

УДК 621.313.017

В.А. МАТУСЕВИЧ, Б.П. КАЛИНИН

ГП «Харьковское агрегатно-конструкторское бюро», Украина

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА С АВАРИЙНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

Сформулирована система уравнений, описывающих изменение основных рабочих параметров электрогидравлического привода с аварийным источником питания при отработке заданного закона изменения расхода насосной станции. Решение полученных уравнений позволяет произвести обоснованный выбор номинальной емкости аварийного источника тока.

аварийный источник питания, электрогидравлический привод, энергоемкость источника, тепловые батареи, разрядка источника, обеспечиваемый расход

Для любого летательного аппарата одним из наиболее опасных отказов, приводящим зачастую к катастрофе, является отказ основных источников давления гидравлических систем. Жизнестойкость летательного аппарата с таким дефектом может быть обеспечена только при сохранении работоспособности систем управления полетом, для чего в составе гидравлических систем самолетов предусматривают дополнительные насосные станции с аварийными источниками питания. В качестве аварийных источников энергопитания для систем управления полетом могут быть использованы, в частности, электрохимические источники тока. Естественно, что чем больше номинальная электрическая емкость источника, тем надежнее и эффективнее аварийная система энергопитания. Однако для принятого типа источника тока с ростом емкости растут его масса, габариты и величина затрат. Поэтому выбор величины электрической емкости аварийного источника энергопитания должен производиться в результате компромисса между уровнем работоспособности и надежности системы и величиной затрат, габаритов и массы.

Оценка работоспособности электрогидравлического привода системы управления полетом с аварийным источником питания может быть произведе-

дена по математической модели, включающей в себя аварийный источник питания (блок аккумуляторных батарей, топливных элементов и т.п.), электродвигатель, насосную станцию и гидравлическую сеть потребления с исполнительным органом – гидроцилиндром или гидромотором.

В аварийной ситуации в процессе отработки электрогидравлическим приводом сигналов управления происходит разрядка аварийного электрохимического источника тока. Разрядка аварийного источника энергопитания приводит к тому, что напряжение на клеммах электродвигателя уменьшается и с течением времени возможна потеря работоспособности электрогидравлического привода и, следовательно, потеря управляемости полетом летательного аппарата.

Напряжение на клеммах электродвигателя в процессе разрядки аварийного источника питания рассчитывается следующим образом:

$$U_{эд} = E_0 - \int_0^t k_E I dt - (R_{вн} - R_{нр}) I, \quad (1)$$

где t – промежуток времени от начала разрядки; E_0 – начальная э.д.с. блока батарей аварийного источника; k_E – коэффициент разрядки; $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление блока батарей; $R_{нр}$ – сопротивление

подводящих проводов; I – потребляемый ток.

В общем случае блок батарей аварийного источника питания состоит из батарей, включенных параллельно и последовательно. Э.Д.С. такого блока:

$$E = n_{\text{посл}} E_1,$$

где $n_{\text{посл}}$ – количество последовательно включенных батарей; E_1 – э.д.с. одной батареи.

Интенсивность разрядки определяется величиной тока разрядки одной батареи, который зависит от величины потребляемого тока и количества параллельных ветвей аварийного источника:

$$I_{\text{разр}} = I / n_{\text{пар}}.$$

При фиксированном напряжении на клеммах электродвигателя величина потребляемого тока зависит от величины мощности на валу и может быть определена по рабочей характеристике двигателя:

$$I = I(P_2, U_{\text{эд}}), \quad (2)$$

где $P_2 = pQ / \eta_{\text{нс}}$ – мощность на валу электродвигателя; p, Q – давление и расход насосной станции; $\eta_{\text{нс}}$ – к.п.д. насосной станции.

Рабочие характеристики электродвигателя определяли экспериментально, варьируя нагрузки на валу при различных фиксированных напряжениях на клеммах электродвигателя. Причем, чтобы исключить к.п.д. насосной станции, потребляемый ток определялся в зависимости от pQ – полезной мощности насосной станции. В результате обработки экспериментальных данных получаем набор таблично заданных условных рабочих характеристик электродвигателя в виде массива:

$$I_{j,k} = f[(pQ)_j, (U_{\text{эд}})_k]. \quad (3)$$

Величина потребляемого тока при произвольных значениях $p, Q, U_{\text{эд}}$ определялась по (3) интерполяцией.

Давление насосной станции определяется нагрузкой на исполнительный орган привода и потерями в гидравлической сети, расход – заданной скоростью перемещения и размерами исполнительного

органа. При проектировании обычно задаются величиной расхода, который должна обеспечить насосная станция.

При работе электрогидравлического привода от аварийного источника питания из-за снижения напряжения на клеммах электродвигателя величина требуемого расхода может оказаться большей максимального расхода, обеспечиваемого приводом.

Давление и расход насосной станции определяются как точка пересечения характеристики гидравлической сети потребления, включающей исполнительный гидродвигатель, с расходной характеристикой насосной станции.

Характеристика сети описывается уравнением:

$$p = zQ^2 + \Delta p_{\text{гц}}, \quad (4)$$

где z – гидравлическое сопротивление сети; $\Delta p_{\text{гц}}$ – перепад давлений в гидродвигателе.

Расходные характеристики насосной станции при различных напряжениях на клеммах приводного электродвигателя получали также экспериментально. После обработки результатов испытаний расходные характеристики насосной станции при различных фиксированных напряжениях на клеммах электродвигателя представлялись в виде массива:

$$Q_{j,k} = f_1[p_j, (U_{\text{эд}})_k]. \quad (5)$$

Величина расхода при произвольных значениях $p, U_{\text{эд}}$ определялась по (5) интерполяцией.

Равенства (1), (3) – (5) образуют замкнутую систему уравнений относительно неизвестных напряжения на клеммах электродвигателя, потребляемого тока, давления и расхода насосной станции. Задавая законы изменения во времени перепада давлений на исполнительном органе привода и требуемого расхода насосной станции, из решения полученной системы уравнений получим изменение во времени $U_{\text{эд}}, I, p, Q$ в процессе работы электрогидравлического привода с аварийным источником энергии.

Решение на каждом временном шаге отыскивалось методом итераций:

– задавшись предварительно значениями давления, расхода и напряжения – p^s, Q^s, U^s , по рабочей характеристике электродвигателя (3) определяли потребляемый ток – I^s ;

– из уравнения (1) находим значение напряжения на итерации $(s+1)$ – U^{s+1} ;

– решая совместно уравнения (4), (5) отыскиваем величины давления и расхода насосной станции – p^{s+1}, Q^{s+1} ; для решения уравнений (4), (5) может быть использован, например, метод хорд;

– по рабочей характеристике электродвигателя (3) определяем потребляемый ток – I^{s+1} ;

– если разница значений I^{s+1} и I^s превышала заданную точность вычислений, расчет повторялся.

На рис. 1 приведены результаты расчета отработки насосной станцией с номинальной производительностью 30 л/мин заданного цикла изменения расхода в аварийных условиях – при отключении основного питания приводного электродвигателя. В качестве аварийного источника тока принят блок тепловых батарей [2]. Номинальная емкость аварийного источника, определяемая количеством парал-

лельно включенных батарей, в расчетах варьировалась. В приведенном на рис. 1 примере количество параллельно включенных батарей $n_{нар} = 7$.

При отработке заданного цикла требуемый расход, соответствующий номинальной производительности насосной станции, в аварийных условиях не обеспечивается. При принятом количестве батарей максимально обеспечиваемый расход изменяется от 29,1 л/мин в начальной фазе отработки цикла до 27,1 л/мин – в конечной фазе. Требуемые расходы, меньшие максимально достижимых при принятой номинальной емкости аварийного источника (в примере это расходы 2,0 и 15,0 л/мин), обеспечиваются без искажений.

Были проведены расчеты электрогидравлического привода с аварийным источником энергии различной номинальной емкости (различным количеством параллельно включенных тепловых батарей).

На рис. 2 приведена зависимость величин обеспечиваемого насосной станцией с аварийным источником максимально достижимого расхода, питания в начале и в конце отработки цикла, от количества тепловых батарей источника (т.е. от номинальной емкости).

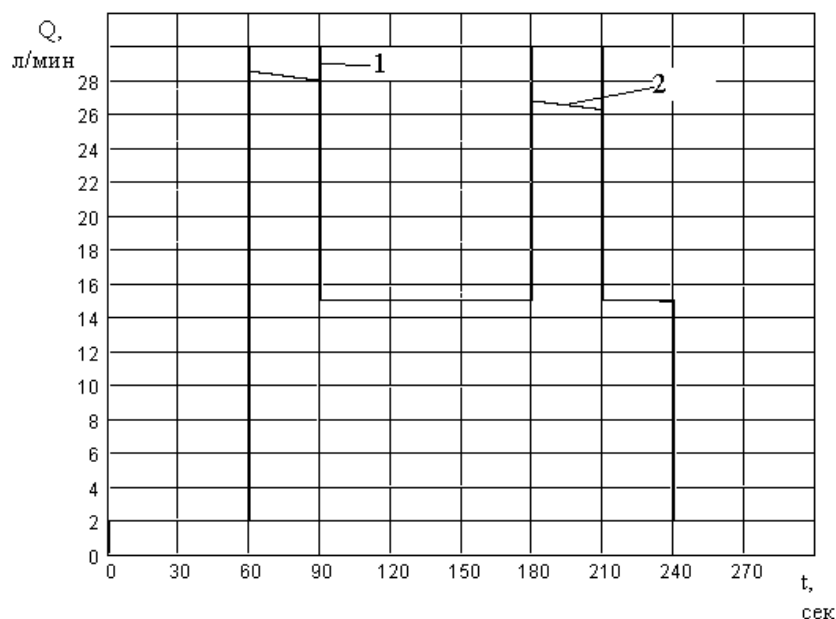


Рис. 1. Отработка заданного цикла изменения расхода насосной станцией с аварийным источником питания: 1 – заданный расход; 2 – обеспечиваемый расход

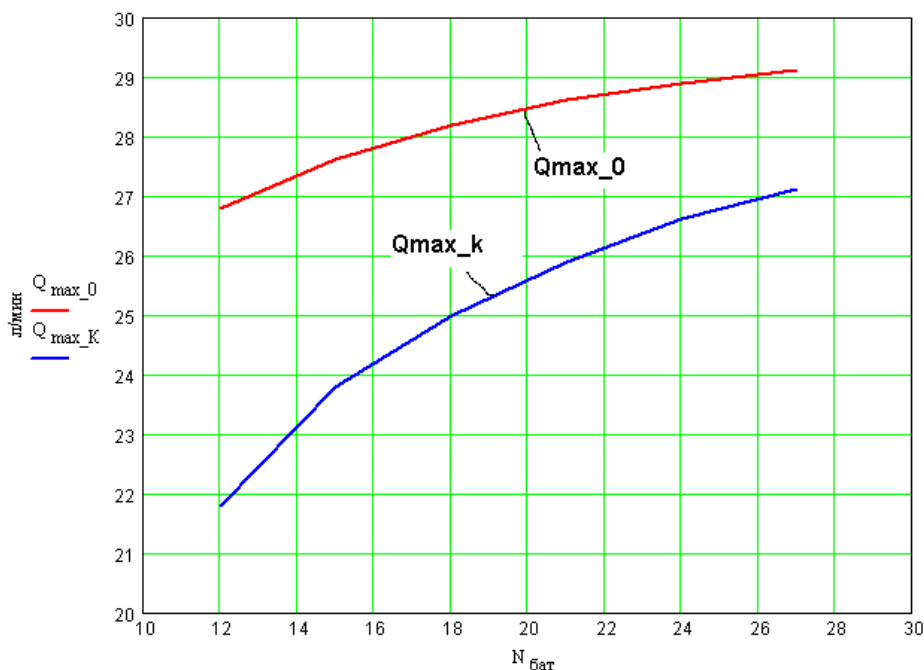


Рис. 2. Зависимость максимального расхода насосной станции от количества батарей аварийного источника питания.

$Q_{\text{max}_0}, Q_{\text{max}_K}$ – максимальный расход насосной станции с аварийным источником питания в начале и в конце отработки цикла соответственно

Естественно, что чем больше количество батарей аварийного источника, тем больше его габариты, масса и стоимость.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 2, позволяет произвести выбор количества батарей аварийного источника тока, обеспечивающего, во-первых, управляемость полетом летательного аппарата, во-вторых, приемлемые величины затрат, габаритов и массы источника.

Таким образом:

- сформулирована система уравнений, описывающих работу электрогидравлического привода с аварийным химическим источником тока;
- разработан алгоритм решения сформулированной системы уравнений, позволяющий рассчитать изменение во времени основных выходных па-

раметров электрогидравлического привода в аварийных условиях и произвести обоснованный выбор номинальной емкости аварийного источника тока.

Литература

1. Демидович. Основы вычислительной математики. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.
2. Lovering D.G. Molten Salt Technology – 1982. – 299 p.

Поступила в редакцию 29.04.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.