

К. Н. Земляной¹, В. С. Рева¹, В. П. Фролов¹, К. В. Безручко²

¹ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепро, Украина

² Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОВ И ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЕГО РАБОТЕ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РАКЕТНОГО СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА

Проанализированы системы автономного электроснабжения различных мобильных ракетных стартовых комплексов, выделены основные достоинства и недостатки. Проанализированы требования, предъявляемые к системе автономного электроснабжения, обозначена актуальность вопроса определения значений параметров накопителя электрической энергии и выбора химического источника тока с характеристиками, обеспечивающими выполнение подготовки пуска в различных режимах эксплуатации. Определены эксплуатационные ограничения, а также приведен и описан алгоритм определения значений параметров накопителя электрической энергии. Построена математическая модель автономного источника питания и химического источника тока, с помощью которой возможно осуществить выбор и тип накопителя электрической энергии.

Ключевые слова: система автономного электроснабжения, химический источник тока, эксплуатационные ограничения, циклограмма работы, математическая модель, алгоритм выбора параметров.

ВВЕДЕНИЕ

Все современные подвижные мобильные ракетные стартовые комплексы (МРСК), как эксплуатирующиеся, так и разрабатываемые, требуют высоконадёжного и бесперебойного электроснабжения технологического оборудования и систем, входящих в их состав.

Опыт создания и эксплуатации систем автономного электроснабжения (САЭ) подвижных комплексов указывает на необходимость принципиально нового подхода к организации электроснабже-

ния МРСК с учетом режимов их функционирования и эксплуатационных ограничений [2].

Из проведенного анализа различных МРСК определено, что системы автономного электроснабжения являются составной частью МРСК и предназначены для обеспечения аппаратуры и оборудования МРСК электроэнергией требуемого вида и качества на всех этапах эксплуатации, в том числе бесперебойным для отдельной группы потребителей.

При этом одним из важнейших элементов, влияющих на эффективность САЭ МРСК, являются накопители электрической энергии, выбор типов и параметров которых является ключевой задачей при проектировании САЭ МРСК.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМАМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

САЭ МРСК предназначены для электроснабжения технологического оборудования, участвующего в подготовке к пуску и пуске во всех режимах эксплуатации МРСК. САЭ МРСК, как правило, состоит из:

- автономного источника питания (АИП),
- резервных источников питания на основе химических источников тока (ХИТ),
- устройства токораспределительного (УТР),
- блока автоматического контроля и управления.

Структура САЭ МРСК представлена на рис. 1. В общем случае САЭ должна выполнять следующие задачи:

- генерирование и коммутацию первичного электропитания от АИП к электропотребителям по необходимому количеству фидеров,
- дистанционное управление подключением групп электропотребителей к источникам электропитания,
- контроль и выдачу информации о состоянии фидеров электропитания от САЭ МРСК в высшие звенья управления,
- блокировку работы САЭ при неисправностях ее составных частей и неправильной стыковке с электропотребителями,
- подключение к внешним источникам постоянного и переменного тока.

Учитывая универсальность схмотехнических и конструктивных принципов построения САЭ МРСК, её составные части могут быть применены для создания систем автономного электроснабжения объектов различного назначения на базе подвижного шасси.

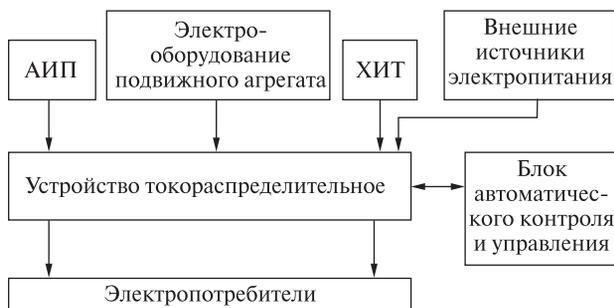


Рис. 1. Структура САЭ МРСК

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РАКЕТНЫХ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Системы автономного электроснабжения мобильных ракетных стартовых комплексов предназначены для электроснабжения технологического оборудования, участвующего в подготовке к пуску и пуске во всех режимах эксплуатации МРСК [3].

Каждый из режимов работы МРСК имеет ряд особенностей, накладывающих эксплуатационные ограничения на САЭ МРСК. Основными из них являются:

- продолжительность работы источников и накопителей электроэнергии,
- питания электропотребителей,
- диапазон напряжений и потребляемая мощность технологическим оборудованием (с учетом кратковременных пиковых значений),
- информативность САЭ МРСК (возможность осуществлять информационное взаимодействие со смежными системами),
- ограничения по габаритно-массовым характеристикам составных частей САЭ МРСК,
- показатели надежности САЭ МРСК,
- климатические условия эксплуатации САЭ МРСК и др.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основными электропотребителями получающими электроснабжение от САЭ СПУ, являются:

- наземная проверочно-пусковая аппаратура системы управления (НППА СУ), в том числе бортовая аппаратура системы управления (БАСУ) до перехода на бортовое питание,
- автоматизированная система контроля и управления (АСКУ),
- электропотребители транспортного модуля (ТМ), в том числе система управления технологическим оборудованием,
- аппаратура системы измерений (СИ) и наземной системы пристартовых измерений на этапе летно-конструкторских испытаний (ЛКИ).

Режимы работы потребителей МРСК характеризуются циклограммами работы.

Одним из наиболее ответственных участков этих циклограмм является время осуществления

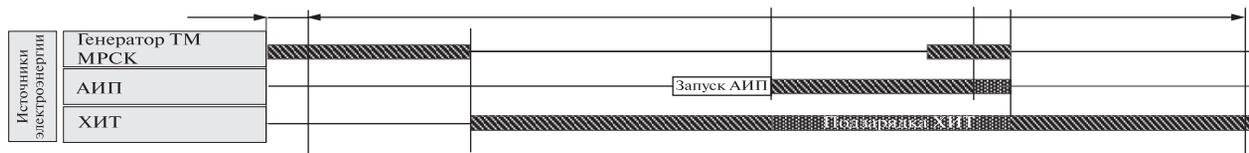


Рис. 2. Пример циклограммы работы САЭ МРСК в режиме перехода в основной режим работ

высокоточных операций, не допускающих возникновения шумов и вибраций, т. е. работа АИП из состава САЭ МРСК в этот период не приемлема. Электроснабжение электропотребителей на этом участке времени осуществляется от ХИТ [6].

Пример одной из циклограмм работы САЭ МРСК приведен на рис. 2, где электроснабжение потребителей производится от генератора ТМ СПУ, ХИТ и автономного источника питания (АИП).

Исходя из режимов работы МРСК, циклограммы работы и структуры САЭ возможно построение графиков электропотребления. На рис. 3 приведен пример графика электропотребления от САЭ МРСК в одном из режимов работы.

Проанализировав режимы эксплуатации ХИТ в составе САЭ СПУ, можно классифицировать их основные режимы работы: буферный, циклический, дежурный, стартерный режим основного источника и режим хранения [1, 6].

Исходя из режимов работы ХИТ в составе САЭ СПУ определяется условия работы ХИТ под нагрузкой (рис. 4).

Вследствие большого разнообразия режимов работы ХИТ возникает задача определения значений типов и параметров ХИТ с характеристиками, обеспечивающими выполнение задачи подготовки пуска в различных режимах эксплуатации, в том числе обеспечивающих их длительный разряд с последующим кратковременным зарядом.

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Задача выбора электрохимических накопителей с необходимыми параметрами может быть решена с использованием алгоритма, представленного на рис. 5.

1. На этапе проектирования проводятся работы по проведению облика САЭ МРСК, анализ существующих САЭ МРСК. Также проводится сравнение и анализ структурных схем СПУ различных типов.

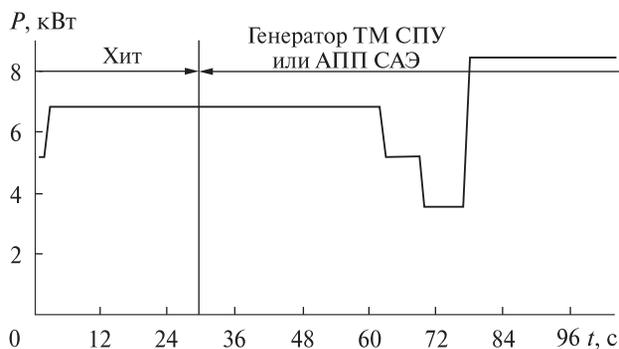


Рис. 3. Пример изменения мощности P электропотребления от САЭ МРСК

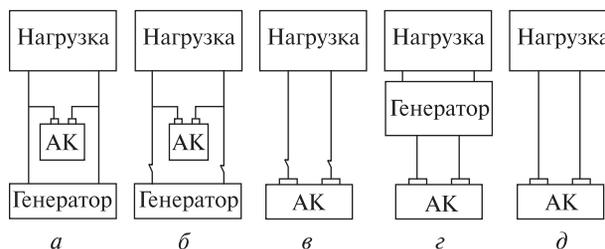


Рис. 4. Варианты подключения ХИТ при различных режимах эксплуатации: а — буферный режим, б — циклический режим, в — дежурный режим, г — стартерный режим, д — режим основного источника

2. Следующим этапом является определение перечня потребителей, запрашиваемых от САЭ МРСК, критерии нагрузок. Значение потребляемой мощности, тока, частоты, количество потребителей и фидеров питания.

3. Далее следует описание режимов работы САЭ МРСК. Основная работа (штатная), дежурный режим, а также электротехнические режимы к которым относятся: буферный режим, циклический режим, стартерный, дежурный режимы и т. д.

4. Далее определяем эксплуатационные ограничения для построения САЭ МРСК.

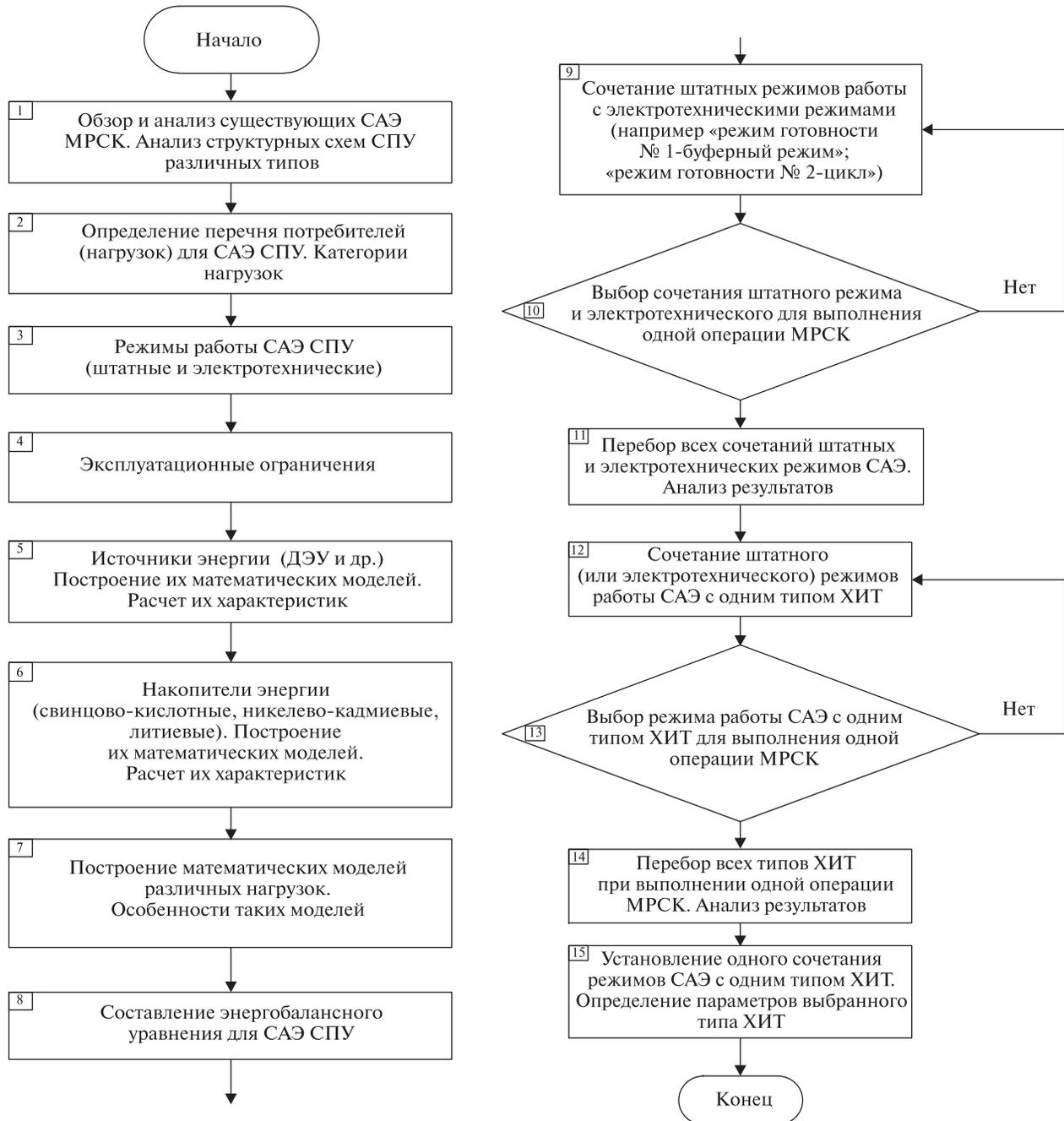


Рис. 5. Алгоритм метода определения значений параметров накопителя электрической энергии

5—7. После этого следует построение математических моделей и расчет характеристик:

- источников электроэнергии (АИП, генератора ТМ др.),
- накопителей энергии на основе ХИТ (свинцово-кислотные, никель-кадмиевые, литиевые),

- потребителей электроэнергии.
8. Составление уравнения энергобаланса «между источниками электроэнергии накопителями и потребителями САЭ МРСК.

9—11. Далее необходимо провести сочетание штатных режимов работы с электротехническими

режимами (например «режим готовности № 1 — буферный режим»; «режим готовности № 2 — циклический», «переход из одной готовности в другую — дежурный»).

Проводится анализ результатов. Если выбор сочетания штатного режима и электротехнического достаточен для выполнения одной операции МРСК, то проводится перебор всех сочетаний штатных и электротехнических режимов САЭ. При недостаточном выборе для выполнения одной операции, перебираются другие сочетания штатных режимов работы с электротехническими режимами.

12, 13. Необходимо провести сочетание штатного (или электротехнического) режимов работы САЭ МРСК с одним типом ХИТ. Выбор режима работы САЭ МРСК с одним типом ХИТ для выполнения одной операции МРСК.

14, 15. При переборе всех типов ХИТ при выполнении одной операции МРСК и анализе результатов получаем установление одного сочетания режимов САЭ МРСК с одним типом ХИТ. Тип ХИТ устанавливается при сравнении результатов расчётов характеристик ХИТ на математических моделях и результатов анализа ХИТ.

Реализация приведенного на рис. 5 алгоритма приведена ниже.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Баланс энергии САЭ МРСК можно представить в виде работы нагрузки, равной сумме работ АИП, ТМ и ХИТ [4]:

$$A_{\text{нагр}} = A_{\text{АИП}} + A_{\text{ТМ}} + A_{\text{ХИТ}},$$

где $A_{\text{нагр}}$ — работа электрической нагрузки, $A_{\text{АИП}}$ — работа генератора АИП, $A_{\text{ТМ}}$ — работа генераторов ТМ, $A_{\text{ХИТ}}$ — работа ХИТ.

Работу, потребляемую нагрузкой на i -м режиме работы САЭ МРСК, можно представить в развернутом виде:

$$P_{i,\text{нагр}} \cdot \tau_{i,\text{нагр}} = k_i \cdot (P_{\text{АИП}} \tau \cdot k_{i,\text{АИП}} + P_{\text{ТМ}} \tau \cdot k_{i,\text{ТМ}} + P_{\text{ТМ}} \tau \cdot k_{i,\text{ТМ}} + P_{\text{ХИТ}} \tau \cdot k_{i,\text{ХИТ}} k_{3-p})$$

где $P_{i,\text{нагр}}$ — мощность потребляемая нагрузкой на выбранном i -м режиме работы САЭ МРСК, $\tau_{i,\text{нагр}}$ — время потребления мощности нагрузки на выбранном i -м режиме работы САЭ МРСК, k_i — коэффициент нагрузки (доля нагрузки, определяемая режимом работы циклограммы, в зави-

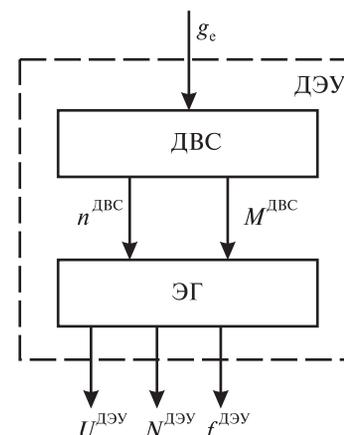


Рис. 6. Структурная схема дизельной энергоустановки

симости от максимальной нагрузки САЭ МРСК) на выбранном i -м режиме работы САЭ МРСК.

Из уравнения баланса работ на i -м режиме работы САЭ МРСК находим интересующие нас искомые величины, характеризующие ХИТ, — это емкость и электрохимическая система:

$$P_{\text{ХИТ}} \cdot \tau \cdot k_{i,\text{ХИТ}} \cdot k_{3-p} = \frac{k_i P_{\text{АИП}} \tau \cdot k_{i,\text{АИП}} + k_i P_{\text{ТМ}} \tau \cdot k_{i,\text{ТМ}} + k_{3-p} P_{i,\text{нагр}} \tau_{i,\text{нагр}}}{k_i},$$

$P_{\text{ХИТ}} \cdot \tau$ — определяет (при U_{const}) емкость ХИТ, $k_{i,\text{ХИТ}}$ — определяет электрохимическую систему ХИТ.

При исследовании систем автономного электроснабжения возникает необходимость привлечения не одной модели, а их комплекса, и проведения с использованием этих моделей многокритериального анализа и синтеза [4].

Структура математической модели АИП имеет следующий вид [4]:



где N_e — мощность дизельного двигателя АИП, M_e — крутящий момент дизельного двигателя АИП, n — обороты дизельного двигателя АИП, $P_{\text{АИП}}$ — мощность генератора АИП, $U_{\text{АИП}}$ — напряжение генератора АИП, $\tau_{\text{АИП}}$ — время работы генератора АИП.

Структурная схема дизельной энергоустановки представлена на рис. 6.

Математическая модель АИП в итоге принимает вид [4, 5]:

- математическая модель двигателя внутреннего сгорания:

внешняя характеристика

$$N_e = N_e^{\max} \left(A \frac{n}{n_e} + B \frac{n^2}{n_e^2} + C_1 \frac{n^3}{n_e^3} \right),$$

расход топлива

$$g_e = g_e^{\max} \left(A_1 - B_1 \frac{n}{n_e} + C_1 \frac{n^2}{n_e^2} \right),$$

крутящий момент

$$M_{кр} = 9950 \frac{N_e}{n},$$

часовой расход топлива

$$G_T = g_e N_e;$$

- математическая модель синхронного электрогенератора:

полное сопротивление

$$Z_H = R_H - jX_u Z_H \cdot \exp(\arctg(X_H / R_H)) = Z \cdot \exp j\varphi_H,$$

падение напряжения

$$\Delta U_H = \frac{U_o - U_H}{U_H} \cdot 100 = \frac{E_o - E_H}{E_H} \cdot 100,$$

частота

$$f = \frac{p \cdot \Omega_Z}{2\pi},$$

мощность

$$N = U^2 / Z_H.$$

Обобщенная структура математических моделей электрохимических аккумуляторов имеет вид

$$\begin{cases} \vec{F} = \vec{F}(\alpha, \beta, \bar{\tau}), \\ \vec{\beta} = \vec{\beta}(\bar{\tau}), \\ \alpha \in [\alpha_{\min}, \alpha_{\max}], \\ \bar{\tau} \in [\bar{\tau}_{\min}, \bar{\tau}_{\max}], \end{cases}$$

где $\bar{\alpha}$ — вектор параметров, характеризующих режимы работы аккумуляторов, $\bar{\alpha}$ — вектор параметров, которые характеризуют особенности конкретных аккумуляторов, а вектор \vec{F} содержит характеристики аккумуляторов, которые изменяются с изменением входных параметров.

Исходя из этого, структура обобщенной математической модели примет вид [5]:

- а) для описания емкостных характеристик:

$$\begin{cases} q = f(\bar{I}_{\text{возд}}, \bar{U}_{\text{откл}}, U_{\text{НРЦ}}, \vec{\beta}), \\ Q_{\text{полн}}^{\text{диагн}} = f(q, \vec{\beta}), \\ Q_{\text{полн}}^{\text{буф.реж}} = f(q, n, T, \gamma, \vec{\beta}), \\ Q_{\text{ост}}^{\text{диагн}} = f(U_p, U_{\text{тр}}, I_p, \tau_p, \vec{\beta}), \\ Q_{\text{ост}}^{\text{деж.реж}} = f(\tau_{\text{рес}}, T, Q_{\text{полн}}, \vec{\beta}); \end{cases}$$

- б) для описания внутреннего сопротивления:

$$\{r = f(\bar{I}_{\text{возд}}, \bar{U}_{\text{откл}})\};$$

- в) для описания напряжений:

$$\begin{cases} U_{\text{НРЦ}} = f(\tau_{\text{рес}}, T, \vec{\beta}), \\ U_3 = f(U_{\text{НРЦ}}, r, I_3, \tau, T, Q_{\text{полн}}, \vec{\beta}), \\ U_p = f(U_{\text{НРЦ}}, r, I_p, \tau, T, Q_{\text{полн}}, Q_{\text{ост}}, \vec{\beta}); \end{cases}$$

- г) для описания ограничений на функции:

$$\begin{cases} q \in [0, 1], \\ Q_{\text{полн}} \in [Q_{\text{рес}}, Q_0], \\ Q_{\text{ост}} \in [0, Q_{\text{полн}}], \\ r \in [r_{\min}, r_{\max}]; \end{cases} \begin{cases} U_{\text{НРЦ}} \in [U_{\text{рес}}, U_0], \\ U_3 \in [U_{\text{НРЦ}}, U_{\text{дпн}}], \\ U_p \in [U_{\text{дмн}}, U_{\text{НРЦ}}]; \end{cases}$$

- д) для описания ограничений на параметры:

$$\begin{cases} \bar{\alpha} = \{T, \gamma, I_3, I_p\}, \bar{\beta} = \{k_1, \dots, k_{20}\}, \\ \bar{\tau} = \{I_1, \dots, I_{13}, U_{\text{НРЦ}}, \tau, n\}. \end{cases}$$

Структура математической модели ХИТ, представленная на рис. 7, выглядит следующим образом:



где $P_{\text{зар}}$ — мощность заряда ХИТ, $P_{\text{раз}}$ — мощность разряда ХИТ, $U_{\text{зар}}$ — напряжение заряда ХИТ, $U_{\text{раз}}$ — напряжение разряда ХИТ, $\tau_{\text{зар}}$ — время заряда ХИТ, $\tau_{\text{раз}}$ — время разряда ХИТ.

Блок 1 описывает зависимости параметров состояния электрохимического аккумулятора от формы вольтамперной характеристики, которая в виде таблиц напряжений и токов является входными параметрами блока 1 математической модели.

Полученные с помощью блока 1 параметры состояния электрохимического аккумулятора являются выходными параметрами математической модели электрохимического аккумулятора и используются в качестве специфических параметров блока 2.

Блок 2 описывает разрядную характеристику электрохимического аккумулятора с учетом его состояния.

Заряженность аккумулятора определяется по величине напряжения разомкнутой цепи с помощью выражения

$$q = k_1 \cdot U_0 - k_2 \cdot e^{k_3 \cdot U_0} + k_4,$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 — эмпирические коэффициенты,

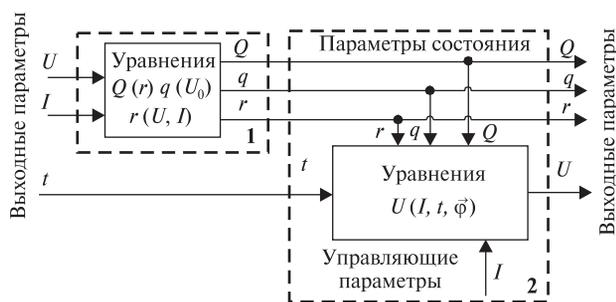


Рис. 7. Структура математической модели электрохимического аккумулятора

U_0 — ЭДС электрохимического аккумулятора, В.
 Зависимость разрядной емкости аккумулятора от его внутреннего сопротивления имеет вид

$$Q = k_5 \cdot r^{k_6} + k_7 \cdot r + k_8,$$

где k_5, k_6, k_7, k_8 — эмпирические коэффициенты, r — постоянная составляющая активного внутреннего сопротивления электрохимического аккумулятора, Ом.

Таким образом, емкость полностью заряженного аккумулятора связана с зарядностью и разрядной емкостью выражением

$$Q_0 = \frac{Q}{q},$$

где Q — разрядная емкость, А · ч; q — зарядность аккумулятора,

$$\begin{cases} q = k_1 \cdot U_0 - k_2 \cdot e^{k_3 \cdot U_0} + k_4, \\ U_{0\text{vin}} \leq U_0 \leq U_{0\text{max}}; \\ Q(r) = k_5 \cdot r^{k_6} + k_7 \cdot r + k_8, \\ r_{\text{vin}} \leq r \leq r_{\text{max}}; \\ Q_0 = \frac{Q(r)}{g(U_0)}, \end{cases}$$

где $k_1 \dots k_8$ — эмпирические коэффициенты.

Разрядную характеристику электрохимического аккумулятора в области токов более 0.1С хорошо описывает модифицированное уравнение Шеффера [5]:

$$U(I, t) = U_0 - r \cdot I - k_9 \cdot \left(\frac{r \cdot t}{k_{10} \cdot Q_0 - I \cdot t} \right) \cdot I + k_{11} \left[\exp \left(-k_{12} \cdot \frac{I \cdot t}{k_{10} \cdot Q_0} \right) - 1 \right],$$

где $k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}$ — эмпирические коэффициенты.

В конечном счете математическую модель электрохимического аккумулятора можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} q = k_1 \cdot U_0 - k_2 \cdot \exp(k_3 \cdot U_0) + k_4, \\ U_{0\text{vin}} \leq U_0 \leq U_{0\text{max}}; \\ Q(r) = k_5 \cdot r^{k_6} + k_7 \cdot r + k_8, \\ r_{\text{vin}} \leq r \leq r_{\text{max}}; \\ Q_0 = \frac{Q(r)}{g(U_0)}, \\ U(I, t) = U_0 - r \cdot I - k_9 \cdot \left(\frac{r \cdot t}{k_{10} \cdot Q_0 - I \cdot t} \right) \cdot I + \\ + k_{11} \left[\exp \left(-k_{12} \cdot \frac{I \cdot t}{k_{10} \cdot Q_0} \right) - 1 \right]. \end{cases}$$

Данная суммарная математическая модель в дальнейшем может применяться не только для выбора конкретного ХИТ заданного комплекса, но и для создания нового САЭ любого комплекса.

ВЫВОДЫ

Впервые предложен алгоритм выбора электрохимического накопителя энергии и определения его параметров для работы в составе системы автономного электроснабжения мобильного ракетного стартового комплекса с учетом эксплуатационных ограничений.

Получили дальнейшее развитие возможности математических моделей САЭ (в комплексе: дизельэлектроагрегатов и батарей химических источников тока), что позволило рассчитывать параметры и характеристики системы автономного электроснабжения МРСК.

Описанный подход к определению значений параметров накопителей электроэнергии позволяет создавать эффективные структуры САЭ МРСК, удовлетворяющие накладываемым эксплуатационным ограничениям, что обеспечивает повышение надёжности систем МРСК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багоцкий В. С., Скундин А. М. Химические источники тока. — М.: Энергоиздат, 1981. — 360 с.
2. Бирюков Г. П., Кукушкин Ю. Ф., Торпачев А. В. Основы обеспечения надежности и безопасности стартовых комплексов. — М.: Изд-во МАИ, 2002. — 264 с.

3. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. — М.: Физматлит, 2006. — 816 с.
4. Обухов С. Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения: учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2014. — 84 с.
5. Самарский А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. — М.: Наука. Физматлит, 1997. — 320 с.
6. Смотров Е. А., Акишинцев Д. И., Субботин В. В., Сусленко А. Ю. Системы балансировки аккумуляторных батарей // Электротехнические и компьютерные системы. — 2013. — № 11 (87). — С. 38—48.

Стаття надійшла до редакції 28.08.17

REFERENCES

1. Bagotsky V. S., Skundin A.M. Chemical current sources, 360 p. (Energoizdat, Moscow, 1981) [in Russian].
2. Biryukov G. P., Kukushkin Yu. F., Torpachev A.V. Introduction to reliability assurance and safety of launch complexes, 264 p. (MAI Press, Moscow, 2002) [in Russian].
3. Kobzar A. I. Applied mathematical statistics, 816 p. (Fizmatlit, Moscow, 2006). [in Russian]
4. Obukhov S. G. Mathematical simulation in power supply systems: tutorial, 84 p. (Tomsk Polytechnic University Press, Tomsk, 2014) [in Russian].
5. Samarsky A. A. Mathematical simulation. Ideas. Methods. Examples, 320 p. (Nauka. Fizmatlit, Moscow, 1997) [in Russian].
6. Smotrov E. A., Akshintsev D. I., Subbotin V.V., Suslenko A. Yu. Storage battery balancing systems. *Electrical and computer systems*, N 11 (87), 38—48 (2013) [in Russian].

Received 28.08.17

К. М. Земляной¹, В. С. Рева¹,
В. П. Фролов¹, К. В. Безручко²

¹Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

²Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ І ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ НАКОПИЧУВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС ЙОГО РОБОТИ У СКЛАДІ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МОБІЛЬНОГО РАКЕТНОГО СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСУ

Проаналізовано системи автономного електропостачання різних мобільних ракетних стартових комплексів, виді-

лені основні переваги і недоліки. Проаналізовано вимоги до системи автономного електропостачання, окреслено актуальність питання визначення значень параметрів накопичувача електричної енергії і вибору хімічного джерела струму з характеристиками, що забезпечують виконання підготовки пуску в різних режимах експлуатації. Визначено експлуатаційні обмеження, а також наведено й описано алгоритм визначення значень параметрів накопичувача електричної енергії. Побудовано математичну модель автономного джерела живлення й хімічного джерела струму, за допомогою якої можливо обирати накопичувач електричної енергії і його тип.

Ключові слова: система автономного електропостачання, хімічне джерело струму, експлуатаційні обмеження, циклограма роботи, математична модель, алгоритм вибору параметрів.

К. М. Земляной¹, В. С. Рева¹,
В. П. Фролов¹, К. В. Безручко²

¹Yangel Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine

²National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

METHOD OF DETERMINATION OF TYPES AND PARAMETERS OF THE ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEM DURING ITS OPERATION IN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM OF MOBILE SPACE LAUNCH COMPLEX

We have analyzed the autonomous power supply systems (APSS) of different mobile space launch complexes (MSLC) and defined their main merits and demerits. We show, when analyzing the APSS's requirements, that the definition of the parameter values of electric energy storage system should be emphasized along with selection of chemical current source (CCS) with characteristics that enable the prelaunch processing in different operation modes. We defined the operating constraints as well as the algorithm of determination of parameter values of the electric energy storage system. We describe a mathematical model of autonomous power source and chemical current source, which allows selecting the electric energy storage system and its type.

Keywords: autonomous power supply system, chemical current source, operating constraints, operation sequence diagram, mathematical model, parameter selection algorithm.