

Ю. Т. Зырянов, А. П. Кирпичников, О. А. Красильников,
В. В. Лебедев, С. Н. Моисеев, В. С. Олешко, Д. П. Ткаченко

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СНАРЯЖЕНИЯ САМОЛЁТОВ

Ключевые слова: энергетическая система, робототехнический комплекс.

В данной статье авторы проводят расчет параметров, по результатам которых возможно выбирать энергоустановку и тип трансмиссии, обеспечивающие указанные в тактико-техническом задании характеристики робототехнического комплекса снаряжения самолётов авиационными средствами поражения.

Key words: energy system, robot-technical complex.

In this article the authors carry out the calculation parameters, the results of which it is possible to choose a power plant and transmission type, providing specified in the tactical and technical specifications characteristics robotic complex equipment of aircraft aviation means of destruction.

Введение

Под робототехническим комплексом (РТК) снаряжения самолётов авиационными средствами поражения (АСП) понимаются технические системы и устройства, предназначенные для частичной или полной автоматизации физических и/или интеллектуальных функций человека в определённой профессиональной деятельности [1].

Снаряжение воздушных судов АСП является наиболее трудоёмкой и опасной частью подготовки их к применению. Поэтому в настоящее время активно разрабатываются и внедряются в практику робототехнические средства подготовки комплексов авиационного вооружения.

В отличие от механизированных средств снаряжения, РТК позволяют осуществлять автоматическую загрузку и транспортировку АСП к самолёту, установку АСП на высоко и низко расположенные узлы подвески, находящиеся вне визуальной видимости оператора. Для выполнения вышеперечисленных операций необходимо правильно проинформировать выбор энергетической системы [1].

Выбор энергетической системы РТК зависит от ряда факторов, в первую очередь, от потребляемой мощности и длительности выполнения операций по подготовке и снаряжению самолётов АСП, а также от компоновки РТК [2-4].

Задачи проектировочного тягового расчета

Энергетическая установка представляет собой совокупность источника, систем преобразования, передачи и коммутации электроэнергии. Существуют два подхода к решению задачи выбора источника энергии, размещаемого на борту, и внешне по отношению к РТК.

В первом случае источниками являются различные типы аккумуляторов, двигатели. Во втором, энергия передается от внешнего источника питания по кабелю. Эмпирическая зависимость массы кабельной сети РТК $M_{кб}$ от передаваемой мощности имеет вид [5]:

$$M_{кб} = \alpha_{кб} (1 + K_L L)^k N_{эу},$$

где $\alpha_{кб}$ – коэффициент, учитывающий параметры электроэнергии;

K_L – коэффициент, учитывающий длину РТК;

L – длина РТК, м;

$k < 1$ – показатель степени;

$N_{эу}$ – мощность энергоустановки, кВт.

Для выбора двигателя РТК, исходя из условий эксплуатации, проводят проектировочный тяговый расчет, по результатам которого выбирают энергоустановку и тип трансмиссии, обеспечивающие указанные в тактико-техническом задании характеристики РТК.

Основные задачи проектировочного тягового расчета можно сформулировать следующим образом [2, 5]:

- определить необходимую мощность энергоустановки;
- найти максимальную и минимальную скорости движения и необходимый диапазон изменения скорости РТК;
- сформировать исходные данные для проектировочных расчетов других систем, входящих в РТК.

Первоначально определяют количественные показатели тяговой характеристики, для чего рассчитывают максимально потребную тяговую мощность на двигателе N . Максимальная тяговая мощность может быть определена из двух условий:

- 1) обеспечение максимальной скорости движения РТК в среднестатистических условиях эксплуатации;
- 2) обеспечение перемещений РТК с максимально возможной скоростью движения в наиболее тяжелых условиях эксплуатации.

Полученные значения мощности необходимо уточнить, учитывая энергозатраты, требуемые на поворот РТК.

Мощность, затрачиваемая на прямолинейное перемещение проектируемого РТК с колесным или гусеничным двигателем, равна:

$$N = \frac{P_T V}{\eta_0}, \quad (1)$$

где P_T – потребная сила тяги;

V – необходимая скорость движения РТК;

η_0 – суммарный коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии и движителя.

Максимальная сила тяги определяется по формуле:

$$P_T = G_M f_{CM},$$

где G_M – вес РТК;

f_{CM} – суммарный коэффициент сопротивления движению.

$$f_{CM} = f \cos \alpha + \sin \alpha,$$

где α – угол подъема в градусах, для прямолинейного движения не более 10° ;

f – коэффициент сопротивления движению в зависимости от типа основания.

Коэффициент сопротивления движению зависит от дорожных условий. В таблице 1 приведены осредненные значения коэффициентов [5] в зависимости от типа основания.

Таблица 1 – Коэффициенты сопротивления движению

Основание	Гусеничный движитель	Колесный движитель
Дороги с твердым покрытием	От 0,030 до 0,050	От 0,015 до 0,020
Сухие грунтовые дороги	От 0,060 до 0,070	От 0,025 до 0,030
Грязные грунтовые дороги	От 0,100 до 0,130	От 0,05 до 0,150
Песок	От 0,150 до 0,200	От 0,100 до 0,300
Луг	От 0,080 до 0,100	От 0,060 до 0,100
Снег	От 0,100 до 0,400	–

Из анализа таблицы 1 можно сделать вывод о том, что при прочих равных условиях энергозатраты на передвижение РТК с колесным или гусеничным движителем зависят от коэффициента сопротивления движению. При малых f (хорошие условия движения) энергозатраты колесного движителя будут меньше, при ухудшении условий они выравниваются, а при тяжелых условиях более экономичным будет гусеничный движитель. Однако максимальная тяговая мощность, получаемая на основе V_{max} , может не обеспечить движение РТК в тяжелых условиях с необходимой скоростью. Поэтому следует провести тяговый расчет максимальной скорости по второму условию.

Определение мощности тягового электродвигателя с регулированием при постоянной мощности

Мощность тягового электродвигателя с регулированием при постоянной мощности определяется по формуле:

$$N_{TЭ} = NK_V,$$

где $K_V = \frac{V_{max}}{V_{min}}$ – кинематический диапазон.

Учитывая суммарный КПД движителя и трансмиссии, определяем номинальную мощность тягового электродвигателя из (1).

Для получения тяговой характеристики определялось необходимое передаточное число редуктора ($i_{ред}$) и максимальный потребный момент двигателя (M_{dmax}):

$$i_{ред} = \frac{M_{dmax} r_k}{V_{max}};$$

$$M_{dmax} = \frac{P_{Tmax} r_k}{i_{ред} \eta_{TP} \omega_d},$$

где r_k – радиус ведущего колеса движителя;

P_{Tmax} – максимальная сила тяги;

η_{TP} – КПД трансмиссии;

ω_d – частота вращения двигателя.

При криволинейном движении РТК, и его частном случае – повороте, энергозатраты на движение резко возрастают. Лучшей маневренностью обладают РТК с бортовым поворотом, происходящим за счет изменения угловых скоростей колес или гусениц правого или левого бортов. В предельном положении при вращении движителей обоих бортов в противоположных направлениях шасси разворачивается на месте ($R=0$).

При повороте на РТК действуют боковые силы и дополнительные моменты, приводящие к возрастанию продольных реакций сопротивления движению, для преодоления которых необходимо увеличить крутящие моменты на ведущих колесах. Поэтому, чтобы РТК поворачивал с заданным радиусом, требуется выполнение двух условий:

1) обеспечение возможности создания достаточной силы тяги, способной преодолеть возросшую по сравнению с прямолинейным движением силу сопротивления движению (то есть выполнения условия ($f_{доп} = D - f_{CM}$), где D – динамический фактор), а коэффициент приращения удельной силы тяги при повороте определяется следующим образом:

$$f_{доп} = \frac{\sum P_{пов} - \sum P_{дл}}{G_M},$$

где $\Sigma P_{пов}$ – сумма дополнительных сил сопротивления движению, возникающих на всех движителях при повороте РТК;

$\Sigma P_{дi}$ – сумма сил тяги на всех движителях при прямолинейном движении;

2) обеспечение надежного сцепления движителей с опорной поверхностью.

Учитывая необходимость надежного маневрирования РТК, нужно иметь запас мощности для гарантированного поворота РТК на заданных типах оснований.

Выводы

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

Выбор того или иного вида движителя зависит прежде всего от условий передвижения РТК;

1) Целесообразно вводить две скорости движения РТК – V_{max} и $V_{Рmax}$ (скорость движения с максимальной тягой).

2) Для реализации поворота гусеничного РТК с минимальным радиусом поворота R_{min} необходимо предусмотреть возможность форсирования двигателя по мощности.

Таким образом, предварительный тяговый расчет проектируемого РТК устанавливает

требуемые энергетические параметры, которые необходимо обеспечить при выборе системы энергообеспечения РТК.

Литература

1. В.Д. Закутаев, С.П. Хрипунов, Ю.Т. Зырянов, *Робототехнические системы подготовки и контроля комплексов авиационного вооружения*. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Москва, 2011. 360 с.
2. И.И. Мачульский, В.П. Запятой, Ю.П. Майоров, А.В. Вершинский, Г.С. Загорский, *Робототехнические системы и комплексы*. Транспорт, Москва, 1999. 446 с.
3. А.П. Кирпичников, С.Н. Моисеев, В.В. Лебедев, В.А. Сухарев, И.В. Герасимов, В.С. Олешко, Д.П. Ткаченко, *Вестник КТУ*, **14**, 178–180 (2013).
4. А.П. Кирпичников, С.Н. Моисеев, А.Н. Потапов, В.С. Олешко, Д.П. Ткаченко, *Вестник КТУ*, **21**, 319–322 (2013).
5. В.Н. Наумов, А.Ф. Батанов, *Проектирование мобильных робототехнических средств. Ч. 1. Энергообеспечение*. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1998. 47 с.

© Ю. Т. Зырянов – д.т.н., проф., проф. каф. конструирования радиоэлектронных и микропроцессорных систем Тамбовского ГТУ, Почетный работник ВПО РФ, zut-tmb@mail.ru; А. П. Кирпичников – д.ф.-м.н., зав. каф. интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами КНИТУ, kirpichnikov@kstu.ru; О. А. Красильников – препод. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», kras21@mail.ru; В. В. Лебедев – к.т.н., доц. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», wwl68@mail.ru; С. Н. Моисеев – зам. нач. каф. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», msn@mail.ru; В. С. Олешко – к.т.н., профессор воен. инст. МАИ (НИУ), ovs_mai@mail.ru; Д. П. Ткаченко – к.т.н., нач. цикла воен. инст. МАИ (НИУ), tdp@list.ru.