

## II. 5 Модель процессов анализа объектов (информации, образцов, событий и др.)

Модель процессов анализа каких-либо объектов (например, информации, образцов материала, событий, результатов работы и др.) поясним на примере информационной системы (ИС). То есть в качестве анализируемых объектов выступает информация.

Модель может использоваться для оценки безошибочности информации в результате контроля и для оценки корректности информации в результате ее обработки.

**Определение 1.** Информация считается безошибочной в результате контроля, если в процессе контроля до истечения заданного срока контроля все наличествующие ошибки выявлены (и, соответственно, исправлены) и новые ошибки не внесены.

**Определение 2.** Информация считается корректно обработанной, если в процессе ее анализа до истечения заданного срока обработки все принципиальные моменты учтены и алгоритмические ошибки не допущены.

Поскольку содержание модели для оценки корректности информации в результате ее обработки отличается лишь формулировкой исходных данных, приведенных в разделе 3, то ниже ограничимся изложением содержания модели в приложении к контролю информации. Суть формализации отражена на рис. II.5.1:

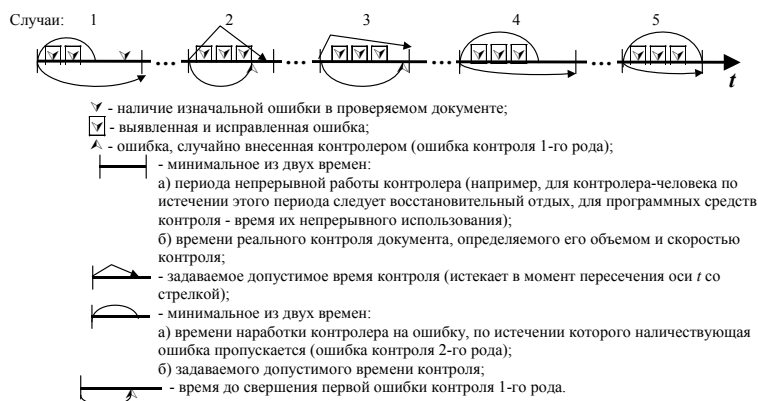


Рис. II.5. Иллюстрация формальных процессов контроля безошибочности информации (фрагмент)

Случаи 1, 2, 3 характеризуют наличие ошибок после контроля, для случаев 4, 5 безошибочность после контроля обеспечена.

Случай 1 – наработка на ошибку или допустимое время контроля истекли раньше, чем закончился проверяемый документ, и после этого осталась хотя бы одна наличествующая ошибка. Ошибки контроля 1-го рода при этом не допускались.

Случай 2 – допустимое время контроля истекло раньше, чем закончился проверяемый документ, однако в непроверенной части ошибок не осталось. Вместе с тем, во время работы были допущены ошибки контроля 1-го рода.

Случай 3 – допустимое время контроля не истекло раньше, чем закончился проверяемый документ, вследствие чего все изначальные ошибки выявлены и исправлены. Вместе с тем, во время работы были допущены ошибки контроля 1-го рода.

Случаи 4 и 5 – все ошибки выявлены и исправлены и новые не внесены. При этом случай 4 аналогичен случаю 2, а случай 5 – случаю 3 с тем отличием, что ошибки 1-го рода не были допущены.

Вероятность изначального отсутствия ошибок в информации объема  $V$  без контроля:

$$P_{\text{без контроля}} = e^{-\mu V}$$

Возможны 4 варианта соотношений между временем реального контроля всего объема документа ( $T_{\text{реальн.}} = V/v$ ), задаваемым допустимым временем контроля ( $T_{\text{зад.}}$ ) и непрерывным временем работы контролера ( $T_{\text{непр.}}$ ) – см. рис. II.5.2:

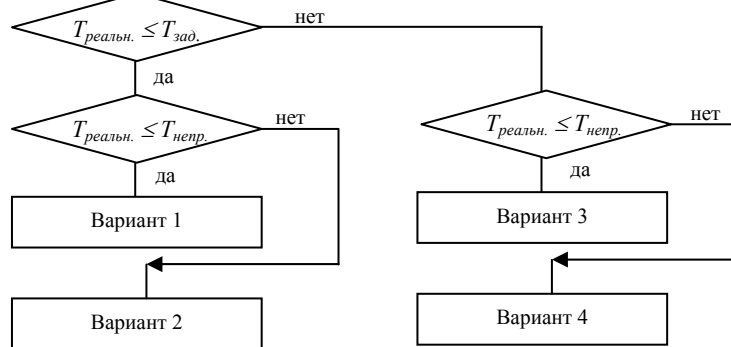


Рис. II.5.2 Возможные соотношения задаваемых условий контроля информации

**Вариант 1.** Задаваемое допустимое время контроля не меньше, чем время реального контроля (т.е.  $T_{\text{реальн.}} \leq T_{\text{зад.}}$ ), а объем проверяемой информации достаточно мал, что позволяет проверить его за один период непрерывной работы контролера ( $T_{\text{реальн.}} \leq T_{\text{непр.}}$ ).

Для оценки эффективности контроля информации предлагается следующее утверждение II.5.1.

**Утверждение II.5.1.** При условии существования стационарных распределений ошибок в проверяемой информации, времени до совершения ошибки контроля 1-го рода, времени наработки контролера на ошибку (2-го рода) вероятность  $P_{\text{после(1)}}(V, \mu, \nu, n, T_{\text{нар.}}, T_{\text{непр.}}, T_{\text{зад.}})$  отсутствия ошибок в информации после контроля для варианта 1 равна:

$$P_{\text{после(1)}}(V, \mu, \nu, n, T_{\text{нар.}}, T_{\text{непр.}}, T_{\text{зад.}}) = \left[ 1 - \hat{N}(V/\nu) \right] \int_0^{V/\nu} dA(\tau) [1 - M(V/\nu - \tau)] + \int_{V/\nu}^{\infty} dA(t) \quad (\text{II.5.1})$$

Где  $N(t)$  — ФР времени до совершения ошибки контроля 1-го рода,  $\eta$  – частота ошибок контроля 1-го рода;  $N(t) = 1 - \exp(-t \cdot \eta)$ ;

$M(t)$  — ФР времени между соседними изначальными ошибками в проверяемом документе при скорости контроля  $\nu$ ;  $M(t) = 1 - \exp(-t \cdot \mu \cdot \nu)$ ;

$A(t)$  — ФР времени наработки контролера на ошибку (2-го рода),  $T_{\text{нар.}}$  – среднее время наработки на ошибку;  $A(t) = 1 - \exp(-t/T_{\text{нар.}})$ ;

$V$  – объем контролируемой информации;  
 $\mu$  – доля первоначальных ошибок в информации до контроля;  
 $\nu$  – скорость контроля информации;  
 $T_{непр.}$  – период непрерывной работы контролера;  
 $T_{зад.}$  – задаваемое допустимое время контроля информации.  
 $V, \nu, T_{непр.}, T_{зад.}$  – являются постоянными величинами.

**Доказательство.** Ошибок в информации в результате ее контроля не будет, если за время  $T_{реальн.}$  не произойдет ошибок 1-го рода (вероятность чего  $[1 - \hat{N}(V/\nu)]$ ) и либо до завершения контроля всего документа контролер не совершит ни одной ошибки 2-го

рода (вероятность чего  $\int_0^{V/\nu} dA(t)$ ), либо время его наработки на ошибку закончится до завершения контроля документа, но в

оставшемся непроверенном объеме информации не окажется больше ошибок (вероятность этого  $\int_0^{V/\nu} dA(\tau)[1 - M(V/\nu - \tau)]$ ). С

учетом независимости получаем выражение (П.5.1), сформулированное в утверждении П.5.1.

Для варианта 1 доля ошибок после контроля равна:

$$\mu_{после} = \mu \cdot (1 - P_{после(1)}).$$

*Доказательство утверждения П.5.1 завершено.*

**Вариант 2. Утверждение П.5.2.** При выполнении условий Утверждения П.5.1 и независимости периодов непрерывной работы контролера вероятность отсутствия ошибок в информации после контроля для варианта 2:

$$P_{после(2)} = \{P_{после(1)}(V_{части(2)}, \mu, \nu, n, T_{нар.}, T_{непр.}, \tau_{части(2)})\}^N, \quad (П.5.2)$$

где  $N = V/(\nu T_{непр.})$ ,  $V_{части(2)} = V/N$ ,  $\tau_{части(2)} = T_{зад.}/N$ .

**Доказательство.** Задаваемое допустимое время контроля не меньше, чем время реального контроля (т.е.  $T_{реальн.} \leq T_{зад.}$ ), но объем проверяемой информации относительно большей ( $T_{реальн.} > T_{непр.}$ ). Это требует нескольких ( $N$ ) периодов непрерывной работы контролера, в общем случае  $N = V/(\nu T_{непр.})$ . Внутри каждого периода проверяется часть всего объема, равная в среднем  $V_{части(2)} = V/N$ , а допустимое время контроля информации для этой части полагается равным  $\tau_{части(2)} = T_{зад.}/N$ . Тогда для каждой проверяемой части информации выполняются условия варианта 1. Частная вероятность отсутствия ошибок  $P_{после\ части.}$  и соответственно, доля  $\mu_{после\ части.}$  оставшихся ошибок после контроля внутри одного периода

$$P_{после\ части.} = P_{после(1)}(V_{части(2)}, \mu, \nu, n, T_{нар.}, T_{непр.}, \tau_{части(2)}), \mu_{после\ части.} = \mu \cdot (1 - P_{после(1)}).$$

С учетом независимости периодов работы  $P_{после(2)} = P_{после\ части.}^N$ .

В свою очередь, доля ошибок после контроля для варианта 2 равна  $\mu_{после} = \mu \cdot (1 - P_{после(2)})$ .

*Доказательство утверждения П.5.2 завершено.*

**Вариант 3. Утверждение П.5.3.** При выполнении условий Утверждения П.5.1 вероятность отсутствия ошибок в информации полного объема после контроля для варианта 3:

$$P_{после(3)} = (V_{части(3)}/V) \cdot P_{после(1)}(V_{части(3)}, \mu, \nu, n, T_{нар.}, T_{непр.}, T_{зад.}) + [(V - V_{части(3)})/V] \cdot P_{без\ контроля}, \quad (П.5.3)$$

где  $V_{части(3)} = \nu T_{зад.}$ .

**Доказательство.** Задаваемое допустимое время контроля меньше, чем время реального контроля ( $T_{реальн.} > T_{зад.}$ ), т.е. объективно по принятым критериям безошибочности может быть проверена лишь часть от всего объема информации, равная объему  $V_{части(3)} = \nu T_{зад.}$ . В свою очередь, сам объем проверяемой информации относительно мал и может быть проверен за один период непрерывной работы контролера, т.е.  $T_{реальн.} \leq T_{непр.}$  и для объема  $V_{части(3)}$  выполняются условия варианта 1. Применяя утверждение П.5.1 к объему  $V_{части(3)}$ , получаем (П.5.3). Здесь первое слагаемое характеризует безошибочность проверенной информации, ее относительная часть  $V_{части(3)}/V$ . Второе слагаемое – это вероятность отсутствия ошибок в непроверенной части, относительная часть которой равна  $(V - V_{части(3)})/V$ .

Доля оставшихся ошибок после контроля  $\mu_{после} = \mu \cdot (1 - P_{после(3)})$ ,

в свою очередь  $P_{без\ контроля} = e^{-\mu(V - V_{части(3)})}$ .

Вероятность отсутствия ошибок  $P_{после\ части.}$  и соответственно, доля  $\mu_{после\ части.}$  оставшихся ошибок после контроля внутри одного периода

$$P_{после\ части.} = P_{после(1)}(V_{части(3)}, \mu, \nu, n, T_{нар.}, T_{непр.}, T_{зад.}), \mu_{после\ части.} = \mu \cdot (1 - P_{после(1)}).$$

*Доказательство утверждения П.5.3 полностью завершено.*

**Вариант 4. Утверждение П.5.4.** При выполнении условий утверждения П.5.1 и независимости периодов непрерывной работы контролера вероятность отсутствия ошибок в информации после контроля для варианта 4:

$$P_{после(4)} = \begin{cases} [V_{части(4)}/V] \cdot P_{после(1)}(V_{части(4)}, \mu, \nu, n, T_{нар.}, T_{непр.}, T_{зад.}) + \\ + [(V - V_{части(4)})/V] \cdot e^{-\mu(V - V_{части(4)})}, \text{ если } T_{зад.} \leq T_{непр.}; \\ [V_{части(4)}/V] \cdot \{P_{после(1)}(V_{части(4.2)}, \mu, \nu, n, T_{нар.}, T_{непр.}, \tau_{части(4.2)})\}^N + \\ + [(V - V_{части(4)})/V] \cdot e^{-\mu(V - V_{части(4)})}, \text{ если } T_{зад.} > T_{непр.} \end{cases} \quad (П.5.4)$$

где  $V_{части(4)} = \nu T_{зад.}$ ,  $V_{части(4.2)} = V_{части(4)}/N$ ,  $\tau_{части(4.2)} = T_{зад.}/N$ .

**Доказательство.** Задаваемое допустимое время контроля меньше, чем время реального контроля ( $T_{реальн.} > T_{зад.}$ ), но  $T_{реальн.} > T_{непр.}$ . Таким образом, аналогично варианту 3 реально может быть проверена лишь часть от всего объема, равная  $V_{части(4)} = \nu T_{зад.}$ . Относительно этой части возможны два подварианта:

подвариант 4.1:  $T_{зад.} \leq T_{непр.}$ , т.е. длительность проверки не превысит одного периода непрерывной работы контролера;

подвариант 4.2:  $T_{зад.} > T_{непр.}$ , т.е. потребуются несколько периодов, в общем случае  $N = V_{части(4)} / (\nu T_{непр.})$ , и внутри каждого периода проверяется лишь порция информации объемом  $V_{части(4)}/N$ .

Для подварианта 4.1 вероятность отсутствия ошибок в информации после контроля:

$$P_{после(4.1)} = [V_{части(4)}/V] \cdot P_{после(1)}(V_{части(4)}, \mu, \nu, n, T_{нар.}, T_{непр.}, T_{зад.}) + [(V - V_{части(4)})/V] \cdot e^{-\mu(V - V_{части(4)})},$$

а доля оставшихся ошибок  $\mu_{после} = \mu \cdot (1 - P_{после(4.1)})$ .

Для подварианта 4.1 частная вероятность отсутствия ошибок  $P_{после\ части.}$  и соответственно, доля  $\mu_{после\ части.}$  оставшихся ошибок после контроля внутри одного периода

$$P_{после\ части.} = P_{после(1)}(V_{части(4.1)}, \mu, \nu, n, T_{нар.}, T_{непр.}, T_{зад.}), \mu_{после\ части.} = \mu \cdot (1 - P_{после(1)}).$$

Для подварианта 4.2 внутри каждого периода проверяется следующая порция информации, объемом равная в среднем  $V_{\text{части}(4.2)} = V_{\text{части}(4)}/N$ , и допустимое время контроля для этой новой части полагается равным  $\tau_{\text{части}(4.2)} = T_{\text{зад}}/N$ . С учетом независимости периодов работы вероятность отсутствия ошибок в информации после контроля равна:

$$P_{\text{после}(4.2)} = [V_{\text{части}(4)}/V] \cdot \{P_{\text{после}(1)}(V_{\text{части}(4.2)}, \mu, \nu, n, T_{\text{нар}}, T_{\text{непр}}, \tau_{\text{части}(4.2)})\}^N + [(V - V_{\text{части}(4)})/V] \cdot e^{-\mu(V - V_{\text{части}(4)})},$$

а доля оставшихся ошибок после контроля  $\mu_{\text{после}} = \mu \cdot (1 - P_{\text{после}(4.2)})$ .

Для подварианта 4.2 вероятность отсутствия ошибок  $P_{\text{после части}}$ , и соответственно, доля  $\mu_{\text{после части}}$  оставшихся ошибок после контроля внутри одного периода

$$P_{\text{после части}} = P_{\text{после}(1)}(V_{\text{части}(4.2)}, \mu, \nu, n, T_{\text{нар}}, T_{\text{непр}}, \tau_{\text{части}(4.2)}), \mu_{\text{после части}} = \mu \cdot (1 - P_{\text{после части}}).$$

Тем самым доказательство утверждения П.5.4 завершено.

Явные аналитические формулы, реализованные инструментальных комплексах, описанных в монографии, получаются на основе интегрирования обычными методами выражения (П.5.1) и использования выражений (П.5.2)-(П.5.4).

Необходимые для моделирования пределы исходных значений  $V$ ,  $T_{\text{зад}}$  задают в ТЗ или постановках функциональных задач, диапазон возможных значения  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $n$ ,  $T_{\text{нар}}$  устанавливают в результате натурных экспериментов, дополнительного моделирования или сравнения с аналогами, значение  $T_{\text{непр}}$  указывают в эксплуатационной документации.