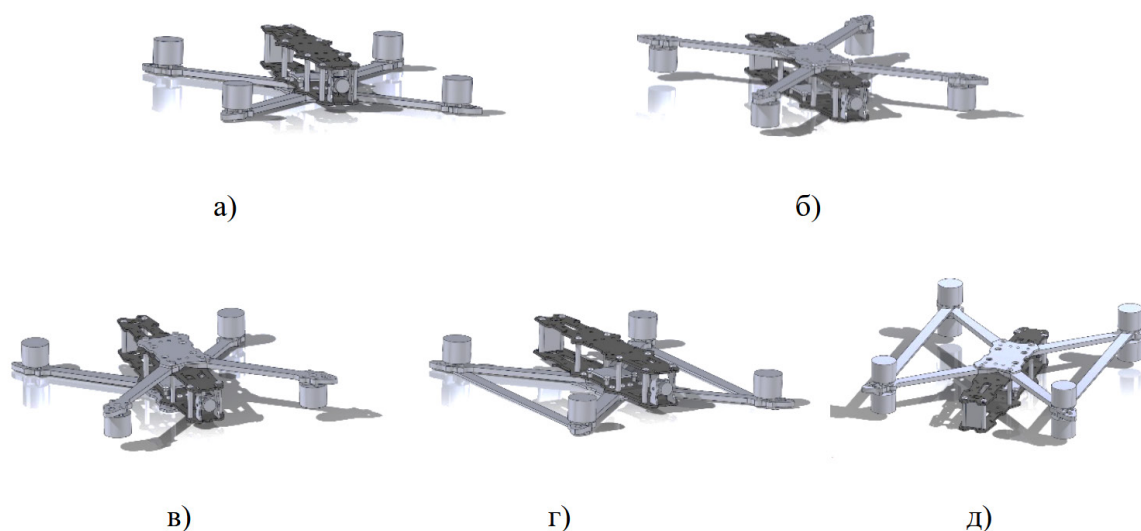


Рисунок 8. Модели летательных мобильных роботов: а) 4 двигателя над корпусом; б) 4 двигателя под корпусом; в) 2 двигателя впереди над корпусом и 2 сзади двигателя под корпусом; г) 4 двигателя над корпусом с усиленным корпусом; д) 8 двигателей – 4 над корпусом и 4 под корпусом с усиленным корпусом

Для каждой конструкции были зафиксированы три измерения резонансных частот, определённые программой автоматически (наименьшая резонансная частота, при которой происходит деформация, наибольшая резонансная частота и средняя резонансная частота). Также были получены результаты нагрева конструкций дрона при трёх значениях температуры окружающей среды: при 40 °С, при 70 °С и при 110 °С,

все в течение 10 с. Распространение резонансных частот характеризуется цветовой шкалой Ampres, которая является относительной величиной результирующей относительной амплитуды колебаний. Частотный анализ конструкции дрона с 4 двигателями сверху рамы показан на рис. 9.

Термический анализ конструкции дрона с 4 двигателями сверху рамы показан на рисунке 10.

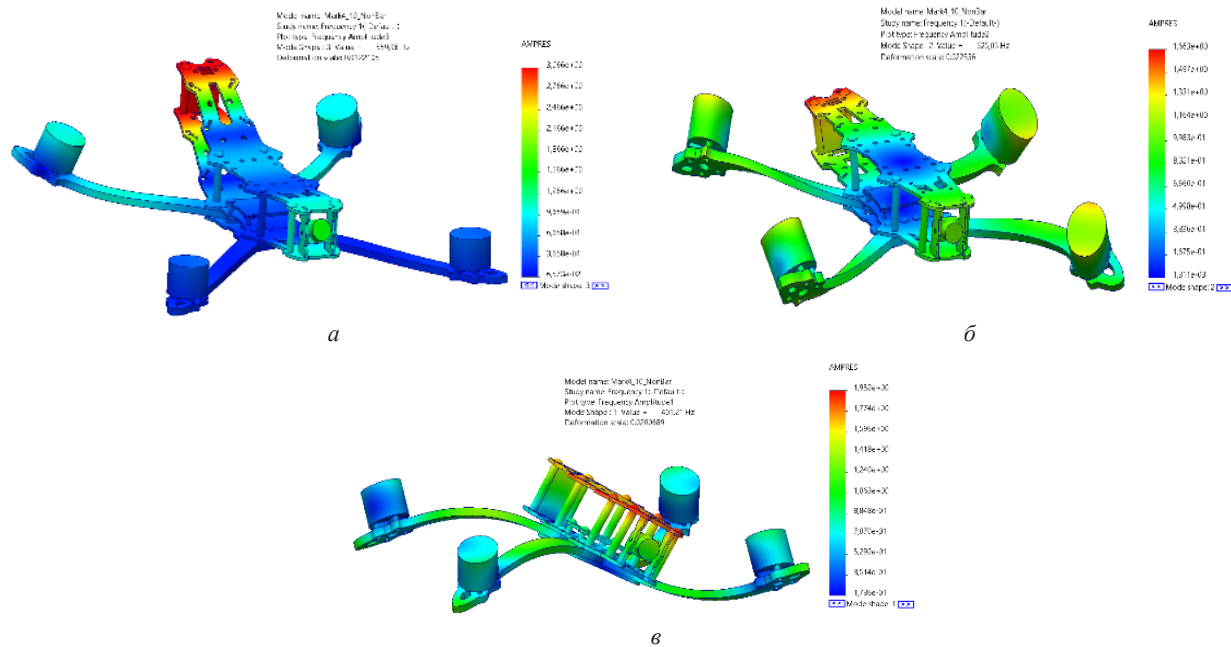


Рисунок 9. Частотный анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху рамы при резонансных частотах колебаний: а) 401,2 Гц, б) 525,05 Гц, в) 559,98 Гц

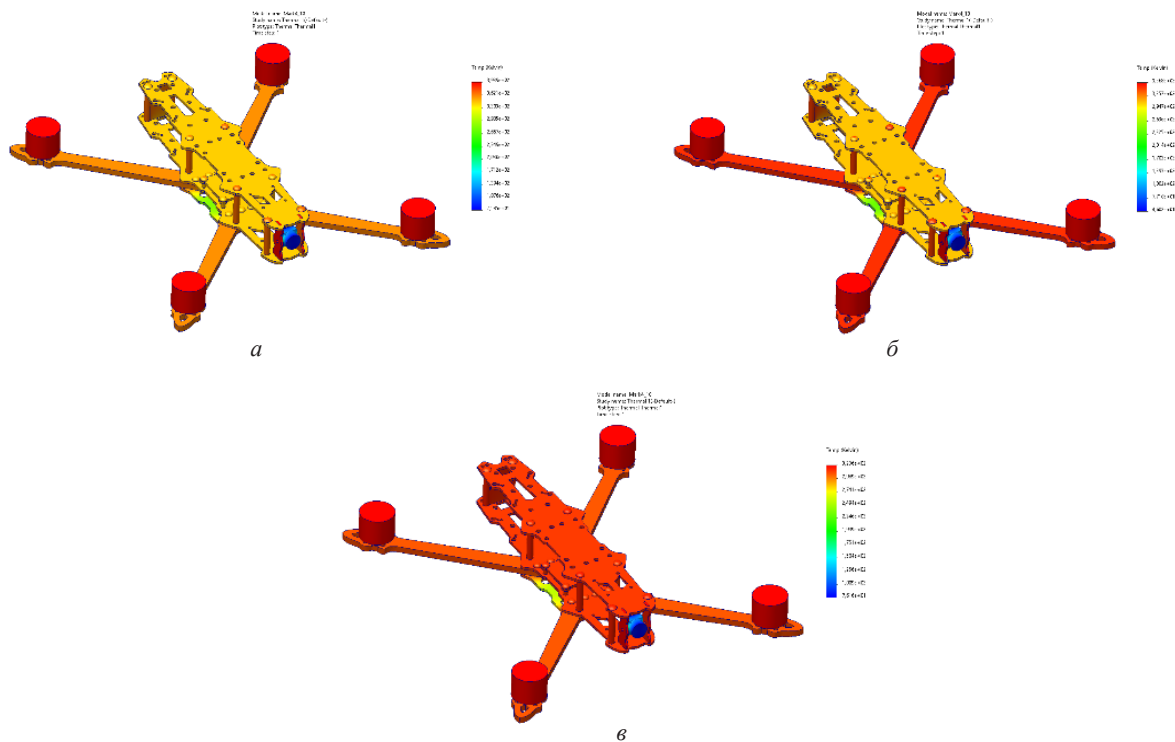


Рисунок 10. Термический анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °С, б) 70 °С, в) 110 °С.

Анализ рис. 9 показывает, что с ростом частоты (от минимального значения 401,2 Гц до максимального 508,05 Гц) резонансные колебания наиболее негативное влияние оказывают на крестовину корпуса, на которой смонтированы двигатели. Наблюдаются изгибы и искривления крестовины во всех направлениях. Коэффициент деформации составляет 0,022. Также отмечается изгиб незакрепленной к крестовине центральной части рамы в вертикальной плоскости на угол около 30°. Максимальные вибрации конструкции дрона зафиксированы именно в этой области.

Результаты термического анализа (рис. 10) показали, что с течением времени происходит нагрев сначала электродвигателей, затем крестовины рамы, затем центрального крепления рамы. На рис. 10 распространение температуры показано цветом: от минимальной – синей (40 °С) до максимальной – красной (117 °С). Наименьший нагрев испытывает видеочасть и нижняя грань перекрестья рамы,

наибольший – электродвигатели и стальная крестовина.

Следующей исследуем конструкцию квадрокоптера с нижним расположением четырёх электроприводов (рис. 8, б). Результаты частотно-резонансного анализа этой конструкции представлены на рис. 11.

При нижнем расположении БДПТ по-прежнему заметно значительное влияние резонансных частот на собственную частоту колебаний конструкции. Изгибы и повороты элементов квадрокоптера отмечены начиная с резонансной частоты, равной 359,49 Гц. При этом характер распространения вибраций конструкции сместился от верхней пластины центра рамы к нижней пластине, куда сместился центр масс дрона. При измерении резонанса на отметке 521,25 Гц конструкция квадрокоптера с нижним расположением электродвигателей искривлена во всех плоскостях. Коэффициент деформации составил 0,027.

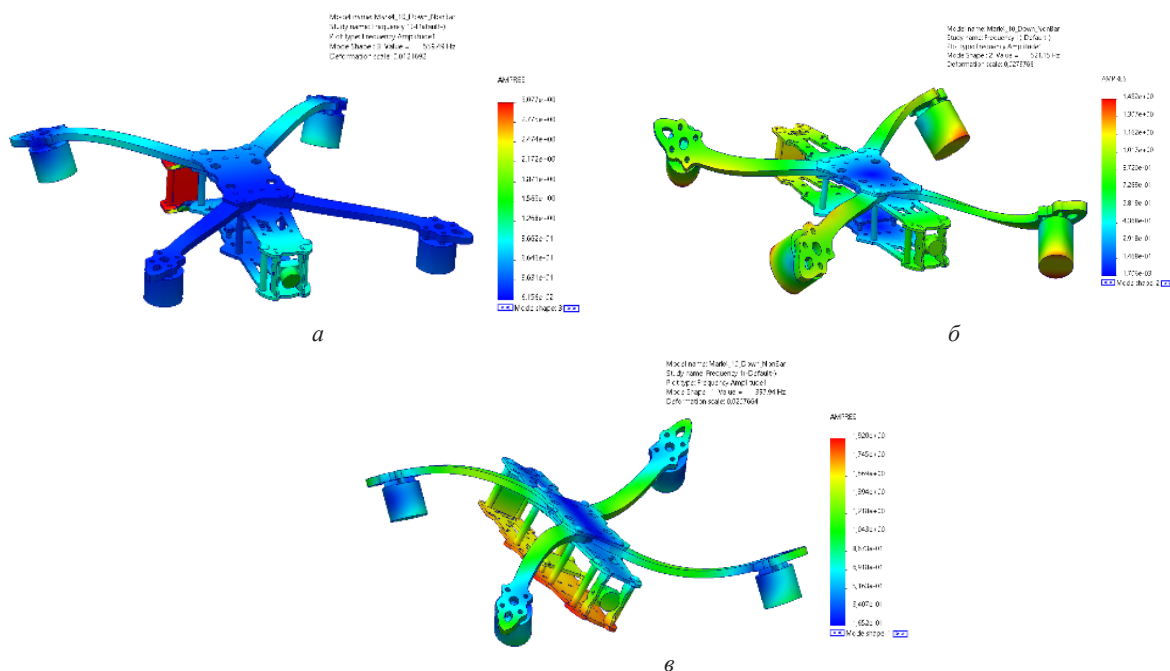


Рисунок 11. Частотный анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху рамы при резонансных частотах колебаний: а) 359,5 Гц, б) 397,94 Гц, в) 521,25 Гц

Результаты термического анализа конструкции квадрокоптера с нижним расположением электроприводов изображены на рис. 12.

Распространение температуры при конструкции дрона с нижним расположением электродвигателей показало лучшие характеристики по сравнению с предыдущим вариантом. Первичному нагреву также подвержены электродвигатели, а затем и рама (до 108 °С в течение 10 с). При этом центр перекрестья рамы нагревается

до отметки 92 °С, что меньше, чем при верхнем расположении двигателей.

Очевидно, что рассмотренные две конструкции являются механически и температурно неустойчивыми. Поэтому, проанализируем конструкцию квадрокоптера с верхним расположением задних двигателей и нижним расположением передних электродвигателей. Результаты частотно-резонансного анализа этой конструкции показаны на рис. 13.

Результаты термического анализа данной конструкции изображены на рис. 14.

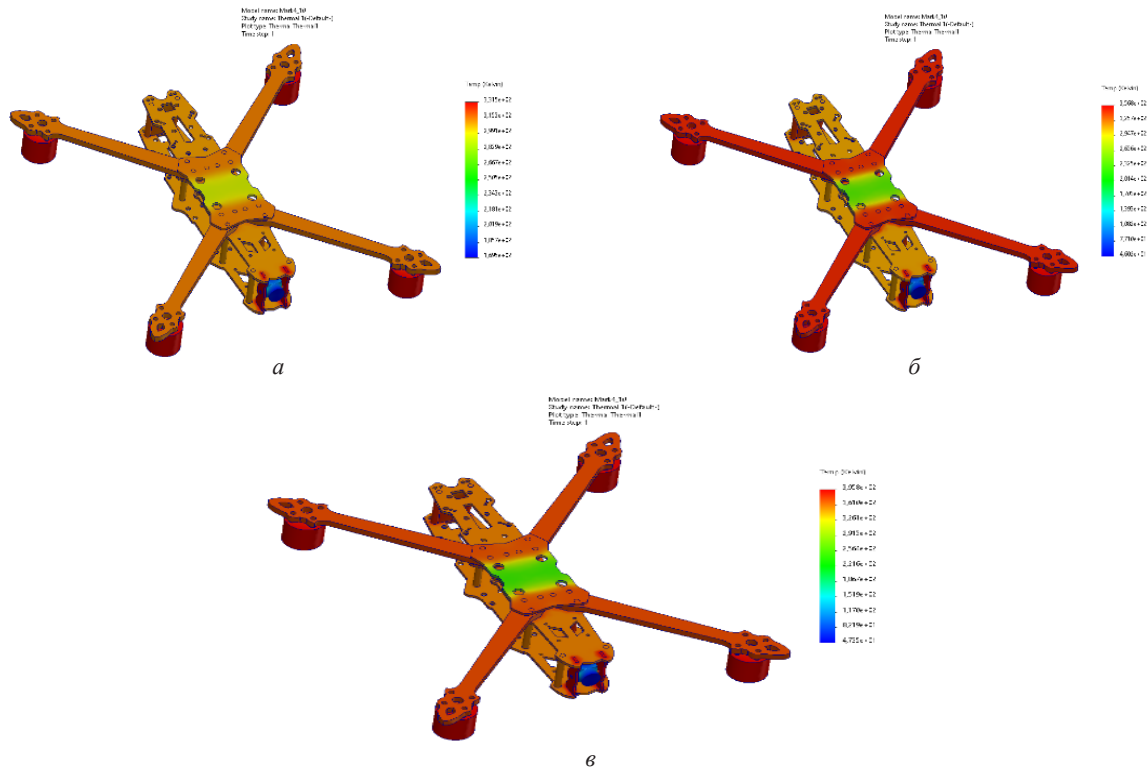


Рисунок 12. Термический анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей снизу рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °С, б) 70 °С, в) 110 °С

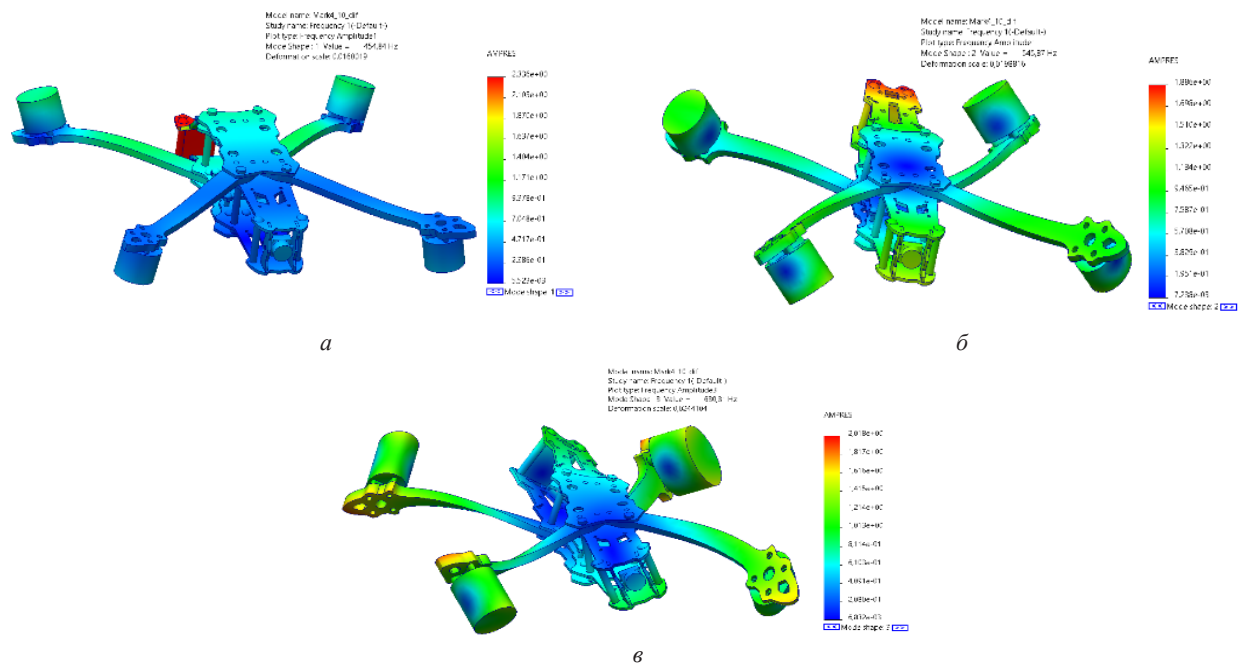


Рисунок 13. Частотный анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху и снизу рамы при резонансных частотах колебаний: а) 454,9 Гц, б) 545,9 Гц, в) 630,31 Гц

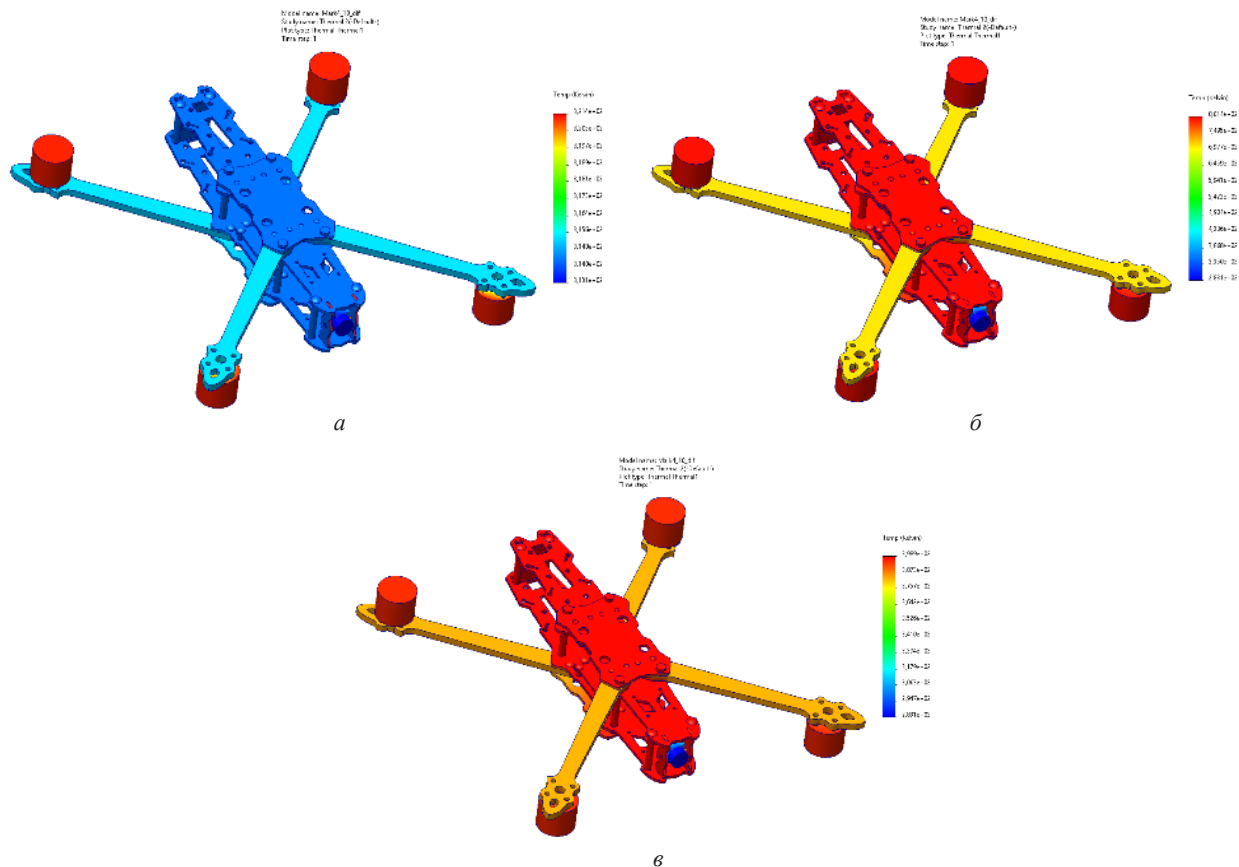


Рисунок 14. Термический анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху и снизу рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °С, б) 70 °С, в) 110 °С

Изменение расположения двигателей в конструкции дрона на рис. 14 не привело к уменьшению влияния резонансных частот на элементы квадрокоптера. При частотах, начиная с 454,84 Гц наблюдается деформирование рамы, характеризующееся закручиванием и изгибанием крестовины и перекрестья рамы. При частоте колебаний, достигающей 630,31 Гц, конструкция рамы дрона деформирована во всех плоскостях. Наибольшая амплитуда колебаний фиксируется в хвостовой части рамы. Коэффициент деформации составил 0,024.

Проведенный термический анализ конструкции (рис. 14) выявил меньший по сравнению с односторонним размещением двигателей нагрев крестовины, что в целом отразилось на уменьшении общего нагрева элементов. За 10 с электродвигатели нагрелись до 115 °С, центральная часть – до 80,7 °С, крестовина – до 69,7 °С.

Далее, рассмотрим усиленные варианты конструкций дрона. Проанализируем усиленную конструкцию квадрокоптера с верхним расположением четырёх электродвигателей (рис. 8, г). Частотно-резонансный анализ данной конструкции показан на рис. 15, а термический анализ показан на рис. 16.

Результаты термического анализа данной конструкции изображены на рис. 16.

По результатам полученных данных частотного анализа (рис. 15), можно сделать вывод о значительно возросшей устойчивости конструкции рамы и уменьшении деформаций. При резонансных частотах, равных 463,1 Гц и 488,6 Гц наблюдается вертикальный изгиб усиливающих металлических профилей, при этом крестовина не деформируется. Лишь при частоте резонанса, равной 500,04 Гц происходит изгиб крестовины и поворот электродвигателей. Коэффициент деформации в данном случае составил 0,012. Однако, усиленная конструкция обладает более высокой устойчивостью по сравнению с ранее рассмотренными.

В соответствии с данными термического анализа (рис. 16), усиление рамы также повлияло на распространение нагрева конструкции. По-прежнему наиболее подверженной температуре частью дрона являются электродвигатели, максимальная температура которых равняется 79,8 °С при 3 мин работы. За этот же промежуток времени рама с крестовиной нагрелась до 56,4 °С, что меньше, чем в случаях без усиления рамы.

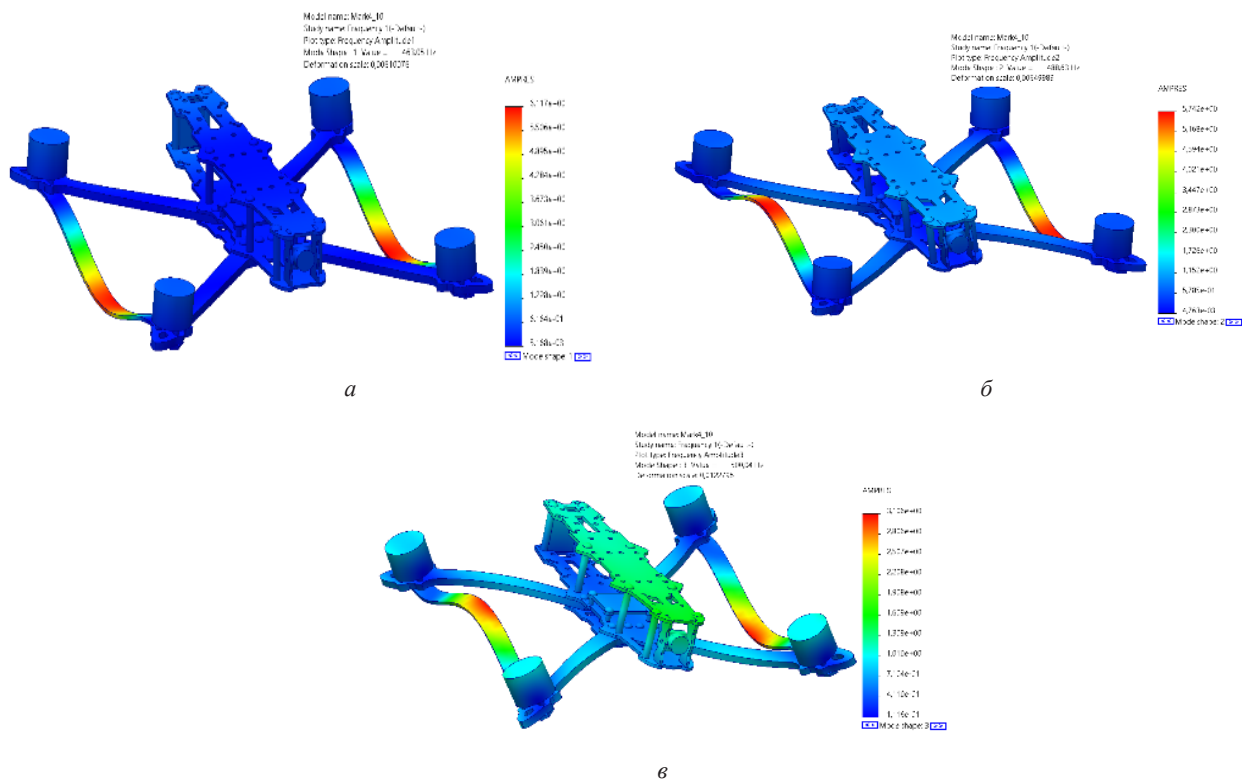


Рисунок 15. Частотный анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху и снизу рамы при резонансных частотах колебаний: а) 454,9 Гц, б) 545,9 Гц, в) 630,31 Гц

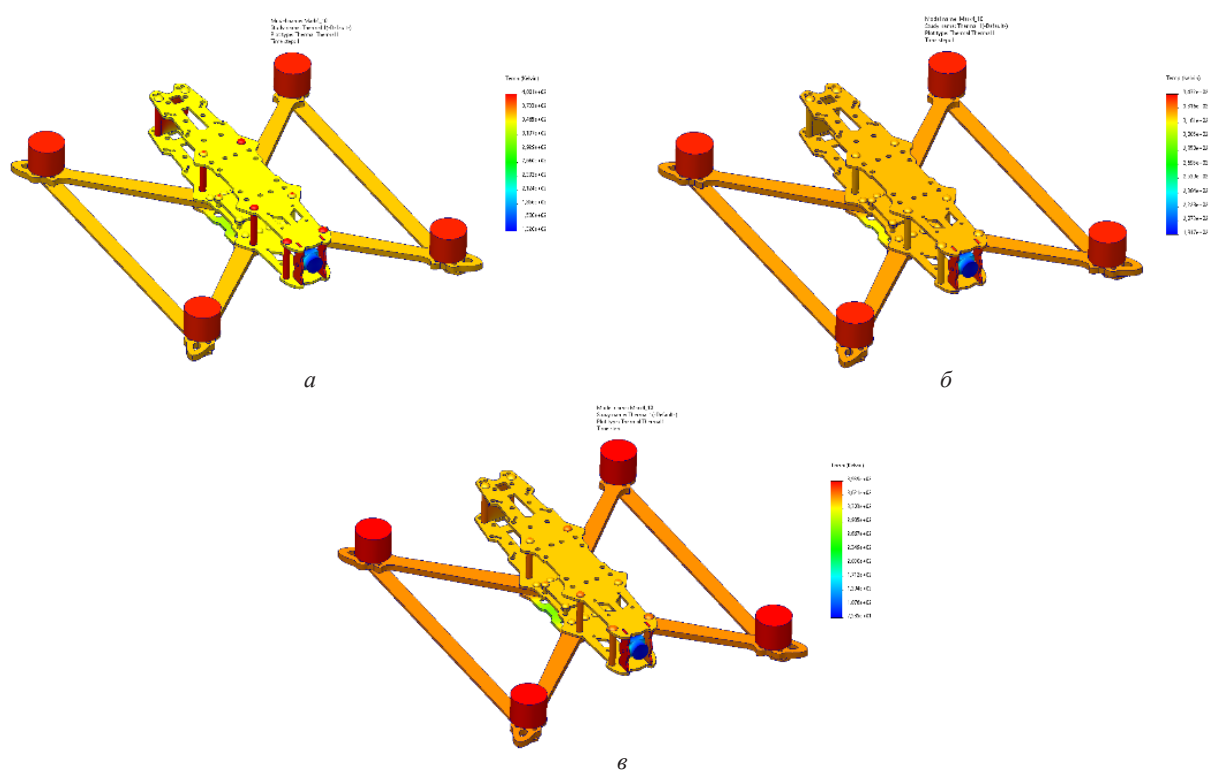


Рисунок 16. Термический анализ усиленной конструкции дрона с расположением двигателей сверху рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °C, б) 70 °C, в) 110 °C

Последним этапом рассмотрим вариант усиленной конструкции дрона с 8 электродвигателями, которые расположены по обе стороны рамы. Частотно-резонансный

анализ данного варианта конструкции изображён на рис. 17.

Результаты термического анализа данного типа конструкции изображены на рис. 18.

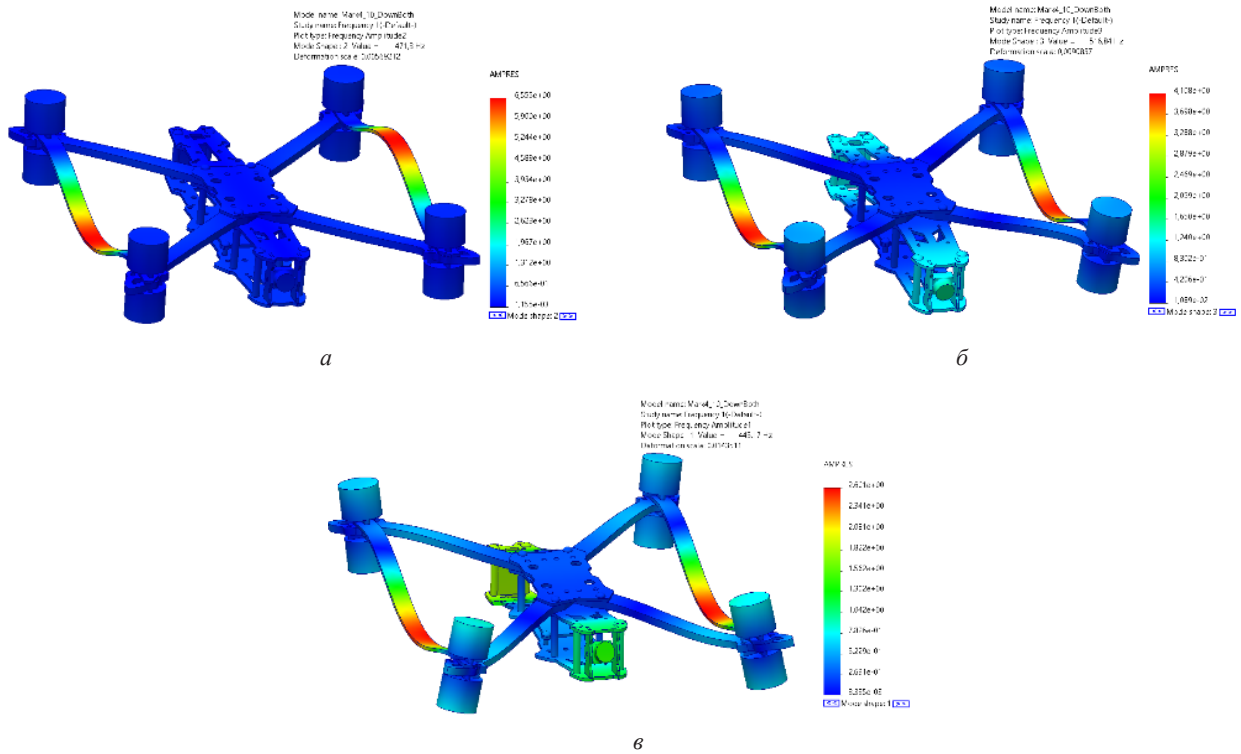


Рисунок 17. Частотный анализ усиленной конструкции дрона с расположением двигателей по обе стороны рамы при резонансных частотах: а) 445,17 Гц, б) 471,3 Гц, в) 516,84 Гц

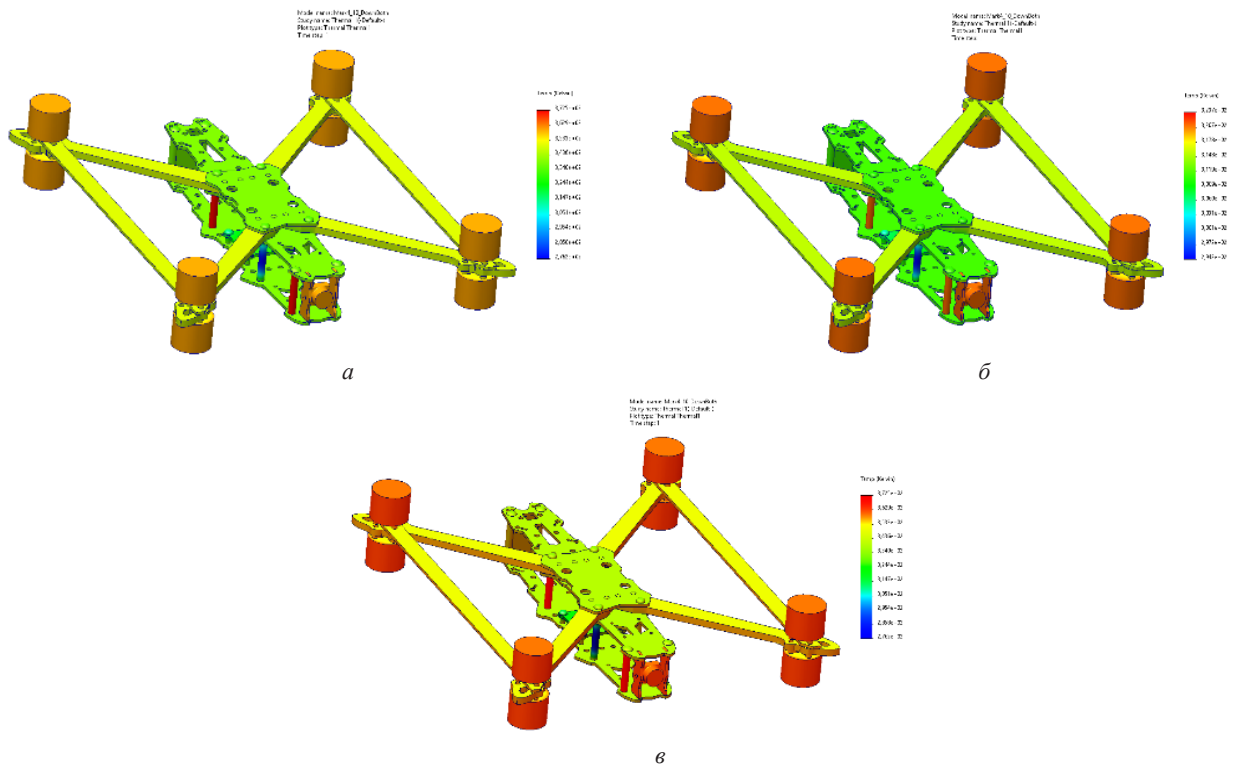


Рисунок 18. Термический анализ усиленной конструкции дрона с расположением двигателей сверху рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °C, б) 70 °C, в) 110 °C

В случае усиленной конструкции квадрокоптера с 8 электродвигателями, расположенными по обе стороны рамы, частотно-резонансный анализ показал наличие деформаций усиливающих элементов на частоте резонанса 516,84 Гц. Вследствие этого происходит отклонение электродвигателей от горизонтального положения и изгиб концов крестовины. Коэффициент деформации на частоте 516,84 Гц составил 0,014.

Исходя из результатов термического анализа (рис. 18), данная конструкция дрона отличается минимальным среди всех вариантов нагревом элементов. В течение 10 с наибольшему нагреву подверглись электродвигатели (до 73 °С), а температура рамы осталась в пределах температуры окружающей среды (около 40 °С).

Заключение

В статье были рассмотрены конструктивные особенности БЛА на примере FPV-дрона. Проведено имитационное моделирование для 5 вариантов БЛА с различным расположением двигателей (4 двигателя над корпусом, 4 двигателя под корпусом, 2 двигателя впереди над корпусом и два сзади двигателя под корпусом) и с усилением корпуса (4 двигателя над корпусом, 8 двигателей – 4 над корпусом и 4 под корпусом) для напряженно-деформационного состояния БЛА. В ходе имитационного исследования было проведено частотно-резонансный анализ и термический анализ, который позволил дать рекомендации:

1. Конструкция квадрокоптера с 4-мя двигателями, расположенными сверху рамы обладает низкой механической прочностью и высоким тепловым

нагревом. Коэффициент деформации при высоких резонансных частотах составил 0,022.

2. Конструкция квадрокоптера с 4-мя двигателями, расположенными снизу рамы также обладает невысокой механической прочностью и высоким тепловым нагревом. Коэффициент деформации при высоких резонансных частотах данной конструкции равен 0,027.

3. Конструкция дрона с 4-мя двигателями, расположенными по обе стороны рамы, также отличается низкой устойчивостью к резонансным колебаниям и подверженностью к перегреву. Коэффициент деформации в данном случае составил 0,024.

4. Усиленная конструкция дрона с 4-мя двигателями, размещенными сверху рамы, обладает повышенной устойчивостью к резонансным частотам, также отличается уменьшенным тепловым нагревом при высоких температурах. Коэффициент деформации равняется 0,012.

5. Наиболее удачная с точки зрения механической прочности и теплового нагрева конструкция дрона – с усиленной рамой и размещением 8 электродвигателей по обе стороны корпуса. Коэффициент её деформации равен 0,014, а по условиям теплового нагрева были достигнуты наименьшие результаты среди рассмотренных вариантов. Это связывается с тем, что центр масс БЛА в данной конструкции находится ближе к геометрическому центру дрона, чем в остальных вариантах.

Полученные рекомендации для рассмотренных в статье моделей позволяют при дальнейшем конструировании получать летательные мобильные роботы с более улучшенными прочностными характеристиками.

REFERENCES

1. Dronnews, FPV drones: definition, types, kits and self-assembly/ [Electronic resource] URL: https://dronnews.ru/fpv/kak-nauchitsya-letat-na-fpv-drone-poshagovoe-rukovodstvo-dlya-nachinayuschih.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F (access date: 08/29/2024).
2. **M. Dhaybi, N. Daher**, Accurate Real-time Estimation of the Inertia Tensor of Package Delivery Quadrotors, in Proceedings of the American Control Conference, AACC, 1-3 July 2020, Denver, CO, USA (2020)
3. **M. Dharmadhikari, H. Nguyen, F. Mascarich, N. Khedekar, K. Alexis**, Autonomous cave exploration using aerial robots, in Proceedings of International conference on unmanned aircraft systems, ICUAS, 15-18 June 2021, Athens, Greece.
4. **R. Leishman, J. Macdonald, T. McLain, R. Beard**, Relative navigation and control of a hexacopter, in Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference, pp. 4937–4942.
5. **Gabriel M. Hoffmann, Haomiao Huang, Steven L. Waslander, C. J. Tomlin**, Quadrotor helicopter flight dynamics and control: Theory and experiment, Proc. of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Vol. 2, p. 7, 2007.
6. **Fogelberg J.** Navigation and Autonomous Control of a Hexacopter in Indoor Environments. // MSc Thesis, Department of Automatic Control, Lund University, 2013. – ISSN 0280-5316.
7. **Moussid M., Sayouti A., Medromi H.** Dynamic Modeling and Control of a HexaRotor using Linear and Nonlinear Methods // International Journal of Applied Information Systems. 2015 Aug, 9-5.
8. **T. Wang, R. Qin, Y. Chen, H. Snoussi** "A reinforcement learning approach for UAV target searching and tracking," Multimedia Tools and Applications, v. 78, n. 4, p. 4347–4364, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-5739-5>.
9. **J. Songming, G. Haiyue, Z. Xiaokun, L. Dengpan** "Fault Tolerant Control Algorithm of Hexarotor UAV " Journal of Robotics ,v.20, Hindawi, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8829329>
10. **S. Chaoran, S.A. Agha, M. Zaharuddin, M.H. Shaheed** "Optimised Sliding Mode Control of a Hexacopter: Simulation and Experiments" Electronics ,v.11, n.16, p. 2519, 2022. <https://doi.org/10.3390/electronics11162519>

PAULIUKAVETS S.A., VELCHENKO A.A., LOBATY A.A., RADKEVICH A.A., KHOLOD P.V., BUIVID A.P.

INFLUENCE OF DESIGN FEATURES ON THE EFFICIENCY OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

The paper provides an overview of various designs of unmanned aerial vehicles of the FPV drone series. Simulation modeling of the design of unmanned aerial vehicles was carried out on the elastic-deformation properties of the body. Frequency resonance analysis and thermal analysis of the design of the flying mobile robot were carried out, which made it possible to analyze the design features of the structure of the flying mobile robot and give recommendations on the selection of materials and elements to ensure the most strength characteristics.

Keywords: unmanned aerial vehicle, simulation model, FPV drone, multicopter, minicopter, microcopter, resonance frequency analysis, thermal analysis



Павлюковец Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с разработкой методов и алгоритмов управления мобильными роботами.

Siarhei A. Pauliukavets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations and Technological Complexes of the Belarusian National Technical University. The area of scientific interests is related to the development of methods and algorithms for controlling mobile robots.

E-mail: sap@bntu.by



Вельченко Анна Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с разработкой и исследованием нейросетевых регуляторов для электропривода в мобильной робототехнике и солнечной энергетике.

Anna A. Velchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations and Technological Complexes of the Belarusian National Technical University. His area of scientific interests is related to the development and research of neural network controllers for electric drives in mobile robotics and solar energy.

E-mail: eapu@bntu.by



Лобатый Александр Александрович, доктор технических наук, профессор. Проводит исследования в области анализа и синтеза систем управления, в том числе - беспилотными летательными аппаратами. Автор и соавтор множества статей в научных журналах и конференциях, автор ряда книг и учебных пособий.

Lobaty A.A., Doctor of Science, Professor. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of control systems including unmanned aerial vehicles. He is the author and co-author of many articles in scientific journals, conferences and books.

E-mail: lobaty@bntu.by



Радкевич Артём Андреевич – магистрант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с применением нейросетевых технологий управления электроприводами в мобильной робототехнике.

Artsiom A. Radkevich is a master student of the Electric drive and automation of industrial installations and technological complexes department of the Belarusian National Technical University. The area of scientific interests is related to neural network control of electric drives in wheeled mobile robotics

E-mail: radkevichaa@bntu.by



Холод Павел Викторович – ассистент кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с исследованием законов управления беспилотными летательными аппаратами.

Pavel V. Kholod assistant at the Department of Robotic Systems of the Belarusian National Technical University. The area of scientific interests is related to the study of the laws of control of unmanned aerial vehicles.

E-mail: rts@bntu.by



Буйвид Антон Петрович – студент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с твердотельным параметрическим моделированием.

Anton P. Buivid is a student of the Electric drive and automation of industrial installations and technological complexes department of the Belarusian National Technical University. The area of scientific interests is related to 3D modelling.

E-mail: eapu@bntu.by