

## Оценка оперативности подготовки данных управления летательными аппаратами методом технологических участков

© А.Г. Андреев, Г.В. Казаков

ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России,  
г. Королев, Московская обл., 141091, Россия

*Методы решения задачи оценки временных характеристик процесса обработки данных в настоящее время хорошо изучены и базируются на проведении хронометража выполняемых операций, использовании сетевого графа, построения остоного дерева и т. д. Однако при решении некоторых задач автоматизации органов управления могут возникнуть трудности, связанные с моделированием процесса обработки информации и получением адекватных исходных данных для расчета показателя своевременности реализации функций системы. Рассмотрены общие вопросы оценки свойств, определяющих качество данных полета летательных аппаратов, — их реализуемость и своевременность. Для оценки реализуемости данных полета летательных аппаратов предложено использовать новый подход, связанный с моделью «наличие ровно одной ошибки в сформированном объеме данных». Указанная модель применима только в том случае, когда контроль реализуемости проводится для всей совокупности необходимых данных. Для оценки показателя своевременности структуру автоматизированной системы подготовки данных предложено представить в виде последовательности технологических участков. Определив вероятности искажения данных и время выполнения функциональных задач элементами типового участка, можно вычислить аналогичные показатели каждого элементарного процесса, входящего в состав процесса подготовки данных и системы в целом. В качестве примера рассмотрен элементарный процесс подготовки данных, суть которого заключается в актуализации базы данных системы. Этот этап является наиболее представительным, так как в его выполнении задействованы все элементы технологического участка.*

**Ключевые слова:** автоматизированная система, летательный аппарат, подготовка данных, реализуемость, своевременность, технологический участок, элементарный процесс, функциональная задача

**Введение.** Обеспечение своевременности подготовки данных (ПД) полета летательных аппаратов (ЛА) требуемого объема связано с производительностью (оперативностью) средств автоматизированной системы подготовки данных (АСПД) и может быть реализовано несколькими способами.

*Первый способ* — вычисление показателя своевременности ПД путем хронометража выполняемых операций. Очевидно, что это самый простой способ.

*Второй способ* — представление структуры АСПД в виде модели с технологическими участками (ТУ), изложенной в работе [1].

*Третий способ* [2] заключается в использовании хорошо известного сетевого графа  $\Gamma(A, P)$ , где  $A$  — множество событий начальных и конечных точек технологических операций (вершин орграфа);  $P$  — множество направленных дуг орграфа, определяемых связностью вершин графа, на котором выбирается критический путь, определяющий минимально возможное время подготовки требуемого объема данных. Граф  $\Gamma(A, P)$  позволяет оценить количество и качество технологических операций процесса ПД и установить, от каких технологических операций и в какой мере зависит достижение конечной цели — требуемая своевременность ПД ЛА.

Показатель своевременности процесса ПД ЛА определяется результатами анализа орграфа  $\Gamma(A, P)$  [3–5]. На этом графе выбирается критический путь, т. е. полный путь, на котором суммарная продолжительность работ максимальна. Критический путь лимитирует выполнение процесса ПД ЛА, поэтому любая задержка в технологических операциях на критическом пути увеличивает время подготовки данных. Критический путь рассчитывается путем выявления технологических операций, полные резервы времени для которых равны нулю.

С использованием графа  $\Gamma(A, P)$  вычисляются временные оценки технологических операций: математические ожидания времени выполнения  $ij$ -х технологических операций  $M[t_{ij}]$ , среднеквадратические ошибки в определении продолжительности технологических операций  $СКО_{ij}$ , а также вероятностные оценки технологических операций: математическое ожидание  $МО_{ij}$  любой технологической операции, среднеквадратическое отклонение  $СКО_{ij}$  ( $\sigma_{ij}$ ) и вероятность совершения  $j$ -го события в расчетный срок  $P(j)$ . Последняя рассчитывается по формуле

$$P(j) = \Phi \left( \frac{T_3(j) - T_p(j)}{\sqrt{\sum \sigma_{ij}^2}} \right),$$

где  $\Phi$  — функция Лапласа;  $T_3(j)$  — заданный срок завершения  $j$ -го события;  $T_p(j)$  — время раннего завершения  $j$ -го события.

Следующий способ определения минимально возможного времени ПД ЛА требуемого объема основан на построении остовного дерева для связанного взвешенного графа  $\Gamma^*(A, P)$ . Построить остовное

дерево графа  $\Gamma^*(A, P)$  можно с использованием трех алгоритмов: Прима, Крускала и Дейкстры [2, 6, 7].

Рассмотрим порядок разработки алгоритмов вычисления показателя своевременности подготовки реализуемых средствами АСПД данных полета ЛА с использованием модели структуры системы в виде ТУ.

Общая схема процесса функционирования АСПД проста и понятна. Все необходимые исходные данные (ИД) загружаются в базу данных (БД), откуда впоследствии считываются средствами специального программного обеспечения (СПО) ведения базы данных (ВБД), формируются и контролируются на реализуемость СПО формирования и контроля реализуемости данных достижимости (ФДД-КРДД). Если данные полета ЛА подготовлены и проконтролированы с положительным результатом, то они снабжаются признаком реализуемости «норма» и записываются на носитель информации бортовой аппаратуры ЛА.

Если осуществить процесс подготовки данных полета ЛА СПО ФДД-КРДД для начальных данных, выбранных случайным образом из допустимой области  $X_{\text{доп}}$ , можно получить протокол испытаний в виде последовательности нулей и единиц (где  $x_i = 0$  — данные реализуемые;  $x_i = 1$  — данные, нереализуемые из-за наличия алгоритмических и программных ошибок в СПО). Используя этот протокол, получим выражение для оценки надежности СПО ФДД-КРДД:

$$P_{\text{СПО}} = \frac{\sum x_i}{N},$$

где  $N$  — общее число вариантов начальных данных.

Величина  $P_{\text{СПО}}$  относится к качеству СПО ФДД-КРДД. Для того чтобы получить оценку реализуемости данных полета ЛА, необходимо использовать другой подход, связанный с моделью «наличие ровно одной ошибки в сформированном объеме данных».

**Метод оценки показателя реализуемости данных полета летательных аппаратов.** Указанная модель применима только в том случае, если контроль реализуемости проводится при наличии совокупности необходимых данных. Поскольку контролю подвергается весь объем данных для всего множества ЛА, оценка показателя их реализуемости, согласно модели «наличие ровно одной ошибки в сформированном объеме данных», заключается в следующем.

Для максимального числа подготовленных данных полета ( $N_{\text{ДП}}^{\text{max}}$ ), определяется условие (вероятность  $P_{\text{ДП}}^{\text{ош}=1}$ ) наличия ровно одного нереализуемого массива данных:

$$P_{\text{ДП}}^{\text{ош=1}} = \frac{1}{N_{\text{ДП}}^{\text{max}}}.$$

Далее вычисляется требуемое значение показателя реализуемости данных полета ЛА:

$$P_{\text{ДП}}^{\text{тр}} = 1 - \frac{1}{N_{\text{ДП}}^{\text{max}}}.$$

Например, рассмотрим множество из 30 ЛА, каждый из которых осуществляет полет по 100 массивам данных в течение года. Срок службы одного ЛА 30 лет. Таким образом,  $N_{\text{ДП}}^{\text{max}} = 30 \cdot 100 \cdot 30 = 90\,000$ . Вероятность наличия ровно одного нереализуемого массива составит  $P_{\text{ДП}}^{\text{ош=1}} = 10^{-5}$ , а требуемое значение показателя реализуемости данных полета ЛА  $P_{\text{ДП}}^{\text{тр}} = 0,999988$ .

**Метод оценки показателя своевременности подготовки данных полета летательных аппаратов.** В работе [1] показано, что для оценки показателя своевременности подготовки данных полета структуру АСПД удобно изобразить в виде последовательности ТУ (рис. 1).

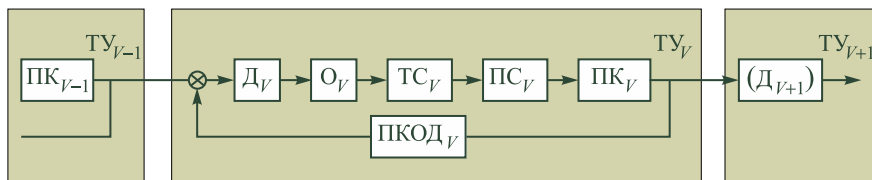


Рис. 1. Структура V-го типового технологического участка

Типовой ТУ включает документалиста (Д), оператора (О), технические (ТС) и программные (ПС) средства, а также процедуру коррекции ошибочных данных (ПКОД), которые были обнаружены процедурой контроля (ПК).

Из технологических участков состоит элементарный процесс подготовки данных (ЭПД), который может быть представлен в виде последовательного во времени соединения ТУ. Определив вероятности искажения данных и время выполнения функциональных задач (ФЗ) элементами ТУ, можно вычислить аналогичные показатели каждого ЭПД, входящего в состав процесса ПД и АСПД в целом (рис. 2).

Время выполнения ФЗ средствами АСПД может увеличивать общее время ПД ЛА на данном ЭПД или не увеличивать за счет

решения своих ФЗ параллельно с другими ФЗ (рис. 3). Технологические участки (или соответствующие ЭПД), выполнение функциональных задач на которых увеличивают время ПД ЛА, размещаются на критическом пути сетевого графика подготовки данных (обозначим их (К) в виде степени).

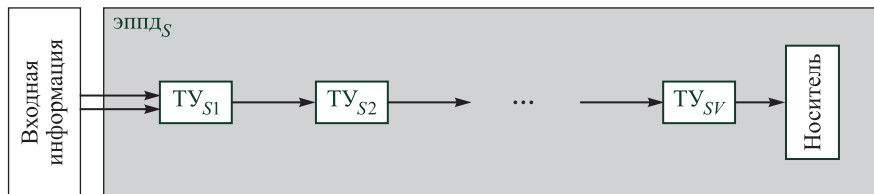


Рис. 2. Структура S-го типового ЭПД

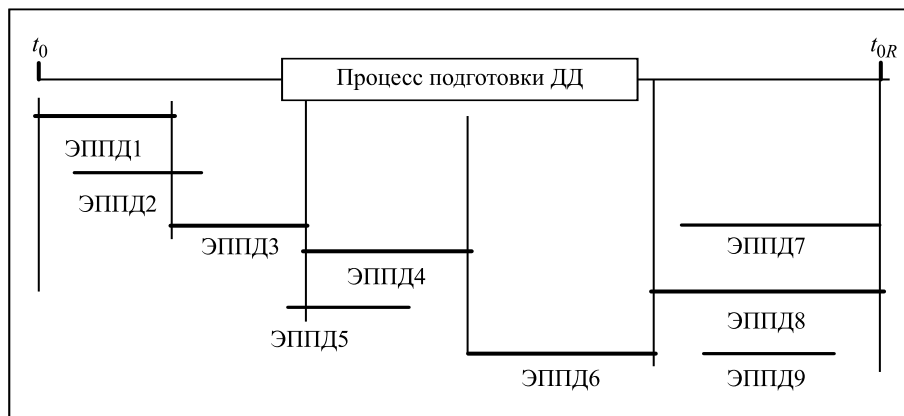


Рис. 3. Представление процесса подготовки данных в виде ЭПД

Интервал времени обработки данных на критическом  $T_{Sk}^{(K)}$  определяется выражением

$$\Delta T_{Sk}^{(K)} = \sum_j \Delta T_{Skj}^{(K)}, \quad (1)$$

где  $j = \overline{1, J}$  — число элементов на критических  $T_{Sk}^{(K)}$ .

Интервал времени обработки данных на критическом ЭПД<sub>S</sub><sup>(K)</sup>

$$\Delta T_S^{(K)} = \sum_k \Delta T_{Sk}^{(K)},$$

где  $\Delta T_{Sk}^{(K)}$  — время обработки данных на  $Sk$ -м критическом ТУ, входящем в состав  $s$ -го критического ЭППД $_S^{(K)}$ ;  $K$  — общее число критических ТУ на  $s$ -м ЭППД $_S^{(K)}$ .

Показатель своевременности АСПД

$$\Delta T_{AC} = t_k - t_0 = \sum_S \Delta T_S^{(K)},$$

где  $\Delta T_S^{(K)}$  — время ПД на ЭППД $_S^{(K)}$ , лежащих на критическом пути;  $t_0$  — время начала процесса подготовки данных;  $t_k$  — время окончания процесса подготовки данных.

Например, на рис. 3 приведено девять ЭППД. Критический путь составляют пять видов ЭППД: ЭППД $_1$ , ЭППД $_3$ , ЭППД $_4$ , ЭППД $_6$  и ЭППД $_8$ . При введении нового обозначения они будут выглядеть таким образом: ЭППД $_1 = \text{ЭППД}_1^{(K)}$ , ЭППД $_3 = \text{ЭППД}_2^{(K)}$ , ЭППД $_4 = \text{ЭППД}_3^{(K)}$ , ЭППД $_6 = \text{ЭППД}_4^{(K)}$ , ЭППД $_8 = \text{ЭППД}_5^{(K)}$ .

Очевидно, что время подготовки данных на ЭППД $_2$ , ЭППД $_5$ , ЭППД $_7$  и ЭППД $_9$  не учитывается в показателе своевременности.

Для данного примера (см. рис. 3) выражение (1) примет вид (через  $\Delta T_j^{(K)}$  обозначено время подготовки данных):

$$\Delta T_{AC} = \Delta T_1^{(K)} + \Delta T_2^{(K)} + \Delta T_3^{(K)} + \Delta T_4^{(K)} + \Delta T_5^{(K)}.$$

При использовании выражения (1) время определяется с использованием модели процесса ПД в виде ТУ и модели расчета показателя своевременности для каждого ЭППД и АСПД в целом.

Время работы каждого из структурных элементов ТУ $_{VS}^j$  ( $j = Д, О, ТС, ПС, ПКОД$ ) определяет длина ТУ:

$$\Delta T_{VS} = \sum_j \Delta T_{VS}^j.$$

В общем случае время процесса ПД ЛА определяется по формуле

$$\Delta T_{AC} = \sum_S \Delta T_S^{(K)} + \max_{n=1}^N \sum \Delta T_n,$$

где  $\Delta T_S^{(K)}$  — время ПД ЛА на ЭППД<sub>S</sub>, лежащих на критическом пути сетевого графика;  $\Delta T_n$  — время ПД ЛА на ЭППД в одном интервале времени.

Если выполняется неравенство

$$\Delta T_{AC} \leq \Delta T_{AC}^{TP},$$

где  $\Delta T_{AC}^{TP}$  — заданное время ПД ЛА требуемого объема, то подготовленные данные обладают свойством своевременности.

**Пример оценки показателя своевременности данных полета летательных аппаратов.** Представим процесс загрузки (актуализации) БД АСПД в виде ТУ (рис. 4), через ТУ<sub>СК</sub> обозначим ТУ семантического контроля данных.

Процесс загрузки БД начинается с преобразования документалистом первичных документов (ПДк) в форму унифицированной системы документов (УСД) и осуществления им визуального контроля (ВК) правильности произведенного преобразования. Оператор преобразует переданные ему данные в форме УСД в шаблоны БД (ШБД) и осуществляет визуальный контроль правильности произведенного им преобразования. С использованием ПС ВБД данные загружаются в БД.

Процесс актуализации БД АСПД можно изобразить в виде одного ЭППД1, который включает выпуск двух документов:

- 1) документа 1, содержащего сведения о пунктах отправления ЛА и характеристики ЛА;
- 2) документа 2, содержащего сведения о плане полета ЛА.

Для расчета показателя своевременности процесса ПД необходимы следующие исходные данные:

1) объем обрабатываемой информации в символах (примем условное обозначение **смв**): УСД ( $U_{УСД} = 1500$  смв), ШБД ( $U_{ШБД} = 1500$  смв), магнитного носителя (МН) с информацией плана полетов ( $U_{МН} = 150\,000$  смв), документа 1 ( $U_{ДОК1} = 1500$  смв) и документа 2 ( $U_{ДОК2} = 150\,000$  смв);

2) скорость обработки информации: набора текста оператором ( $V_{НТ} = 0,5 \frac{\text{смв}}{\text{с}}$ ), однократного ВК информации одним оператором ( $V_{ВК1} = 0,25 \frac{\text{смв}}{\text{с}}$ ), однократного ВК информации двумя операторами ( $V_{ВК2} = 0,5 \frac{\text{смв}}{\text{с}}$ ), обработки данных СПО ФДД-КРДД ( $V_{ФДД-КРДД} =$

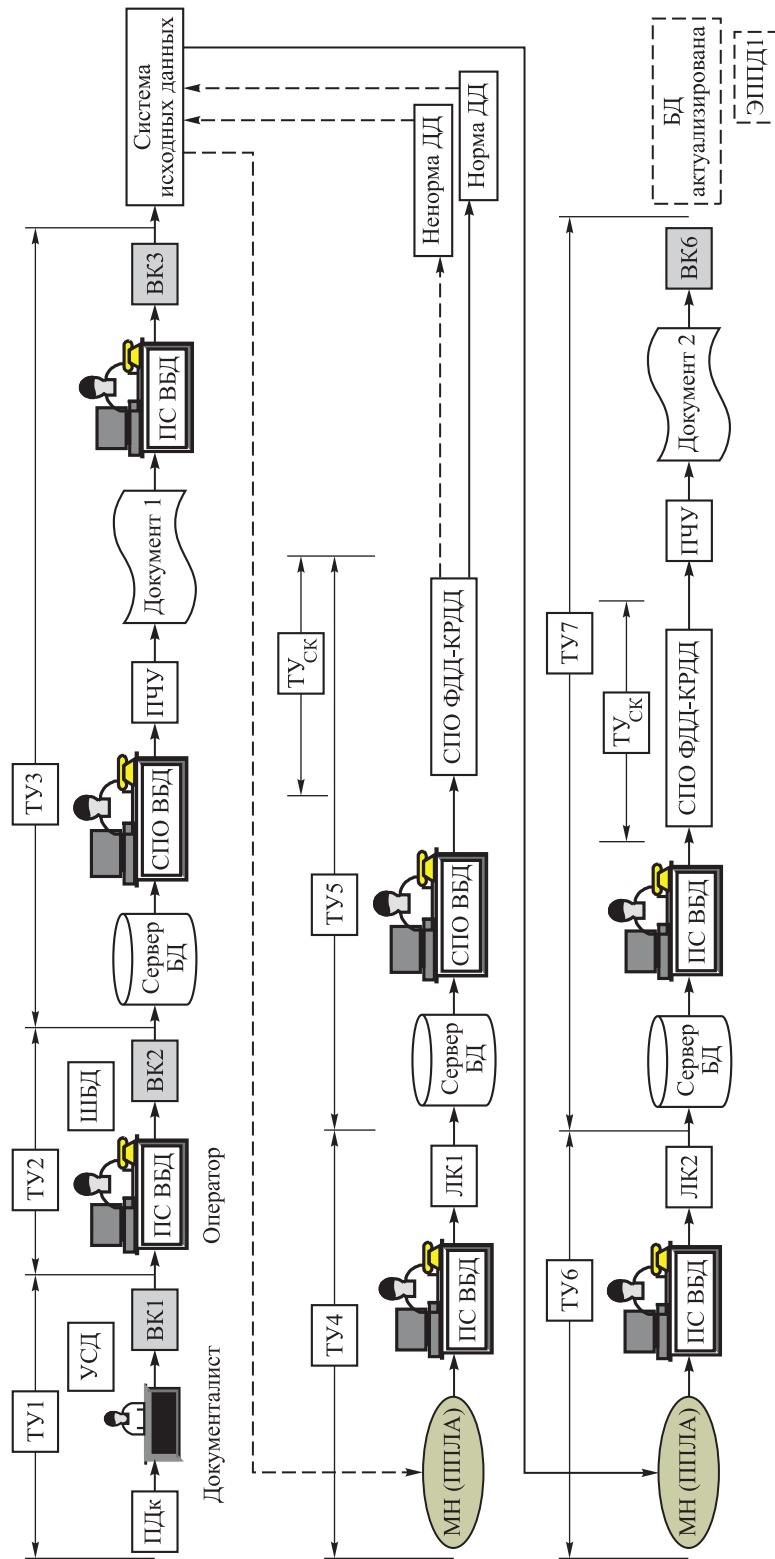


Рис. 4. Процесс актуализации базы данных АСПД



$= 10^6 \frac{\text{СМВ}}{\text{с}}$ ), обработки данных СПО ВБД ( $V_{\text{ВБД}} = 10^6 \frac{\text{СМВ}}{\text{с}}$ ), печати выходных документов ( $V_{\text{ПЕЧ}} = 0,5 \frac{\text{ЛИСТ}}{\text{с}}$ ) [8–10];

3) вероятность внесения ошибок в данные: документалистом  $P_{\text{ош}}^{\text{Д}} = 0,006$ ; оператором  $P_{\text{ош}}^{\text{О}} = 0,02$ ;

4) вероятность обнаружения ошибок, допущенных оператором при ВК: одним оператором  $P_{\text{ВК1}} = 0,1$ , двумя операторами  $P_{\text{ВК2}} = 0,2$  [8–10];

5) возможное число листов, закладываемых в печатающее устройство (ПЧУ) ( $U_{\text{ВОЛ}} = 100$ ).

**Оценка времени выполнения операций на ТУ1.** Выходной информацией ТУ1 являются данные ПДк, приведенные к форме УСД, с объемом данных  $U_{\text{УСД}}$ .

Время выполнения операций на ТУ1 ( $T_1$ ) складывается из времени набора текста ( $t_1$ ) и времени его ВК двумя операторами ( $t_2$ ).

*Шаг 1.* Определяется время набора текста:

$$t_1 = \frac{U_{\text{УСД}}}{V_{\text{НТ}}} = \frac{1500}{0,5} = 3000 \text{ с.}$$

*Шаг 2.* Рассчитывается требуемая кратность визуального контроля:

$$n = E \left\{ \text{abs} \left[ \frac{-[\ln U_{\text{УСД}} + \ln P_{\text{ош}}^{\text{Д}}]}{\ln P_{\text{ВК2}}} \right] + 0,5 \right\}, \quad (2)$$

где  $E\{x\}$  — операция округления в бóльшую сторону, поскольку кратность контроля — целое число.

Таким образом, подставляя в формулу (2) исходные данные, получаем  $n = 2$ , т. е. на выходе ТУ1 должен использоваться двухкратный визуальный контроль форм УСД.

*Шаг 3.* Вычисляется время визуального контроля перевода информации ПДк в УСД:

$$t_2 = \frac{U_{\text{УСД}}}{V_{\text{ВК2}}} n = \frac{1500}{0,5} \cdot 2 = 6000 \text{ с.}$$

*Шаг 4.* Определяется общее время выполнения операций на ТУ1:

$$T_1 = t_1 + t_2 = 9000 \text{ с.}$$

**Оценка времени выполнения операций на ТУ2.** Выходной информацией ТУ2 являются данные УСД, приведенные к форме ШБД с объемом данных  $U_{\text{ШБД}}$ .

Время выполнения операций на ТУ2 ( $T_2$ ) складывается из времени набора текста ( $t_3$ ), времени его ВК двумя операторами ( $t_4$ ) и времени работы СПО ВБД ( $t_5$ ).

*Шаг 1.* Определяется время набора текста:

$$t_3 = \frac{U_{\text{ШБД}}}{V_{\text{НТ}}} = \frac{1500}{0,5} = 3000 \text{ с.}$$

*Шаг 2.* Вычисляется время работы СПО ВБД:

$$t_4 = \frac{U_{\text{ШБД}}}{V_{\text{ВБД}}} = \frac{1500}{10^6} = 0,0015 \text{ с.}$$

*Шаг 3.* Рассчитывается требуемая кратность визуального контроля по формуле (2):  $n = 3$ .

*Шаг 4.* Вычисляется время визуального контроля перевода информации УСД в ШБД:

$$t_5 = \frac{U_{\text{ШБД}}}{V_{\text{ВК2}}} n = \frac{1500}{0,5} \cdot 3 = 9000 \text{ с.}$$

*Шаг 5.* Устанавливается общее время выполнения операций на ТУ2:

$$T_2 = t_3 + t_4 + t_5 \approx 12\,000 \text{ с.}$$

**Оценка времени выполнения операций на ТУ3.** Выходной информацией ТУ3 являются данные документа 1 с объемом данных  $U_{\text{ДОК1}}$ , размещенных на 30 листах ( $U_{\text{ВОЛ1}} = 30$ ).

Время выполнения операций на ТУ3 ( $T_3$ ) складывается из времени формирования документа 1 ( $t_6$ ), закладки листов бумаги в ПЧУ ( $t_7$ ), печати документа 1 ( $t_8$ ) и времени его ВК двумя операторами ( $t_9$ ).

*Шаг 1.* Вычисляется время формирования документа 1:

$$t_6 = \frac{U_{\text{ДОК1}}}{V_{\text{ВБД}}} = \frac{1500}{10^6} = 0,0015 \text{ с.}$$

*Шаг 2.* Определяется время закладки листов бумаги в ПЧУ и печати документа 1.

Оно объединяет время включения печатающего устройства и время, затрачиваемое на закладку возможного числа листов в печат-

тающее устройство ( $T_{\text{ВОЛ}} = 60$  с). Следовательно, время закладки бумаги

$$t_7 = \begin{cases} T_{\text{ВОЛ}} \left[ \frac{U_{\text{ВОЛ1}}}{U_{\text{ВОЛ}}} \right] & \text{при } U_{\text{ВОЛ1}} \geq U_{\text{ВОЛ}}; \\ T_{\text{ВОЛ}} & \text{при } U_{\text{ВОЛ1}} < U_{\text{ВОЛ}}. \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом,  $t_7 = 60$  с.

Время печати документа 1

$$t_8 = \frac{U_{\text{ВОЛ1}}}{V_{\text{ПЕЧ}}} = \frac{30}{0,5} = 60 \text{ с.}$$

*Шаг 3.* Определяется требуемая кратность визуального контроля по формуле (2):  $n = 2$ .

*Шаг 4.* Вычисляется время визуального контроля документа 1 двумя операторами:

$$t_9 = \frac{U_{\text{ДОК1}}}{V_{\text{ВК2}}} n = \frac{1500}{0,5} \cdot 2 = 6000 \text{ с.}$$

*Шаг 5.* Вычисляется общее время выполнения операций на ТУ3:

$$T_3 = t_6 + t_7 + t_8 + t_9 = 6120 \text{ с.}$$

**Оценка времени выполнения операций на ТУ4, ТУ5 и ТУ6.** Для существующей схемы процесса подготовки данных (см. рис. 4) по формальным признакам выделены технологические участки ТУ4, ТУ5 и ТУ6.

Однако ТУ4 и ТУ6 содержат только процедуру логического контроля, которая исключает лишь грубые ошибки, пропуская остальные.

На ТУ6 не предусмотрен контроль достоверности данных, только на ТУ7 осуществляется визуальный контроль достоверности подготовленных данных. При этом не исключена ситуация, когда синтаксическая ошибка может привести к значительным негативным последствиям. Например, искажение номера пункта прибытия может привести ЛА к другому пункту, до которого он может и не долететь, хотя СПО ФДД-КРДД выдаст признак «норма». В связи с изложенным целесообразно все указанные ТУ считать в качестве одного ТУ — ТУ7\*.

**Оценка времени выполнения операций на ТУ7\*.** Выходной информацией ТУ7\* являются данные документа 2 с объемом данных  $U_{\text{ДОК2}}$ , размещенных на 90 листах ( $U_{\text{ВОЛ2}} = 90$ ).

Время выполнения операций на ТУ7\* ( $T_4$ ) складывается из времени загрузки плана полетов ЛА в БД до утверждения плана ( $t_{10}$ );

времени загрузки плана полетов ЛА в БД после утверждения плана ( $t_{12}$ ); времени формирования и контроля ДД до утверждения плана ( $t_{11}$ ); времени формирования и контроля ДД после утверждения плана ( $t_{13}$ ); времени закладки листов бумаги в ПЧУ ( $t_{14}$ ); времени печати документа 2 ( $t_{15}$ ) и времени его ВК двумя операторами ( $t_{16}$ ).

*Шаг 1.* Вычисляется время загрузки информации плана полетов ЛА в БД до и после утверждения плана:

$$t_{10} = t_{12} = \frac{U_{\text{МН}}}{V_{\text{БД}}} = \frac{150000}{10^6} = 0,15 \text{ с.}$$

*Шаг 2.* Рассчитывается время формирования и контроля ДД до и после утверждения плана:

$$t_{11} = t_{13} = \frac{U_{\text{МН}}}{V_{\text{ФДД-КРДД}}} = \frac{150000}{10^6} = 0,15 \text{ с.}$$

*Шаг 3.* Определяется время на закладку листов бумаги в ПЧУ и печать документа 2 по формуле (3).

Таким образом,  $t_{14} = 60 \text{ с.}$

*Шаг 4.* Рассчитывается время печати документа 2:

$$t_{15} = \frac{U_{\text{ВОЛ2}}}{V_{\text{ПЕЧ}}} = \frac{90}{0,5} = 180 \text{ с.}$$

*Шаг 5.* Вычисляется требуемая кратность визуального контроля по формуле (2):  $n = 5$ .

*Шаг 6.* Определяется время визуального контроля документа 2:

$$t_{16} = \frac{U_{\text{ДОК2}}}{V_{\text{ВК2}}} n = \frac{150\,000}{0,5} \cdot 5 = 1\,500\,000 \text{ с.}$$

*Шаг 7.* Рассчитывается общее время выполнения операций на ТУ7\*:

$$T_4 = t_{10} + t_{11} + t_{12} + t_{13} + t_{14} + t_{15} + t_{16} = 1\,500\,240,6 \text{ с.}$$

**Оценка общего времени выполнения операций.** Общее время выполнения операций на ЭППД1 устанавливаются по формуле

$$\Delta T_{\text{АС}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 1\,527\,360,6 \text{ с} \approx 424 \text{ ч.}$$

Выше был приведен пример оценки своевременности подготовки данных с применением визуального контроля двумя операторами. При использовании ВК одним оператором получим

$$T_1 = 15\,000 \text{ с, } T_2 = 15\,000 \text{ с, } T_3 = 12\,120 \text{ с, } T_4 = 2\,400\,240,6 \text{ с,} \\ \Delta T_{\text{АС}} = 2\,442\,360,6 \text{ с} \approx 678 \text{ ч.}$$

**Заключение.** Рассмотрены новые методы оценки реализуемости и своевременности подготовки данных полета летательных аппаратов. Для оценки реализуемости данных предложено использовать модель «наличие ровно одной ошибки в сформированном объеме данных». Основу метода оценки своевременности составляет преобразование процесса подготовки данных в виде последовательного соединения технологических участков во времени. Метод позволяет получить адекватные исходные данные, вычислить значения показателя своевременности на каждом ТУ и оценить правильность предлагаемых проектных решений при разработке системы. Метод проиллюстрирован конкретным примером.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Методы оценки показателя информационной устойчивости автоматизированной системы управления полетами космических аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2016-06-1505
- [2] Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. *Алгоритмы. Построение и анализ*. Москва, Издательский дом «Вильямс», 2013, 1328 с.
- [3] Харари Ф. *Теория графов*. Москва, Едиториал УРСС, 2003, 296 с.
- [4] Кохов В.В. *Модели, методы и программные средства анализа сходства орграфов и их применение при исследовании темпоральных орграфов*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2016.
- [5] Грибова В.В., Клещев А.С., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А. Модель порождения орграфов информации по орграфу метаинформации для двухуровневой модели сложноструктурированных информационных единиц. *Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы*, 2015, № 12, с. 26–38.
- [6] Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. *Структуры данных и алгоритмы*. Москва, Издательский дом «Вильямс», 2010, 384 с.
- [7] Клейнберг Дж., Тардос Е. *Алгоритмы: разработка и применение. Классика Computers Science*. Санкт-Петербург, Питер, 2016, 800 с.
- [8] Пивоваров А.Н. *Методы обеспечения достоверности информации в АСУ: Обзор методов и фактические данные*. Москва, Радио и связь, 1982, 144 с.
- [9] Синавина В.С. *Оценка эффективности и достоверности хозяйственной деятельности*. Москва, Экономика, 1991, 252 с.
- [10] Синавина В.С. *Оценка качества функционирования АСУ: Исследование достоверности обработки информации*. Москва, Экономика, 1973, 192 с.

Статья поступила в редакцию 28.02.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Андреев А.Г., Казаков Г.В. Оценка оперативности подготовки данных управления летательными аппаратами методом технологических участков. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 5.  
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-5-1880>

**Андреев Анатолий Георгиевич** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Министерства обороны России. Автор более 70 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: kgv.64@mail.ru

**Казаков Геннадий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, начальник управления ФГБУ «4 ЦНИИ» Министерства обороны России. Автор более 70 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: kgv.64@mail.ru  
SPIN-code: 8553-9753

## **Assessment of the efficiency of aircraft control data preparation by the method of technological sites**

© A.G. Andreev, G.V. Kazakov

Federal State Budgetary Institution, The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation,  
Korolev town, Moscow region, 141091, Russia

*Nowadays methods for solving the problem of estimating the temporal characteristics of data processing are well studied and based on the timing performed operations, the use of the network graph, the construction of the spanning tree, etc. However, in solving some problems of automating controls, there may be difficulties associated with modeling the information processing and obtaining adequate input data for calculating the indicator of the timeliness of the system function implementation. The article considers general issues of assessing the properties determining the quality of aircraft flight data, its feasibility and timeliness. A new approach associated with the model "the presence of exactly one error in the generated data volume" is proposed for assessing the feasibility of aircraft flight data. This model is applicable only in the case when the control of feasibility is carried out for the entire set of necessary data. For timeliness index assessment, it is proposed to present the structure of the automated data preparation system in the form of a sequence of technological sites. Having determined the execution time of functional tasks by elements of a typical site and probabilities of data distortion, it is possible to calculate similar indicators for each elementary process included in the data preparation process and the system as a whole. An elementary data preparation process, the essence of which is to update the system database is considered as an example. This stage is the most representative, since all elements of the technological site are involved in its implementation.*

**Keywords:** *automated system, aircraft, data preparation, feasibility, timeliness, technological site, elementary process, functional task*

### REFERENCES

- [1] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, iss. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2016-06-1505
- [2] Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. *Introduction to algorithms*. MIT Press Publ., 2009. [In Russ.: Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. *Algoritmy. Postroenie i analiz*. Moscow, Williams Publ., 2013, 1328 p.]
- [3] Harary F. *Graph Theory*. Reading, MA, Addison-Wesley Publ., 1969 [In Russ.: Harary F. *Teoriya grafov*. Moscow, Editorial URSS, 2003, 296 p.]
- [4] Kokhov V.V. *Modeli, metody i pogrammnnye sredstva analiza skhodstva oragrafov i ikh pimenenie pri issledovanii temporalnykh grafov*. Dis. kand. tekhn. nauk [Models, methods and software for analyzing the similarity of digraphs and their use in the study of temporal digraphs. Cand. eng. sc. diss.]. Moscow, 2016.
- [5] Gribova V.V., Kleshchev A.S., Moskalenko F.M., Timchenko V.A. *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Ser. 2. Informatsionnye protsessy i sistemy (Scientific and technical information. Series 2: Information processes and systems)*, 2015, no. 12, pp. 26–38.
- [6] Aho A.V., Hopcroft J.E., Ullman J.D. *Data Structures and Algorithms*. Amsterdam. Addison-Wesley Publ., 1983, 436 p. [In Russ.: Aho A.V., Hopcroft J.E., Ullman J.D. *Struktury dannykh i algoritmy*. Moscow, Wilyams Publ., 2016, 400 p.]

- [7] Kleinberg J., Tardos E. *Algorithm Design* [In Russ.: Kleinberg J., Tardos E. Algoritmy: razrabotka i primenenie. Klassika Computers Science. St. Petersburg, Piter Publ., 2016, 800 p.].
- [8] Pivovarov A.N. *Metody obespecheniya dostovernosti informatsii v ASU: Obzor metodov i fakticheskie dannye* [Methods to ensure the accuracy of information in the ACS: Overview of methods and factual data]. Moscow, Radio and svyaz Publ., 1982, 144 p.
- [9] Sinavina V.S. *Otsenka effektivnosti i dostovernosti khozyaystvennoy deyatel'nosti* [Assessment of effectiveness and reliability of economic activity]. Moscow, Economics, 1991, 252 p.
- [10] Sinavina V.S. *Otsenka kachestva funktsionirovaniya ASU: Issledovanie dostovernosti obrabotki informatsii* [Assessment of the quality of ACS functioning: A study of the reliability of information processing]. Moscow, Economics, 1973, 192 p.

**Andreev A.G.** (b. 1941), Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Scientist, Federal State Budgetary Institution, The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Author of over 70 research publications in the field of automated control system reliability. e-mail: kgv.64@mail.ru

**Kazakov G.V.** (b. 1964), Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor, Head of the Federal State Budgetary Institution, The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, honorary worker of science and technology of the Russian Federation. Author of over 70 research publications in the field of automated control system reliability. e-mail: kgv.64@mail.ru  
SPIN-code: 8553-9753