

МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ПОТОКОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ШМЕЛЕВ

Валентин Валерьевич¹

ДЕЕВ

Владимир Викторович²

ТКАЧЕНКО

Владимир Викторович³

Информация об авторах:

¹к.т.н., заместитель начальника кафедры Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, valja1978@yandex.ru

²д.т.н., профессор, старший преподаватель Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

³к.т.н., преподаватель Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vik_hohol@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теория вычислений; функционально-логическое программирование; потоковые вычисления; обработка измерительной информации; информационные технологии; идентификация и техническая диагностика.

АННОТАЦИЯ

Рассматривается задача теоретического обоснования информационной технологии интеллектуального мониторинга состояния технических систем. В основе технологии находятся функционально-логические программы потоковых вычислений, построенные на модифицированных сетях Петри и G-сетях. Под потоковыми вычислениями понимается процесс обработки разнородной информации (технической, технологической) с целью диагностирования состояния сложных технических систем с возможностью распараллеливания, асинхронности и иерархичности непосредственных операций над данными. Вопрос организации практического применения таких программ на электронно-вычислительных машинах безотносительно системно-аппаратного их обеспечения раскрывается в работе. Предлагается соответствующая схема, состоящая из семи блоков. Первые четыре блока – это сопоставление свойств контролируемого процесса и переменных программы потоковых вычислений, контроль и интерпретация выходных переменных программы, формирование управляющих воздействий для программы и, четвертый, выполнение (изменение состояния) программы. Данные блоки являются интерпретацией классических этапов идентификации и технической диагностики технических объектов с целью определения их технического состояния. Для данных этапов приводятся необходимые формальные выражения. Пятый этап – это формирование системы показателей качества организации потоковых вычислений. Шестой этап – комплексное оценивание качества организации потоковых вычислений при мониторинге состояния технической системы. Содержание пятого и шестого этапов является отображением особенностей предметной области контролируемых процессов технической системы. Последний седьмой этап заключается в формировании структуры информационной технологии интеллектуального мониторинга на основе программы потоковых вычислений. Предлагается три блока такой системы: единое информационное пространство описания контролируемых процессов на основе специального полимодельного комплекса, инструментальная прикладная среда синтеза и исполнения программ специальных вычислений и система поддержки принятия решения оператором рабочего места мониторинга. Теоретическая новизна материала состоит в концептуальной интерпретации задач технической диагностики на новом методическом инструменте мониторинга – функционально-логических программах потоковых вычислений. Практическая значимость и актуальность обосновывается крайней необходимостью совершенствовать технологии мониторинга сложных технических систем, например, в ракетно-космической отрасли.

Для цитирования: Шмелев В. В., Деев В. В., Ткаченко В. В. Метод организации потоковых вычислений при интеллектуальном мониторинге состояния технических систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 24–34.

Анализ практики испытаний и применения ракетно-космической техники показывает, что с совершенствованием технических систем происходит их усложнение. Вследствие этого не снижается количество аварий и происшествий на объектах космической инфраструктуры и космических средствах. Интегральные сведения об этом представлены на рис. 1 [1–2].

Причин данного факта можно назвать несколько. Среди них техническая сложность контролируемых процессов в технической системе, структурная, вычислительная, временная, логическая сложность мониторинга состояния системы, доверительная сложность исходной информации и структурная и параметрическая динамика экземпляров контролируемых процессов. Интегральной причиной является несовершенство моделей и методов мониторинга состояния сложных технических систем в условиях неопределенности классов состояний контролируемых объектов, вызванных возмущающими факторами искусственного и естественного происхождения. Для устранения данной причины, т.е. компенсации названных факторов, предложен метод интеллектуального мониторинга состояния технических систем на основе использования функционально-логических программ потоковых вычислений [3].

В настоящей статье указанный метод интерпретируется в информационную технологию, как совокупность способов и методов решения задачи на ЭВМ [Р 50.1.031–2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции (п. 3.1.9). Госстандарт России. М: Стандартинформ, 2006, 32 с.].

В статье вводится или доопределяется ряд понятий. Программой называется система вычислений, которая для некоторого набора исходных данных позволяет по однозначно определенной последовательности действий получить конкретный результат [4]. Программа обладает свойствами массовости, результативности и определенности.

Функционально-логической программой называется программа, создаваемая в результате применения парадигмы функционального программирования [5] (в данном случае используется вызов единой функции с различными параметрами) с реализацией логических взаимосвязей между операторами (операциями). Под потоковыми вычислениями понимается обработка информации различного рода (измерительной, технологической), характеризующей техническую систему (ТС). Особенностью процесса обработки такой информации является необходимость обеспечения возможности параллелизма и асинхронности выполнения отдельных операций и их совокупностей, т.е. потоков [6].

Подготовка программы потоковых вычислений представляет собой сложный процесс задания спецификации, синтеза и применения функционально-логической программы, который может быть представлен схемой рис. 2.

Синтез программы потоковых вычислений состоит из трех этапов.

Первый этап заключается в интерпретации исходной разнородной информации о предметной области контролируемого процесса. На основании такой информации формируется единое представление исходной спецификации синтезируемой программы как перечня операций с необходимыми характеристиками и условиями их выполнения. Результатом данного этапа является исходная спецификация процесса мониторинга (или программы мониторинга) в виде модифицированной таблицы хронометража [3].

Рассмотрим краткий пример составления подобной таблицы для технической системы ракеты-носителя. В качестве примера будет использована абстрагированная от конкретного типа космического средства система наддува баков двигательной установки ракеты. Система наддува баков предназначена для компенсации провалов и обеспечения потребных давлений на входе в насосы в момент запуска двигателей до выхода системы бортового наддува на расчетный режим работы, а также для обеспечения тре-

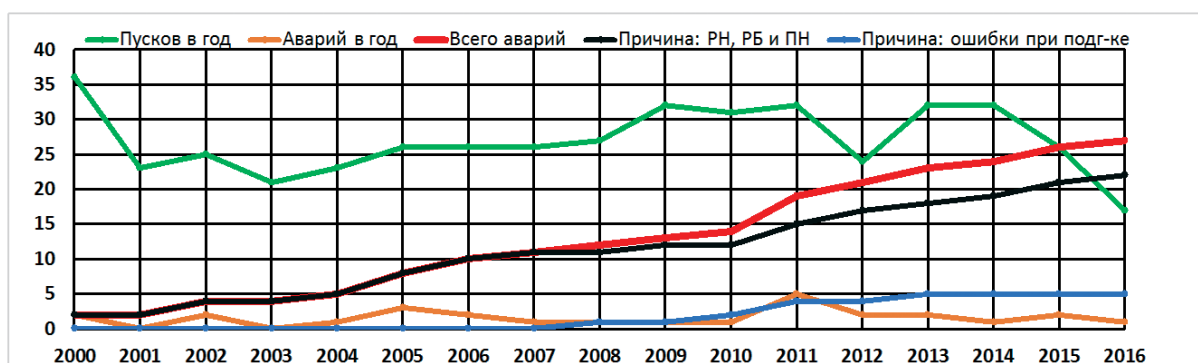


Рис. 1. Статистика результатов применения космических средств

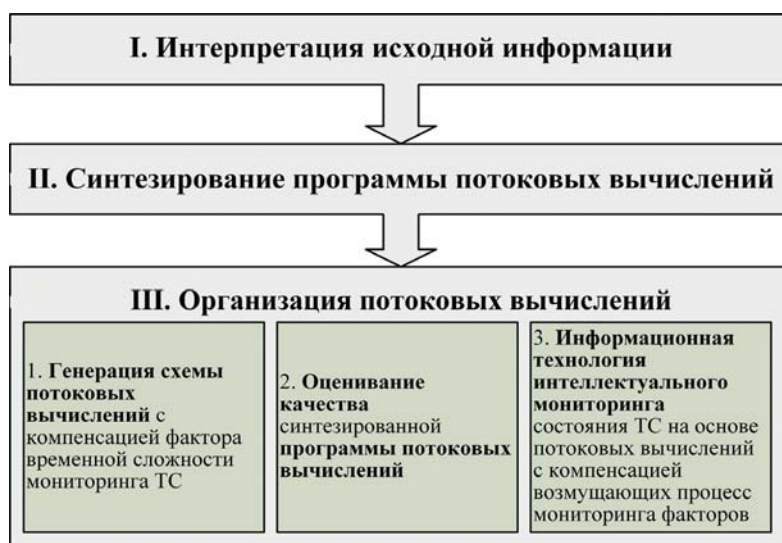


Рис. 2. Схема этапов синтеза функционально-логической программы

буемых уровней давлений на входе в насосы при работе двигателей. На рис. 3 представлена схема мониторинга данной системы.

Кроме штатного функционирования системы наддува предполагается нештатный режим, представленный схемой рис. 4.

Объединение штатного и нештатного режимов функционирования системы наддува баков ракеты-носителя представлено в таблице. В таблице введено сокращение ЭПК — электропневмоклапан, РД — реле давления.

Второй этап — это этап непосредственного синтеза программы, заключающийся в последовательном наполнении тела программы необходимыми составляющими, и корректировки тела с целью придания ему требуемых свойств. Синтез программы состоит из этапов задания структуры и свойств потоковых вычислений, а также опре-

деления действий программы [7]. Для рассматриваемого примера функционально-логическая программа примет вид, представленный на рис. 5.

Третьим этапом является организация потоковых вычислений с использованием синтезированной программы. Данный этап и есть основное содержание настоящей статьи.

Этап «III. Организация потоковых вычислений» заключается в интерпретации стадий функционального диагностирования с помощью синтезированной программы (шаг 1), оценивании качества потоковых вычислений по синтезированной программе (шаг 2) и формировании информационной технологии практического применения программы потоковых вычислений с компенсацией возмущающих процесс мониторинга факторов (шаг 3).

Шаг 1 является стадией, определяющей порядок функционирования инструментальной прикладной среды

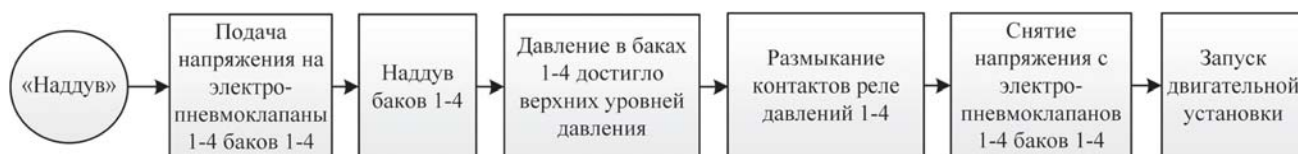


Рис. 3. Схема процесса мониторинга системы наддува баков двигательной установки ракеты-носителя

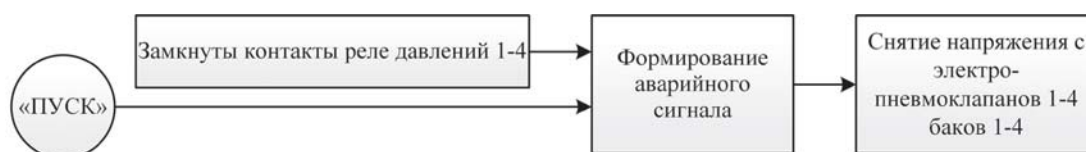


Рис. 4. Схема формирования аварийного сигнала при наддуве баков

Таблица

Исходная спецификация вычислительного процесса мониторинга системы наддува баков ракеты-носителя

№ п/п	Наименование операции	Условие начала операции	Условие окончания операции	Момент начала операции, отн. ед.	Длительность операции, отн. ед.
1	Задержка	Получение сигнала «Дренаж»	По длительности	0	50
2	Подача напряжения на ЭПК 1	Получение сигнала «Наддув» и окончание операции О1	По длительности	50	5
3	Подача напряжения на ЭПК 2	Получение сигнала «Наддув» и окончание операции О1	По длительности	50	5
4	Подача напряжения на ЭПК 3	Получение сигнала «Наддув» и окончание операции О1	По длительности	50	5
5	Подача напряжения на ЭПК 4	Получение сигнала «Наддув» и окончание операции О1	По длительности	50	5
6	Наддув бака 1	Окончание операции О2	Достижение давления в баке 1 верхнего уровня	55	75
7	Наддув бака 2	Окончание операции О3	Достижение давления в баке 2 верхнего уровня	55	75
8	Наддув бака 3	Окончание операции О4	Достижение давления в баке 3 верхнего уровня	55	75
9	Наддув бака 4	Окончание операции О5	Достижение давления в баке 4 верхнего уровня	55	75
10	Размыкание контактов РД1	Окончание операции О6	По длительности	130	5
11	Размыкание контактов РД2	Окончание операции О7	По длительности	130	5
12	Размыкание контактов РД3	Окончание операции О8	По длительности	130	5
13	Размыкание контактов РД4	Окончание операции О9	По длительности	130	5
14	Снятие напряжения с ЭПК 1	Окончание операции О10	По длительности	135	5
15	Снятие напряжения с ЭПК 2	Окончание операции О11	По длительности	135	5
16	Снятие напряжения с ЭПК 3	Окончание операции О12	По длительности	135	5
17	Снятие напряжения с ЭПК 4	Окончание операции О13	По длительности	135	5
18	Окончание наддува баков	Окончание операций О14, О15, О16 и О17	По длительности	140	5
19.	Формирование аварийного сигнала	Получение сигнала «Пуск» и не достижение давления в каких-либо баках 1-4 верхних уровней	Окончание операций О14, О15, О16 и О17	140	5
20	Снятие напряжения с ЭПК 1	Начало операции Н19	По длительности	140	5
21	Снятие напряжения с ЭПК 2	Начало операции Н19	По длительности	140	5
22	Снятие напряжения с ЭПК 3	Начало операции Н19	По длительности	140	5
23	Снятие напряжения с ЭПК 4	Начало операции Н19	По длительности	140	5

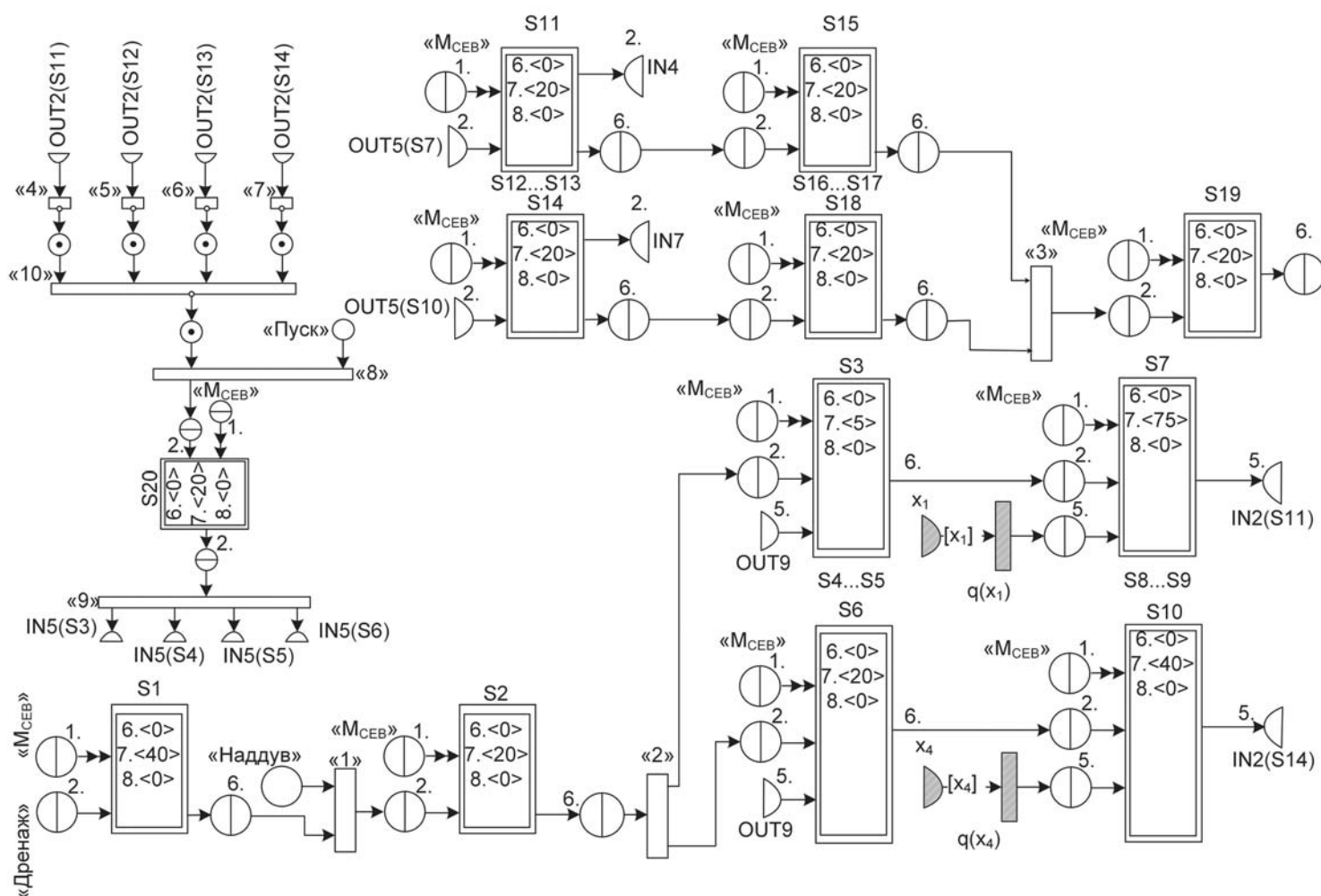


Рис. 5. Программа потоковых вычислений при мониторинге технического состояния системы надува баков ракеты-носителя

(ИПС), реализующей предлагаемую структуру вычислений. На рис. 6 представлена схема такой среды концептуального уровня, достаточного для определения спецификации среды. Обозначения и семантика переменных приведены в статье [3] и для экономии места здесь не приводятся.

По тактам генератора происходит опрос на изменение значений инициализированных переменных или на инициализацию новых элементов БД переменных. Частота формирования тактов определяется характеристиками прототипа реализуемых потоковых вычислений.

Формирование значений переменных $ZP_{(*)}$ осуществляется G-сетью обработки первичных и формирования вторичных переменных из множества $X = \{x_i \mid i=1 \dots \text{card}(X)\}$. Под первичными переменными понимаются результаты интерпретации характеристики прототипа потоковых вычислений — исходной спецификации. Вторичные переменные — это значение функций, аргументами в которых выступают первичные переменные. Блок сопряже-

ния и БД операторов, содержащая z -модели, осуществляют программно-аппаратный перевод значений выходных переменных G-сетей в переменные $ZP_{(*)}$.

БД экземпляров УМТО $S = \{S_k \mid k=1 \dots \text{card}(I_s)\}$ содержит необходимое количество примитивов с параметрами, заданными при проектировании схемы программы потоковых вычислений. При поступлении значений входных переменных P_{in} осуществляется смена состояния S_k соответствующих экземпляров УМТО, что выражается в формировании новых значений выходных переменных P_{out} с последующей их передачей в БД функций инцидентности $J = \{J_k \mid k=1 \dots \text{card}(I_s)\}$. В последней БД осуществляется распределение полученных переменных по соответствующим экземплярам УМТО с преобразованием выходных P_{out} во входные переменные P_{in} . Это требует повторной смены состояний S_k экземпляров УМТО. Операции распределения и смены состояния S_k экземпляров выполняются до выполнения всех функций инцидентности J .

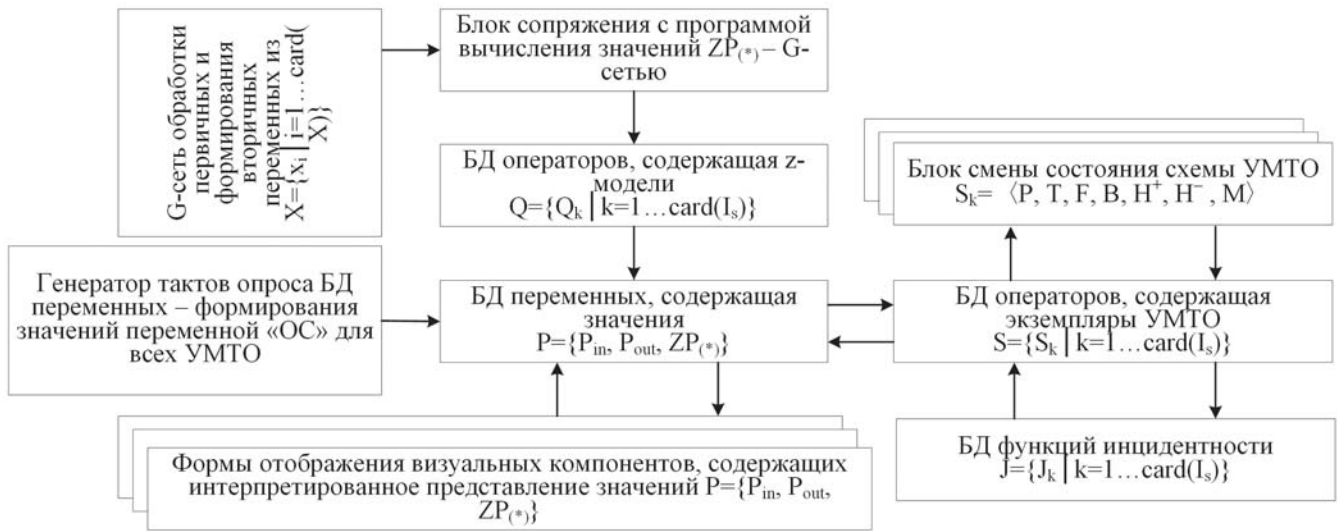


Рис. 6. Схема функционирования ИПС потоковых вычислений. БД – база данных, УМТО – унифицированная модель типовой операции процесса мониторинга

Все переменные $P=\{P_{in}, P_{out}, ZP_{(*)}\}$ могут использоваться в необходимых формах отображения в качестве индикаторных элементов с информацией о состоянии потоковых вычислений. При этом формы могут содержать и органы управления, формирующие новые значения входных переменных P_{in} . Это предоставляет возможность управления программой потоковых вычислений.

Шаги 2 и 3 являются специализированными для предметной области использования рассматриваемого в статье метода. Поэтому для их представления целесообразно использовать прикладную схему рис. 7.

При формальном представлении организации потоковых вычислений используется денотационная семантика языка описания или «программирования» контролируемых процессов, заключающаяся в математическом интерпретации подэтапов функционального диагностирования, представленных на рисунке 7 под номерами 1, 2, 3 и 4. Для каждого из подэтапов представляются следующие математические выражения (в статье [3] представлены обозначения переменных):

1. Сопоставление свойств контролируемого процесса и переменных потоковых вычислений:

— бинарное состояние операции {операция не выполнялась, выполняется, окончена по длительности, окончена}:

$$m(p_i) | p_i \in P_{out} = \{\text{ИндНач}, \text{ИндЗакДлит}, \text{ИндКон}\};$$

— счетное состояние операции {степень отсчета задержки начала выполнения, непосредственного выполнения, задержки окончания выполнения}:

$$m(p_i) | p_i \in P_{out} = \{\text{ИндЗадНач}, \text{ИндВып}, \text{ИндЗадКон}\}.$$

2. Контроль и интерпретация выходных переменных:

— $m_{гр}(p_i)$ — заданные значения выходных переменных $p_i \in P_{out}$;

— $M_{гр out}^{(k)} = \{m_{гр}(p_i) | p_i \in P_{out}^{(k)}\}$ — множество заданных значений выходных переменных $m_{гр}(p_i)$ k-ой операции;

— $M_{гр out} = \{M_{гр out}^{(k)} | k=1 \dots \text{card}(I_s)\}$ — множество заданных значений выходных переменных $M_{гр out}^{(k)}$ операций $S_k | k=1 \dots \text{card}(I_s)$ процесса R;

— $Y = \langle M_{гр нач out}, \dots, M_{гр out}, \dots, M_{гр кон out} \rangle$ — кортеж $M_{гр out}$ — упорядоченный перечень заданных значений выходных переменных $M_{гр out}$ на интервале контроля;

— $\Delta m(p_i)$ — невязка значений $m(p_i)$ и $m_{гр}(p_i)$;

— $\Delta M_{out}^{(k)} = \{\Delta m_{гр}(p_i) | p_i \in P_{out}^{(k)}\}$ — множество невязок значений $m(p_i)$ и $m_{гр}(p_i)$ выходных переменных $p_i \in P_{out}$ k-ой операции;

— $\Delta M_{out} = \{\Delta M_{out}^{(k)} | k=1 \dots \text{card}(I_s)\}$ — множество невязок значений $M_{out}^{(k)}$ и $M_{гр out}^{(k)}$ выходных переменных $p_i \in P_{out}^{(k)}$ операций $S_k, k=1 \dots \text{card}(I_s)$;

— $\Delta Y = \langle \Delta M_{нач out}, \dots, \Delta M_{out}, \dots, \Delta M_{кон out} \rangle$ — кортеж невязок значений M_{out} и $M_{гр out}$ на интервале контроля;

— $\Delta m(p_i) = m(p_i) - m_{гр}(p_i)$ — вычисление невязки «нижнего уровня», аналогичные выражения составляются для вычисления невязок $\Delta M_{out}^{(k)}, \Delta M_{out}$ и ΔX .

3. Формирование управляющих воздействий:

— $\Delta_D: \Delta \times M_{нач out} \times M_{кон out} \times Q \rightarrow \Delta_D$ — множество допустимых альтернатив управляющих воздействий — значений входных переменных $m(p_i) | p_i \in P_{in}^{(k)}$;

— условие смены состояния процесса

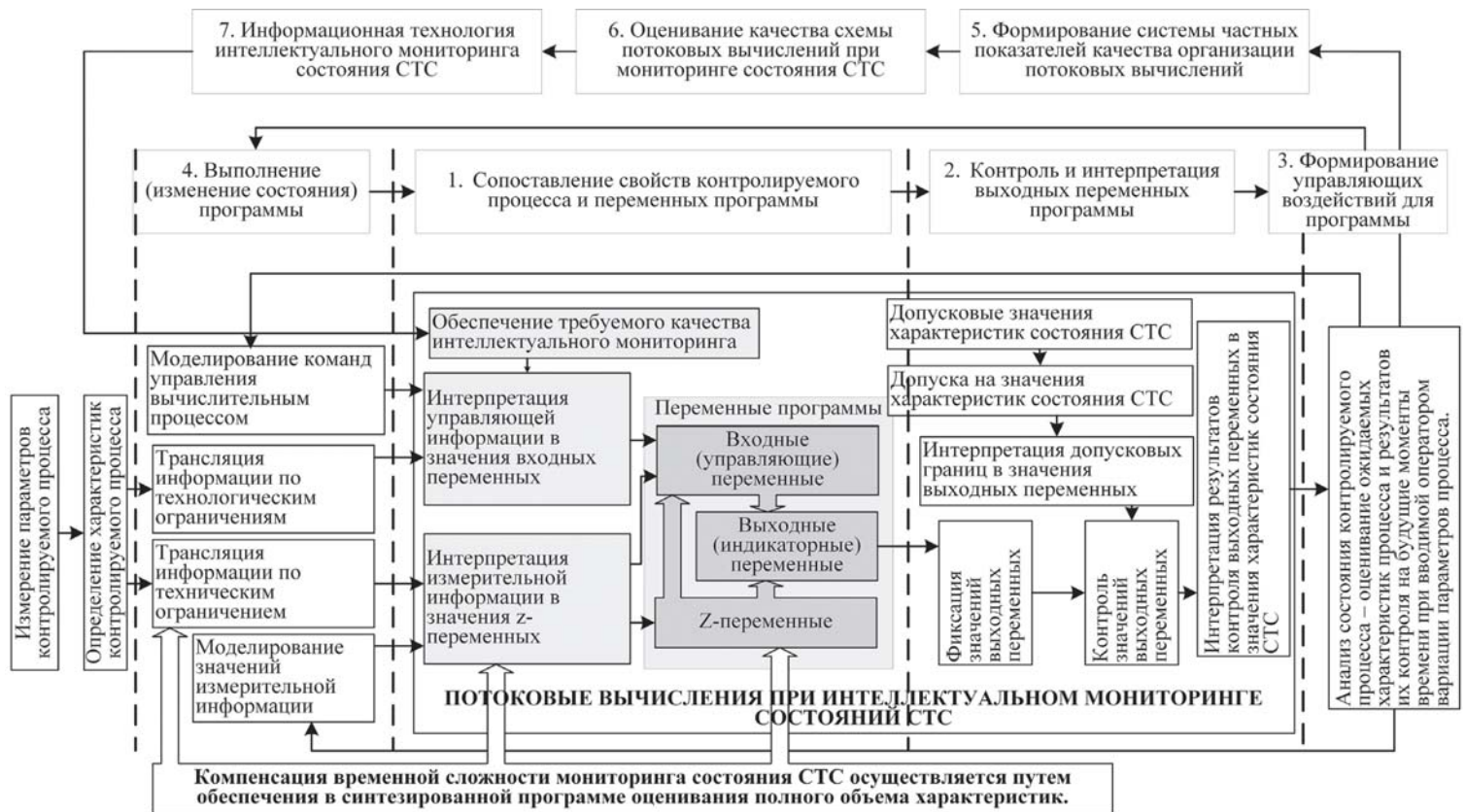


Рис. 7. Схема организации потоковых вычислений при интеллектуальном мониторинге ТС с компенсацией возмущающих факторов

$$U=(U_1)\cap(U_2)\cap(U_3);$$

— U_1 : при условии существования функции инцидентности между СЛ-моделями операции S_l и S_k , $l, k \in I_s$, $l \neq k$:

$$U_1: J_{in}^{(k)} \cap P_{out}^{(l)}, P_{in}^{(k)} \cap N, N > 0;$$

— U_2 : при условии разрешения смены состояния операции S_k :

$$U_2: (\gamma_+(m(p_l | p_l = \{OC\}) - \#(p_p B(t_j))) = 1) \cap$$

$$\cap (\gamma_+(m(p_l | p_l \in (P_{in} \cup P_{вн}) \setminus \{OC\}) - \#(p_p F(t_j))) = 1) \cap$$

$$\cap (m(p_l) > (\#(p_p F(t_j)) + \#(p_p H(t_j))));$$

— U_3 : при условии отсутствия технических ограничений на смену состояний операции S_k :

$$U_3: zm_{(i)}: d_{i(i)} \in D_{(i)} \rightarrow PR(q^{(k)}(\cdot)) = \langle \text{true} \rangle.$$

4. Выполнение (изменение состояния) потоковых вычислений:

— функция J инцидентности между моделями операций S_p , S_k и S_m :

$$\mathfrak{J} = \left(\begin{array}{l} \mathfrak{J}_{in} : P_{out}^{(l)} \times P_{in}^{(k)} \rightarrow N \\ \mathfrak{J}_{out} : P_{out}^{(k)} \times P_{in}^{(m)} \rightarrow N \end{array} \right), l, k, m \in I_s$$

В основу моделирующего инструмента положены модифицированные сети Петри [8]. Для практической проверки функциональности моделей использована среда CPN Tools [9–11].

Интеллектуальный мониторинг заключается в представлении технологии анализа состояния технической системы с помощью синтезированной программы, являющейся синтаксической основой мониторинга. Кортеж значений выходных переменных программы интерпретируется как траектория смены состояний процесса вычислений, значения указанных переменных используются в качестве семантической основы мониторинга.

Подэтапы 5 и 6 рис. 7 реализуются в соответствии с особенностями предметной области контролируемых процессов. Пример решения задачи комплексного оценивания качества функционирования сложной системы приведен, например, в [12].

Подэтап 8 рис. 7 предназначен для разработки информационной технологии, как совокупности способов и методов обработки и анализа информации с использованием ЭВМ, реализующей независимо от конкретного системно-аппаратного обеспечения интеллектуальный мониторинг состояния ТС. Функциональная структура такой технологии состоит из трех составляющих: единого информационного пространства (ЕИП) описания контролируемых процессов, ИПС платформы мониторинга и системы помощи при решении оператором рабочего места мониторинга. Структура информационной технологии представлена на рис. 8.

ЕИП описания контролируемых процессов [13–14] представляет собой совокупность знаний и данных, организованных специальным образом на основе расширяемой, обобщенной информационной модели, построенной с использованием баз данных, технологий их использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей.

Информационная технология интеллектуального мониторинга состояния технических систем должна получить свою реализацию в виде программного комплекса, представляющего собой ИПС.

При создании программно-аппаратного комплекса мониторинга, функционирующего в рамках ЕИП, основной акцент делается на создание унифицированной платформы, которая используется для построения прикладных приложений не самими разработчиками, а множеством других специалистов [15–16].

Выработка управляющих воздействий в системе поддержки принятия решения оператором рабочего места мо-

нитинга, как отдельная составляющая информационной технологии интеллектуального мониторинга, подробному рассмотрению не подлежит по причине значительной вариативности решения управленческих задач в зависимости от прикладной области внедрения технологии.

Заключение

В статье ставится и решается задача разработки информационной технологии интеллектуального мониторинга состояния ТС на основе функционально-логических программ потоковых вычислений. Такие программы являются языком верхнего уровня при «программировании» процессов обработки технической и технологической информации, характеризующей ТС.

Представленные положения информационной технологии отличаются:

- концептуальной интерпретацией задач технической диагностики на новом методическом инструменте мониторинга — функционально-логических программах потоковых вычислений;

- предложением в предметной области мониторинга состояния технических систем более совершенной по сравнению с общепринятой концепции построения информационной технологии на основе принципа «программирования без программирования»;

- раскрытием задач и структуры информационной технологии, позволяющих в полной мере охарактеризовать реализуемый технологией мониторинга как «интеллектуальный».

Практическая значимость и актуальность информационной технологии с использованием функционально-логических программ потоковых вычислений заключается в компенсации возмущающих факторов, искажающих процесс мониторинга состояния ТС.

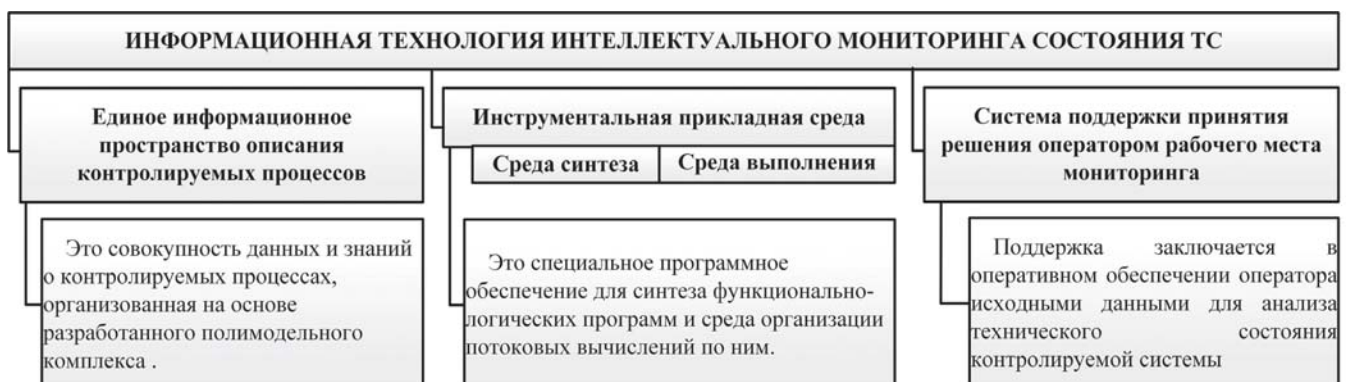


Рис. 8. Функциональная структура информационной технологии

Направлением применения представленного метода является проектирование специального программного обеспечения мониторинга функционирования сложных организационно-технических систем и процессов в ракетно-космической деятельности, а также в области разработки схем вычислительных процессов, связанных с обработкой больших данных (Big Data) в сложных условиях в других областях деятельности человека.

Литература

1. *Беляков Г.П., Анищенко Ю.А., Сафронов М.В.* Риски космических проектов. Анализ причин неудачных космических запусков // Вестник СибГАУ. 2014. № 5 (57). С. 208–215.
2. *Сафронов М.В., Харламов А.Д., Беляков Г.П.* Анализ неудачных космических запусков за 2004–2014 годы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. № 10. С. 37–38.
3. *Шмелев В.В.* Модели технологических процессов функционирования космических средств // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 4. С. 78–93.
4. *Колмогоров А.Н., Успенский В.А., К* определению алгоритма // Успехи математических наук. 1958. Т. XIII. Вып. № 4 (82). С. 3–28.
5. *Игошин В.И.* Математическая логика и теория алгоритмов. 2-е изд. М.: Академия, 2008. 448 с.
6. *Лацис А.О.* Параллельная обработка данных. М.: Академия. 2010. 336 с.
7. *Шмелев В.В., Мануйлов Ю.С.* Применение модифицированных сетей Петри к моделированию процесса послеполетного анализа телеметрической информации // Труды МАИ. 2015. № 6(84). URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=63140>. (Дата публикации 27.11.2015)
8. *Peterson J. L.* Petri Net Theory And The Modeling Of Systems. Englewood Cliffs, N.Y.: Prentice-hall, 1981. 290 p.
9. *Westergaard M., Kristensen L. M.* The Access/CPN Framework: A Tool for Interacting with the CPN Tools Simulator // Proc. of 30th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2009). Lecture Notes in Computer Science 5606. Berlin: Springer-Verlag, 2009. Pp. 313–322
10. *Jensen K., Kristensen L. M., Wells L.* Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems // International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT). 2007. No. 9(3–4). Pp. 213–254.
11. *Ratzer A. V., Wells L., Lassen H. M., Laursen M., Qvortrup J. F., Stissing M. S., Westergaard M., Christensen S., Jensen K.* CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Nets // Proc. of 24th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2003). Lecture Notes in Computer Science 2679. Berlin: Springer-Verlag, 2003. Pp. 450–462.
12. *Зеленцов В.А., Павлов А.Н.* Многокритериальный анализ влияния отдельных элементов на работоспособность сложной системы // Информационно-управляющие системы. 2010. № 6(49). С. 7–12.
13. *Ахметов Р.Н., Васильев И.Е., Капитонов В.А., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В.* Концепция создания и применения перспективной АСУ подготовкой и пуском ракеты космического назначения «Союз-2»: новые подходы к интеграции, интеллектуализации, управлению // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 4. С. 3–54.
14. *Майданович О.В., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Комплексная автоматизация мониторинга состояния космических средств на основе интеллектуальных информационных технологий // Информационные технологии. Приложение. 2011. № S10. 32 с.
15. *Охтилев М.Ю.* Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа: монография. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 1999. 162 с.
16. *Лектауэрс А.И., Охтилев М.Ю., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Чуприков А.Ю., Шмелев В.В.* Анализ перспективных подходов к решению задач комплексного моделирования технологий самоуправляемых вычислений в критических приложениях // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 6(29). с. 144–169.

METHOD OF ORGANIZATION OF FLOW CALCULATIONS IN INTELLECTUAL MONITORING OF THE STATUS OF THE TECHNICAL SYSTEMS STATUS

VALENTIN V. SHMELEV

St. Petersburg, Russia, valja1978@yandex.ru

VLADIMIR V. DEEV

St. Petersburg, Russia

VLADIMIR V. TKACHENKO

St. Petersburg, Russia, vik_hohol@mail.ru

KEYWORDS: theory of computations; functional-logical programming; Stream computing; processing of measurement information; Information Technology; identification and technical diagnostics.

ABSTRACT

The problem of theoretical substantiation of information technology of intellectual monitoring of the state of technical systems is considered. The technology is based on functional-logical programs of stream computing, built on modified Petri networks and G-networks. Streaming computing is understood as the process of processing heterogeneous information (technical, technological) for the purpose of diagnosing the state of complex technical systems with the possibility of parallelization, asynchrony and hierarchy of direct operations over data. The question of organizing the practical application of such programs on electronic computers without regard to their hardware and software is disclosed in the article. A corresponding scheme consisting of seven blocks is proposed. The first four blocks are a comparison of the properties of the controlled process and the variables of the flow calculation program, monitoring and interpretation of the output variables of the program, the formation of control actions for the program, and, fourth, the execution (change of state) of the program. These blocks are an interpretation of the classic stages of identification and technical diagnostics of technical objects in order to determine their technical condition. For these steps, the necessary formal expressions are given. The fifth stage is the formation of a system of indicators of the quality of streaming computing. The sixth stage is a comprehensive assessment of the quality of streaming computing when monitoring the state of a technical system. The content of the fifth and sixth stages is a reflection of the features of the subject area of the controlled processes of the technical system. The last seventh stage is the formation of the structure of information technology of intelligent monitoring based on the flow computing program. Three blocks of such a system are proposed: a single information space for describing controlled processes on the basis of a special poly-model complex, a unified software environment for the

synthesis and execution of special computing programs, and a system for supporting the decision-making by the operator of the monitoring workplace. Theoretical novelty of the material consists in the conceptual interpretation of the tasks of technical diagnostics on a new methodological monitoring tool – functional logic programs of stream computing. Practical significance and relevance is justified by the extreme need to improve technologies for monitoring complex technical systems, for example, in the rocket and space industry.

REFERENCES

1. Belyakov G.P., Anishchenko Yu.A., Safronov M.V. Riski kosmicheskikh proektov. Analiz prichin neudachnykh kosmicheskikh zapuskov [Risks of space projects. Analysis of the causes of unsuccessful space launches]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of Siberian State University of Agriculture]. 2014. No. 5 (57). Pp. 208-215. (In Russian)
2. Safronov M.V., Kharlamov A.D., Belyakov G.P. Analiz neudachnykh kosmicheskikh zapuskov za 2004-2014 gody [Analysis of unsuccessful space launches for 2004-2014 years]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Actual problems of aviation and space science]. 2014. No. 10. Pp. 37-38. (In Russian)
3. Shmelev V.V. Modeli tekhnologicheskikh protsessov funkcionirovaniya kosmicheskikh sredstv [Models of technological processes of functioning of space facilities]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrumentation]. 2015. No. 4. Pp. 78-93. (In Russian)
4. Kolmagorov A.N. K opredeleniyu algoritma [To determine the algorithm]. *Uspekhi matematicheskikh nauk* [Progress in Mathematical Sciences]. 1958. T. XIII. No. 4 (82). Pp. 3-28. (In Russian)
5. Igoshin V.I. *Matematicheskaya logika i teoriya algoritmov*

[Mathematical Logic and Theory of Algorithms]. 2nd ed. Moscow: Akademiya, 2008. 448 p. (In Russian)

6. Latsis A.O. *Parallel'naya obrabotka dannykh* [Parallel processing of data]. Moscow: Academy, 2010. 336 p. (In Russian)

7. Shmelev V.V., Manuylov Yu.S. *Primenenie modifitsirovannykh setey Petri k modelirovaniyu protsessa poslepoletnogo analiza telemetricheskoy informatsii* [Application of modified Petri nets to modeling the post-flight telemetry information process]. *Trudy MAI* [Journal of Proceedings of the MAI]. 2015. No. 6 (84). URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=63140>. (Date of publication 11/27/2015). (In Russian)

8. Peterson J.L. *Petri Net Theory And The Modeling Of Systems*. Prentice-hall, inc., Englewood Cliffs, N.Y., 1981. 290 p.

9. Westergaard M., Kristensen L.M. The Access/CPN Framework: A Tool for Interacting with the CPN Tools Simulator. Proc. of 30th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2009). Lecture Notes in Computer Science 5606. Berlin: Springer-Verlag, 2009. Pp. 313-322.

10. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT)*. 2007. No. 9(3-4). Pp. 213-254.

11. Ratzer A.V., Wells L., Lassen H.M., Laursen M., Qvortrup J.F., Stissing M.S., Westergaard M., Christensen S., Jensen K. CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Nets. Proc. of 24th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2003). Lecture Notes in Computer Science 2679. Berlin: Springer-Verlag, 2003. Pp. 450-462.

12. Zelentsov V.A., Pavlov A.N. Multi-criteria analysis of the effect of individual elements on the operability of a complex system. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information-control systems]. 2010. No. 6 (49). Pp. 7-12. (In Russian)

13. Akhmetov R.N., Akhmetov R.N., Vasiliev I.E., Kapitonov V.A., Okhtilev M. Yu., Sokolov B.V. The concept of the creation and application of advanced ASU for the preparation and launch of the Soyuz-2 space rocket: new approaches to integration, intellectualization, management. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrumentation]. 2015. No. 4. Pp. 3-54. (In Russian)

14. Maidanovich O.V., Maidanovich O.V., Okhtilev M. Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Complex automation of monitoring of the state of space assets on the basis of intelligent information technologies. *Informatsionnye yekhmologii. Prilozhenie*. [Supplement to the Journal of Information Technology]. 2011. No. S10. 32 p. (In Russian)

15. Okhtilev M. Yu. *Osnovy teorii avtomatizirovannogo analiza izmeritel'noy informatsii v real'nom vremeni. Sintez sistemy analiza: monografiya*. [Fundamentals of the theory of automated analysis of measurement information in real time. Synthesis of the analysis system: monograph]. St. Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F.Mozhayskogo, 1999. 162 p. (In Russian)

16. Lektauers A.I., Okhtilev M. Yu., Posturyaev S.A., Sokolov B.V., Chuprikov A. Yu., Shmelev V.V. Analysis of perspective approaches to solving problems of complex modeling of self-controlled computing technologies in critical applications. *Proceedings of SPIIRAN*. 2013. Vol. 6 (29). Pp. 144-169. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Shmelev V.V., PhD, Deputy Head of the Department of the Military Space Academy;

Deev V.V., PhD, Professor, Senior Lecturer, Department of the Military Space Academy;

Tkachenko V.V., PhD, Teacher of the Department of the Military Space Academy.

FOR CITATION: Shmelev V.V., Deev V.V., Tkachenko V.V. Method of organization of flow calculations in intellectual monitoring of the status of the technical systems status. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 24-34. (In Russian)