

обеспечить лучший контакт и связь волокон в бумажном листе. Размол проводили в мельнице ЦРА.

Во время размола растительных волокон в водной среде происходит механический процесс укорочения волокон и их продольного расщепления на фибриллы и коллоидно-химический процесс, называемый гидратацией волокон, который начинается с их набухания и придает волокнам способность связываться между собой в прочный лист. Качество размолотой бумажной массы определяется степенью помола и средней длиной волокна.

Из размолотой целлюлозы до 30°ШР были изготовлены образцы для испытания на механические

показатели. Разрывная длина представляет собой расчетную длину полоски бумаги, при которой она разрывается от собственной тяжести у линии отвеса. Показатели разрывного усилия определяли на аппарате РМБ-10 в кгс и выполнили пересчет в метры.

Далее отливки были испытаны на сопротивление раздиранию, которое определяется на приборе Р-1 (прибор Эльмендорфа). Сопротивление бумаги раздиранию - это величина усилия, необходимого для раздирания предварительно надрезанного образца бумаги, выраженная в ньютонах.

**Таблица 2.** Физико-механические показатели целлюлозы, полученной из борщевика Сосновского.

| № пробы | Расход NaOH от а.с.в., % | Жесткость в °Бе | Разрывная длина, м | Сопротивление раздиранию, Н |
|---------|--------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|
| 1       | 16%                      | >50             | 2855               | 0,362                       |
| 2       | 16%                      | >50             | 2531,5             | 0,333                       |
| 3       | 16%                      | 80,9            | 2514               | 0,313                       |
| 4       | 24%                      | 25              | 3089,57            | 0,294                       |
| 5       | 24%                      | 58              | 3381,03            | 0,333                       |
| 6       | 24%                      | 68,9            | 2381,67            | 0,313                       |
| 7       | 30%                      | 27              | 2887,2             | 0,274                       |
| 8       | 30%                      | 67              | 4391               | 0,235                       |
| 9       | 30%                      | 63              | 3363,75            | 0,333                       |

Вывод:

- мы получили новый волокнистый полуфабрикат из однолетнего растительного сырья – борщевика Сосновского;  
- сравнивая полученные данные химического состава борщевика Сосновского с другими однолетними растениями и древесиной различных пород, и мы определили, что он близок по его содержанию к тростнику[4].

- с целью достижения более высоких механических показателей полуфабриката, необходимо продолжить исследования по отработке режимов и способов варки целлюлозы;

- изучить взаимодействие его с отбеливающими химикатами;

- полученную целлюлозу предлагаем применять, согласно литературным данным [5], для производства внутренних слоев упаковочных видов картона, частично заменив древесное сырье на борщевик Сосновского.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козмол Ф. Производство бумаги в теории и на практике. - М.: Лесная промышленность, 1962.
2. Лендзел П., Морвай Ш. Химия и технология целлюлозного производства. - М.: Лесная промышленность, 1978.
3. Овдейчук В.П. Лабораторный практикум по технологическому контролю. - М.: Лесная промышленность, 1964.
4. Сергеева А.С. Технологический контроль целлюлозно-бумажного производства. -М.: Лесная промышленность, 1969.

5. Хойер Д. Производство картона. - М.: Лесная промышленность, 1977.

6. Шитов Ф.А. Технология бумаги и картона. - М.: Лесная промышленность, 1978.

Работа представлена на IV научную конференцию с международным участием «Современные наукоемкие технологии», 21-28 февраля 2006г. Хургада (Египет). Поступила в редакцию 11.01.2006г.

#### О ВОЗМОЖНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ КАК БОЛЬШОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Удалой В.А., Соколов Н.Л.

*Центр управления полетами Федерального унитарного государственного предприятия, «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»*

#### 1. ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития космической техники важную роль для исследования различных научных и социально-экономических проблем играют космические аппараты дистанционного зондирования Земли. Опыт использования таких КА («Океан-О», "Метеор-3М", «Фотон-М» и др.) по целевому применению показал высокую эффективность решения задач в областях природопользования, материаловедения, биологии, экологического мониторинга и в других областях. При этом одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность получения целевой информации с КА, является создание рентабельного

Центра управления полетами (ЦУП) КА, обеспечивающего высокую надежность и оперативность управления КА научного и социально - экономического назначения (НСЭН).

ЦУП ЦНИИмаш (г. Королев, Московской области) по общей направленности своей деятельности резко отличается от аналогичных организаций, как в России, так и за рубежом. Отличие, в первую очередь, заключается в многообразии решения задач как по управлению полетами, так и по методическим разработкам. Аппаратно-программные ресурсы и научно-технический потенциал ЦУП позволяют осуществлять управление до 15 КА, одновременно находящихся на орбите. В связи с этим возникает необходимость решения проблемы рационального распределения средств ЦУП и оптимизации структуры и процессов взаимодействия отдельных подсистем. Это позволит добиться не только более эффективного решения всего комплекса задач, но и уменьшить финансовые затраты на управление новыми перспективными КА.

При этом, очевидно, что как и большинство объектов высокого уровня сложности, ЦУП имеет разветвленную иерархическую структуру и может быть отнесен к классу Больших систем управления (БСУ). В настоящей работе представлены результаты математической формализации процессов функционирования ЦУП как БСУ. Такая формализация дает возможность на основе анализа альтернативных вариантов структуры выявить организационные и технические ресурсы и выработать требования к оптимальной структуре ЦУП.

## 2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БСУ

К настоящему времени в области исследования БСУ накоплен значительный опыт. Этому вопросу посвящены монографии М. Месаровича, Д. Мако, И. Такахары [1], А.Д. Цвиркуна [2], Н.Н. Моисеева [3] и др. Вопросы структуры общей оптимизации иерархических систем исследованы в работе А.И. Эрлиха, В.Л. Вена [4]. В работе [5] рассмотрены современные методы оптимизации характеристик систем и управления ими. Книга сориентирована на задачи высокой размерности с формированием иерархических структур, позволяющих находить оптимальное решение при существенном снижении вычислительных затрат. Для конкретных БСУ в ряде работ рассмотрены задачи оптимизации структуры и предложены различные методы решения. Например, в работах Р. Куликовско-го [6], [7] для иерархических систем распределения ресурсов ищется решение поставленной задачи оптимизации структуры для некоторого класса целевой функции. В работе С. Губернича [8] для решения задачи оптимизации иерархии, представленной в виде задачи дискретного программирования со специальной функцией цели, предложен метод ветвей и границ. В работе О.И. Бронштейна и А.Д. Цвиркуна [9] дана математическая модель описания многоуровневой системы массового обслуживания и при определенных условиях поставлена задача оптимизации этой системы как задача безусловной минимизации. В работах Б.А. Власюка, И.С. Моросанова [10] и И.М. Чунченпака [11] приведены простые, но содержатель-

ные примеры иерархических систем с нетривиальной оптимальной структурой. В статье [12] на основе методов теории марковских процессов предложен способ исследования возмущенных траекторий движения КА в атмосфере. Движение аппарата интерпретируются как изменение вероятностей его пребывания в некоторых фиксированных положениях фазового пространства.

В настоящей работе анализируется проблема математической формализации ЦУП как БСУ с использованием наиболее распространенного подхода к исследованию иерархических систем – связанного с применением методов теории массового обслуживания.

## 3. ВЫДЕЛЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ЦУП КАК БСУ

Известны два основных подхода к синтезу иерархических БСУ. При первом – структура иерархической системы считается заданной. На ее основе производится оптимизация распределения функций, выполняемых отдельными узлами; а также согласование целей и оптимизация взаимодействия узлов различных уровней. При втором – структура определяется в результате синтеза основных или одной ведущей функции, например, функции планирования или оперативного управления.

Представляется перспективным итерационное исследование структуры БСУ. При этом используется комбинация из двух подходов. На первом этапе структура иерархической системы считается заданной и проводится оптимизация распределения выполняемых функций по отдельным элементам системы, а также согласование целей и оптимизация взаимодействия подсистем различных уровней иерархии. На втором этапе проводится предварительный анализ альтернативных вариантов структурного построения системы. При этом, в результате синтеза ведущих функций управления определяется оптимальная структура БСУ.

При построении моделей функционирования ЦУП КА реализуются общие закономерности структурного построения иерархических систем управления:

- последовательное вертикальное расположение подсистем, составляющих соответствующую соподчиненность;
- приоритет действий или право «вмешательства» подсистемы верхнего уровня в действия подсистем нижнего уровня;
- зависимость действий подсистемы верхнего уровня от фактического исполнения своих функций подсистемами нижнего уровня;
- значительно большая степень неопределенности в описании задач управления на верхних уровнях иерархии.

Анализ процессов функционирования элементов ЦУП как БСУ в процессе управления автоматическими КА позволяет выявить основные иерархические уровни:

- верхний уровень (уровень координации) – реализует координацию всех действий по управлению КА с целью наиболее эффективного выполнения программы полета КА;

- второй уровень (уровень самоорганизации) – реализует выбор критериев и алгоритмов, используемых на нижних уровнях иерархии с целью обеспечения решения главных задач управления;

- третий уровень (уровень адаптации) – осуществляет конкретизацию множеств неопределенностей для подсистем верхних уровней путем анализа текущей ситуации и выработки требований к алгоритмам решения задач подсистемами нижнего уровня;

- четвертый уровень (уровень выбора) – осуществляет решения частных задач в соответствии с исходными данными и алгоритмическими предписаниями от подсистем высшего уровня.

#### 4. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ БСУ

Изложим общий методологический подход к определению оптимальной структуры и состава иерархических систем. Введем обозначения:

$C_1$  – подсистема верхнего уровня;

$C_{2i}$  ( $i=1,2,\dots,n$ ),  $C_{3j}$  ( $j=1,2,\dots,m$ ),  $C_{4k}$  ( $k=1,2,\dots,l$ ) – совокупность подсистем второго, третьего и четвертого иерархических уровней, соответственно;

$P$  – управляющий процесс;

$m$  – множество управляющих сигналов;

$\omega$  – множество внешних возмущений;

$r$  – множество информационных сигналов, выдаваемых подсистемами БСУ;

$s$  – множество координирующих сигналов;

$y$  – множество выходных сигналов;

$k$  – множество информационных сигналов, выдаваемых подсистемой верхнего уровня.

Представим модель функционирования БСУ в терминах теории множеств.

Управляемый процесс задается отображением:  $P: M \times W \rightarrow Y$ .

Модель координатора представляется в виде:  $C_1: K \rightarrow S$ .

Модель функционирования  $s$ -ой подсистемы ( $s=2,3,4$ ) реализуется в виде отображения:  $C_s: S \times R_s \rightarrow M_s$ .

Соответственно информационные обратные связи всех уровней иерархии реализуются отображениями:  $f_1: S \times R \times M \rightarrow K$ ;  $f_s: M_s \times W \times Y \rightarrow R_s$ .

Глобальная задача оптимизации отражает основную цель управления и формируется в следующей постановке: требуется определить такое множество управляющих сигналов  $m$ , при которых глобальная целевая функция  $g(m) = G[m, P(m)]$  достигает своего максимума.

При рассмотрении локальных оптимизационных задач предполагается, что управляющий процесс представлен в виде композиции подпроцессов  $P_s$  ( $s=1,2,3,4$ ), взаимодействующих между собой. Причем, взаимодействие каждого подпроцесса  $P_s$  с другими реализуется через множество связей  $u_s$ . Пусть  $D_s$  – локальная оптимизационная задача, решаемая  $s$ -ым управляющим органом нижнего уровня, а локальная оптимизационная функция качества решения данной задачи выглядит следующим образом:

$g_s(m_s, u_s) = G[m_s, P_s(u_s, m_s)]$ , где  $M_s \times U_s$  – множество значений целевой функции.

Имеются два способа воздействия на локальные задачи оптимизации со стороны подсистем верхнего уровня:

- через функцию качества  $G_s$  путем изменений целей управления;

- через изменения параметров множеств связей  $U_s$  ( $s=1,2,3,4$ ) в классе подпроцессов  $P_s$ . Первый способ предполагает задание множества локальных функций качества, в результате чего координирующий сигнал  $S_s$  направлен на выбор соответствующей функции качества из заданного числа  $s$ -й управляющей системы. В том случае, когда нет возможности для координации путем изменения целей, используют координацию путем изменения ограничений на основе либо принципа развязывания взаимодействий  $U_s$ , либо прогнозирования взаимодействий  $U_s$ .

Принцип развязывания взаимодействий предполагает, что каждый нижестоящий управляющий элемент получает право при решении собственной задачи управления рассматривать связующие входы  $U_s$  как дополнительные переменные, которые он выбирает из собственных локальных критериев. В этом случае, решение задачи управления нижнего уровня определяются так, как если бы нижестоящие элементы и подпроцессы были полностью автономными.

Принцип прогнозирования предполагает, что координирующие сигналы  $S_s$  содержит информацию о прогнозируемых значениях связей  $U_s$ , которые будут иметь место при подачи управляющих воздействий.

Таким образом, предлагаемый методологический подход позволяет формировать множество управляющих воздействий, подаваемых на всех иерархических уровнях системы и проводить сравнительный анализ альтернативных вариантов структурного состава БСУ с целью определения оптимального варианта.

#### 5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦУП КАК БСУ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Конкретизируем общий методологический подход применительно к специфике функционирования подсистем ЦУП в процессе управления автоматическими КА. В работе делается попытка сформулировать и исследовать общую задачу оптимального управления ЦУП-БСУ с использованием методов теории массового обслуживания. Эти методы нашли широкое применение при исследовании динамических систем управления с ограниченно развернутой структурой [13], однако они использовались недостаточно полно для оптимизации структуры иерархических систем управления.

Основная сложность, ограничивающая применение этих методов, связана с тем, что в реальных условиях практически не существует марковских процессов, переводящих систему из одних состояний в другие. Все реальные процессы почти всегда обладают тем или иным последствием. Для марковского процесса время пребывания системы в каких-либо состояниях распределяется по показательному закону; на самом деле это не всегда бывает так. В зависимости от меры последствия потоки событий распределяются по каким-либо другим законам. Применяе-

мость методов теории марковских процессов определяется тем, к каким ошибкам в предельных вероятностях системы может привести формальная замена реальных процессов марковскими (или реальные потоки пуассоновскими).

В теории массового обслуживания известен метод последствия [14] когда отличающиеся от пуассоновских реальные потоки аппроксимируются потоками Эрланга и в схему возможных состояний системы вводятся некоторые фиктивные «псевдосостояния». В этом случае реальные (не марковские) процессы, протекающие в БСУ, удается свести к марковским и описать их с помощью системы дифференциальных уравнений Колмогорова [14]. Однако заметим, что использование метода псевдосостояний для

исследования БСУ является малоизученной проблемой и в теории массового обслуживания является отдельным научно-исследовательским направлением.

В рамках настоящей работы ограничимся формальным допущением о том, что процессы функционирования в системе ЦУП-БСУ являются марковскими, и на основе этого формализуем рассматриваемую задачу, используя методы теории массового обслуживания.

Дадим определение элементам пространства состояний ЦУП как БСУ на основе приведенной ориентировочной схемы взаимодействия отдельных элементов четырехуровневой иерархической системы (Рис. 1).

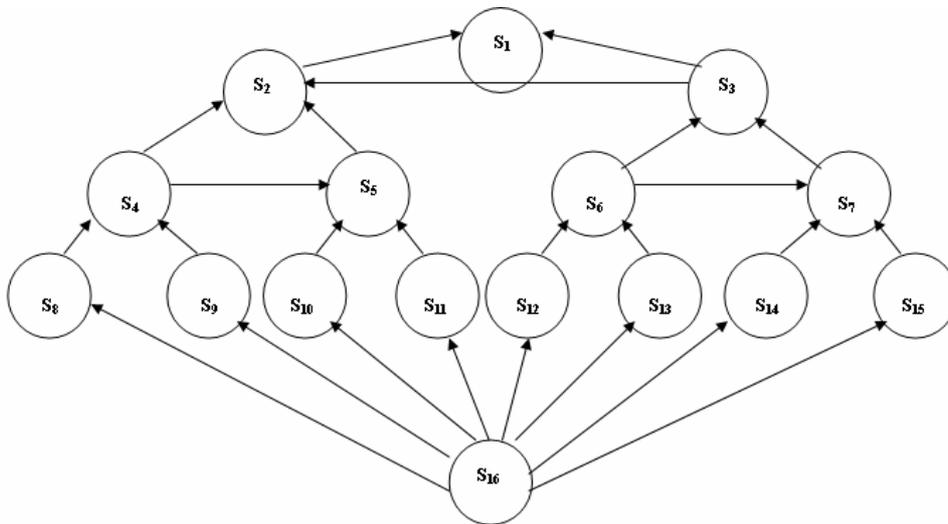


Рисунок 1. Схема взаимодействия отдельных элементов системы.

Опишем элементы графа состояния согласно приведенному рисунку:

$S_1$  – выполнение программы полета;  $S_2$  – решение задач планирования работы бортовых систем;  $S_3$  – выдача оперативных командных воздействий на основе анализ состояния бортовых систем;  $S_4$  – решение задач баллистико-навигационного обеспечения полета;  $S_5$  – формирование массивов командно-программной информации;  $S_6$  – диагностика состояния бортовых систем;  $S_7$  – выработка рекомендаций по управлению бортовыми системами;  $S_8$  – прием и обработка измерений текущих навигационных параметров;  $S_9$  – определение задействованных средств наземного комплекса управления;  $S_{10}$  – прием и обработка исходных данных Главного оператора;  $S_{11}$  – прием и обработка исходных данных разработчиков бортовых систем;  $S_{12}$  – прием и обработка телеметрической информации;  $S_{13}$  – прием и обработка информации оперативного контроля;  $S_{14}$  – проверка правильности выдачи командных воздействий;  $S_{15}$  – предварительный прогноз состояния бортовых систем;  $S_{16}$  – исходное состояние.

При этом, переходы системы из состояния  $S_{16}$  в состояния  $S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}$  соответствуют функционированию элементов четвертого уровня иерархии системы (уровня выбора). Последующие переходы системы в состояния  $S_4, S_5, S_6, S_7$  соответствуют работе элементов третьего уровня (уровня адап-

тации); переходы в состояния  $S_2$  и  $S_3$  – работе элементов второго уровня (уровня самоорганизации); переходы в состояние  $S_1$  – работе верхнего уровня (уровня координации).

Схему, представленную на рис. 1 можно интерпретировать как граф состояний ЦУП с иерархической структурой. Процесс функционирования системы начинается из исходного состояния  $S_{16}$  и, переходя через промежуточные состояния  $S_i$ , завершается выполнением программы полета (состояние  $S_1$ ).

Обозначим  $P_i$  ( $i = 1, \dots, 16$ ) вероятность нахождения системы в состоянии  $S_i$ . Нетрудно видеть, что в начальный момент времени  $t_0$ :

$$P_{16}(t_0) = 1, P_i(t_0) = 0 \text{ при } i \neq 16. \quad (1)$$

Для представленного графа состояний значения вероятностей  $P_i$  определяются системой дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= I_2^1 P_2 + I_3^1 P_3 \\ \frac{dP_2}{dt} &= -I_2^1 P_2 + I_3^2 P_3 + I_4^2 P_4 + I_5^2 P_5 \\ \frac{dP_3}{dt} &= -I_3^1 P_3 - I_3^2 P_3 + I_6^3 P_6 + I_7^3 P_7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_4}{dt} &= -I_4^2 P_4 - I_4^5 P_4 + I_8^4 P_8 + I_9^4 P_9 \\ \frac{dP_5}{dt} &= -I_5^2 P_5 + I_4^5 P_4 + I_{10}^5 P_{10} + I_{11}^5 P_{11} \quad (2) \\ \frac{dP_6}{dt} &= -I_6^3 P_6 - I_6^7 P_6 + I_{12}^6 P_{12} + I_{13}^6 P_{13} \\ \frac{dP_7}{dt} &= -I_7^3 P_7 + I_6^7 P_6 + I_{14}^7 P_{14} + I_{15}^7 P_{15} \\ \frac{dP_8}{dt} &= -I_8^4 P_8 + I_{16}^8 P_{16} \\ \frac{dP_9}{dt} &= -I_9^4 P_9 + I_{16}^9 P_{16} \\ \frac{dP_{10}}{dt} &= -I_{10}^5 P_{10} + I_{16}^{10} P_{16} \\ \frac{dP_{11}}{dt} &= -I_{11}^5 P_{11} + I_{16}^{11} P_{16} \\ \frac{dP_{12}}{dt} &= -I_{12}^6 P_{12} + I_{16}^{12} P_{16} \\ \frac{dP_{13}}{dt} &= -I_{13}^6 P_{13} + I_{16}^{13} P_{16} \quad \frac{dP_{14}}{dt} = -I_{14}^7 P_{14} + I_{16}^{14} P_{16} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_{15}}{dt} &= -I_{15}^7 P_{15} + I_{16}^{15} P_{16} \\ \frac{dP_{16}}{dt} &= -I_{16}^8 P_8 - I_{16}^9 P_9 - I_{16}^{10} P_{10} - I_{16}^{11} P_{11} - I_{16}^{12} P_{12} - \\ &- I_{16}^{13} P_{13} - I_{16}^{14} P_{14} - I_{16}^{15} P_{15} \end{aligned}$$

Интенсивности потоков событий  $I_j^i$  будем определять как скорость выполнения операций, необходимых для перевода системы из состояния  $i$  в состояние  $j$ . Например,  $I_6^3$  - отношение объема выполняемых операций по диагностированию состояния бортовых систем, необходимого для завершения анализа их работоспособности ко времени выполнения работ.

В рамках проводимых исследований номинальные значения  $I_j^i$  определялись на основе существующего опыта выполнения соответствующих операций в процессе моделирования управления КА типа «Компас».

**Таблица 1.** Номинальные значения  $I_j^i$  в размерностях «1/сек»:

|         |                      |         |                      |            |                      |               |                      |               |                      |
|---------|----------------------|---------|----------------------|------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| $I_2^1$ | $9,25 \cdot 10^{-4}$ | $I_5^2$ | $9,25 \cdot 10^{-4}$ | $I_9^4$    | $2,08 \cdot 10^{-3}$ | $I_{14}^7$    | $1,67 \cdot 10^{-3}$ | $I_{16}^{11}$ | $1,85 \cdot 10^{-3}$ |
| $I_3^1$ | $1,67 \cdot 10^{-3}$ | $I_6^3$ | $1,67 \cdot 10^{-3}$ | $I_{10}^5$ | $8,33 \cdot 10^{-4}$ | $I_{15}^7$    | $8,33 \cdot 10^{-4}$ | $I_{16}^{12}$ | $1,11 \cdot 10^{-3}$ |
| $I_3^2$ | $2,78 \cdot 10^{-3}$ | $I_6^7$ | $1,39 \cdot 10^{-3}$ | $I_{11}^5$ | $1,67 \cdot 10^{-3}$ | $I_{16}^8$    | $1,11 \cdot 10^{-3}$ | $I_{16}^{13}$ | $2,08 \cdot 10^{-3}$ |
| $I_4^2$ | $1,85 \cdot 10^{-3}$ | $I_7^3$ | $2,78 \cdot 10^{-3}$ | $I_{12}^6$ | $9,25 \cdot 10^{-4}$ | $I_{16}^9$    | $2,78 \cdot 10^{-3}$ | $I_{16}^{14}$ | $4,17 \cdot 10^{-3}$ |
| $I_4^5$ | $1,39 \cdot 10^{-3}$ | $I_8^4$ | $1,39 \cdot 10^{-3}$ | $I_{13}^6$ | $1,85 \cdot 10^{-3}$ | $I_{16}^{10}$ | $9,25 \cdot 10^{-4}$ | $I_{16}^{15}$ | $1,67 \cdot 10^{-3}$ |

При этом, допускаются вариации значений  $I_j^i$  в диапазоне  $\pm 20\%$  от номинальных значений. Отметим, что определение  $I_j^i$  осуществлялось в предположении отсутствия случайных возмущающих факторов, которые могут привести к существенному изменению динамики выполнения операций: неисправности работы технических средств, ошибки персонала управления и т.д.

В качестве критерия решения вариационной задачи будем использовать минимум времени перевода системы в состояние  $S_1$ , т.е.

$$T_{\Sigma} = \min \text{ при } P_1(T) = 1 \quad (3)$$

С учетом вышеизложенного сформулируем вариационную задачу: для системы дифференциальных уравнений (2) требуется определить совокупность интенсивностей переходов  $I_j^i$ , изменяющихся в пределах  $\pm 20\%$  относительно своих номинальных значений (табл. 1), обеспечивающую перевод системы из начального состояния (1) в конечное (3).

## 6. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Дадим описание вычислительному процессу решения сформулированной вариационной задачи.

Прежде всего, путем численного интегрирования дифференциальных уравнений (2) определим зависимости вероятностей  $P_i$  от времени  $t$  при номинальных значениях интенсивностей переходов. Расчеты показали, что суммарное время перехода системы в конечное состояние  $T_{\Sigma}$  составляет 63 минуты 45 секунд. Был отмечен достаточно длительный процесс изменения от 1 до 0 вероятностей  $P_5$ ,  $P_7$  и особенно  $P_2$ . Значения других вероятностей от времени менялись более интенсивно. Очевидно, что на скорость увеличения вероятности  $P_1(t)$  от 0 до 1, а следовательно и на минимизируемое время  $T_{\Sigma}$ , существенно влияет интенсивность процесса изменения  $P_2(t)$  и в меньшей мере  $P_5(t)$  и  $P_7(t)$ .

Далее представляет интерес оценить частные влияния вариаций  $I_j^i$  относительно номинальных значений на время  $T_{\Sigma}$ . В результате проведения расчетов показано, что все интенсивности переходов  $I_j^i$  можно разделить на две категории. К одной категории

относятся такие  $I_j^i$ , увеличение значений которых приводит к снижению времени  $T_\Sigma$ . Для рассматриваемого примера это  $I_2^1, I_3^1, I_4^5, I_5^2, I_6^7, I_7^3, I_8^4, I_{12}^6, I_{16}^8, I_{16}^{10}, I_{16}^{12}$ . Вариации остальных 14-ти значений  $I_j^i$ :  $I_3^2, I_4^2, I_6^3, I_9^4, I_{10}^5, I_{11}^5, I_{13}^6, I_{14}^7, I_{15}^7, I_{16}^9, I_{16}^{11}, I_{16}^{13}, I_{16}^{14}, I_{16}^{15}$  - не влияют на значение  $T_\Sigma$ . Показано, что при увеличении значений  $I_j^i$  из первой категории на 20% относительно номиналов, время  $T_\Sigma$  снижается до 51 минуты 25 секунд, что  $\approx$  на 18,5% меньше рассчитанного ранее суммарного времени перехода.

В практическом смысле это означает, что для повышения быстродействия выполнения операций управления, в рамках рассматриваемого примера, следует обратить внимание на рост оперативности решения первоочередных задач, относящихся к блоку задач командно-программного обеспечения: оперативного планирования работы КА, формирования массивов командно-программной информации, выработки рекомендаций по управлению бортовых систем, а также задач приема и обработки телеметрической информации, исходных данных Главного оператора, измерений текущих навигационных параметров, диагностирование состояния работоспособности бортовых систем, решения задач баллистико - навигационного обеспечения. При этом, ряд других задач: предварительное прогнозирование состояния бортовых систем, проверка правильности выдачи командных воздействий на КА, прием и обработка исходных данных разработчиков бортовой аппаратуры не является критичными с точки зрения минимизации суммарного времени функционирования ЦУП как БСУ.

Следует отметить, что повышение оперативности решения отмеченных первоочередных задач может быть обеспечено не только за счет роста интенсивности их выполнения, но и за счет изменения структурного состава иерархических БСУ.

#### 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный математический аппарат принципиально может быть использован для исследования быстродействия альтернативных вариантов структурного построения иерархических систем ЦУП как БСУ. При этом, осуществляется не только сравнительная оценка быстродействия альтернативных вариантов, но и для каждого варианта определяются критические звенья системы.

Дальнейшее развитие предложенного в работе методологического подхода связано, в первую очередь, с уточнением математических моделей функционирования ЦУП-БСУ за счет использования метода «псевдосостояний», с учетом влияния на систему непрогнозируемых случайных возмущающих факторов, а также, с возможностью одновременного функционирования нескольких БСУ при использовании обобщенного критерия минимизации времени выполнения целевой функции совокупностью всех систем.

Практическая значимость предлагаемого математического аппарата связана с необходимостью реше-

ния проблемы создания компактных, рентабельных, высокотехнологичных структур управления различными КА НСЭН, запуск которых планируется в 2006-2007 гг. Внедрение в практику проектирования общей структуры ЦУП КА НСЭН разработанного методологического подхода может обеспечить снижение потребных финансовых затрат на создание аппаратно-программных средств управления каждым последующим КА НСЭН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месарович М., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973 г.
2. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. М.: Советское радио, 1975 г.
3. Моисеев Н.Н. Информационная теория иерархических систем. Труды всесоюзной школы – семинара по управлению большими системами. Тбилиси: Мецниереба, 1973 г.
4. Эрлих А.И., Вен В.Л. К вопросу о выборе структуры процесса программирования. Программный метод управления. М.: Вычислительный центр АН СССР, 1976, вып. 3.
5. Сингх М., Титли А. Системы: декомпозиция, оптимизация и управления. М.: Машиностроение, 1986 г.
6. Kulikowski R. Optimization of large – scale system. *Automatika*. 1970, v. 6
7. Kulikowski R. Modelling of production, utility structure, process and technological change. *Control and Cybernetics*. 1975, v. 4
8. Guberinic S. On structural optimization in hierarchical system. *Prepins of the IFACIFORS symposium*. Varna, 1974
9. Бронштейн О.И., Цвиркун А.Д. Об иерархических системах управления. *Автоматика и телемеханика*, 1968 г., № 1
10. Власюк В.А., Моросанов И.С. Синтез иерархической структуры управления в больших системах. *Автоматика и телемеханика*, 1973 г. № 3
11. Чунченпак И.М. Оптимизация структуры систем распределения ресурсов. Труды института электронных управляющих машин. М.: 1976 г.
12. Соколов Н.Л., Поздняк Т.И., Пинчук В.Б. К вопросу об использовании теории марковских процессов для исследования движения КА в атмосфере. *Космические исследования*, 1990 г., т. 28, № 3.
13. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. Л.: Энергоиздат, 1982 г.
14. Венцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1982 г.

Работа представлена на IV научную конференцию с международным участием «Современные наукоемкие технологии», 21-28 февраля 2006г. Хургада (Египет). Поступила в редакцию 17.01.2006г.