

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 таблиц 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:

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

где  $z$  – гидравлическое сопротивление сети;  $\Delta p_{\text{зч}}$  – 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).

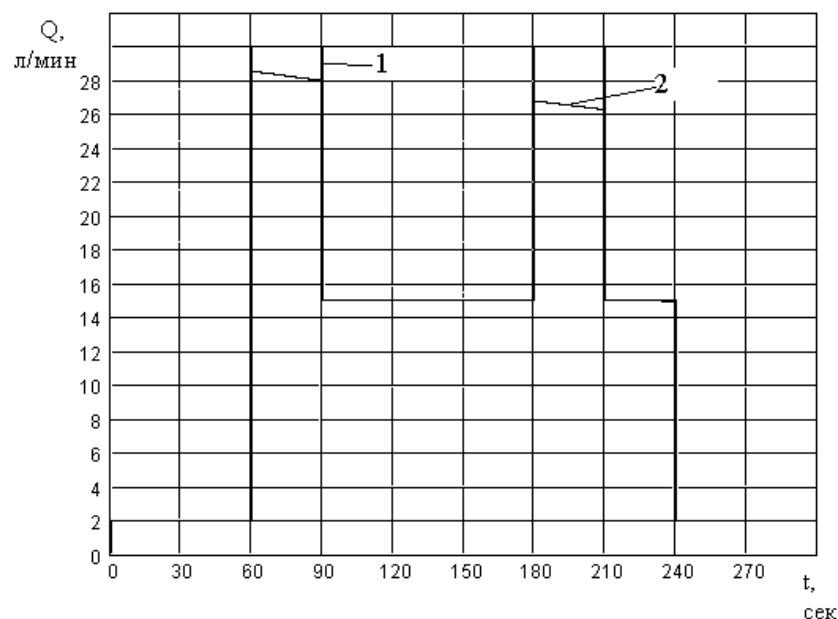


Рис. 1. Отработка заданного цикла изменения расхода насосной станцией с аварийным источником питания: 1 – заданный расход; 2 – обеспечиваемый расход

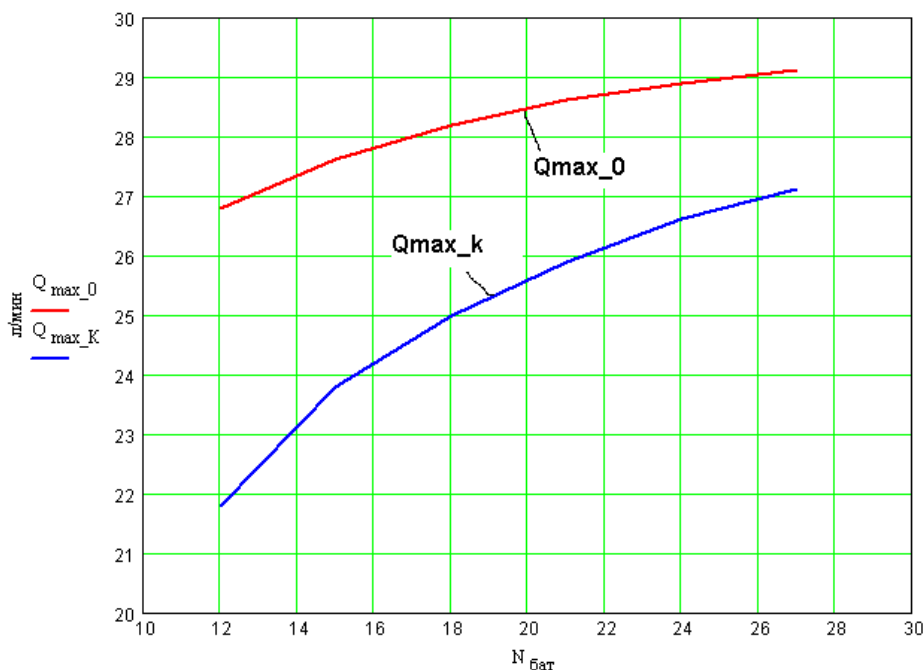


Рис. 2. Зависимость максимального расхода насосной станции от количества батарей аварийного источника питания.

$Q_{\text{max}_0}, Q_{\text{max}_K}$  – 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.