DOI 10.36622/VSTU.2022.25.1.012
УДК 004.942

МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО КОНТРОЛЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ, ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК

С.А. Коноваленко

В целях повышения эффективности системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (СОПКА) в статье разработана модель адаптивного контроля ее структурных элементов. Проведена последовательная многоэтапная процедура адаптации исследуемого процесса, обеспечивающая возможность контроля гетерогенной СОПКА, эксплуатируемой в условиях часто появляющихся фактов неустойчивых сетевых взаимодействий с системой адаптивного контроля, с минимальным уровнем расхода операционных ресурсов всех видов. Определено множество функций, реализуемых системой адаптивного контроля гетерогенной СОПКА и позволяющих нейтрализовать угрозы безопасности информации, связанные с подменой ее структурных элементов, обеспечить контроль ее мобильных структурных элементов, снизить ресурсоемкость, возможную избыточность и меру неопределенности результатов адаптивного контроля, а также повысить их достоверность и информативность. Разработана структурно-функциональная модель адаптивного контроля гетерогенной СОПКА, описывающая итерационный процесс своего функционирования и облегчающая возможность практической реализации предлагаемых научно-технических решений, позволяющих достичь синергетического эффекта посредством задания последовательности реализации существующих методов контроля с учетом различных условий эксплуатации гетерогенной СОПКА.

Ключевые слова: адаптивный контроль, система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак.

В настоящее время любая критически важная информационная инфраструктура подвергается непрерывному информационно-техническому воздействию, противодействие которому осуществляет система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (СОПКА). В соответствии со сложившейся практикой существующая СОПКА реализует достаточно обширный перечень функций, но несмотря на это характеризуется низким уровнем эффективности процесса своего функционирования, обусловленным отсутствием контроля состояния ее структурных элементов [1]. При этом, с учетом непрерывного развития архитектуры построения СОПКА и постоянно меняющихся условий эксплуатации существующие методы контроля, обладая рядом достоинств и недостатков, не способны по отдельности обеспечить повышение эффективности исследуемого процесса [2].

В виду указанного в [1] предложено научно-техническое решение, позволяющее обеспечить повышение эффективности СОПКА посредством введения в ее состав подсистемы адаптивного контроля.

Основой для синтеза исследуемой подсистемы является модель адаптивного контроля СОПКА, которая обеспечивает возможность практической реализации таких процедур, как [1]:

процедура авторизации, определения типа, состояния и условий эксплуатации источников событий информационной безопасности (ИСИБ), образующих подсистему ИСИБ (ПИСИБ) СОПКА;

процедура контроля состояния элементов центральной подсистемы сбора, хранения и корреляции событий информационной безопасности (ЦПСХКСИБ) СОПКА.

В общем, модель адаптивного контроля СОПКА ($\mho_{\text{ак}}(t)$) представим в виде [3]:

$$\mho_{\text{ак}}(t) = \langle \mathfrak{V}_{\text{ак}}(t), \mathfrak{P}_{\text{ак}}, \mathfrak{L}_{ак}, \Delta T_{\text{ак}} \rangle, \quad (1)$$

где $\mathfrak{V}_{ак}(t) = \{\mathfrak{V}_{ъ}^{ак}(t) | ъ = \overline{1, ъ}\}$ – множество функций, выполняемых $\mathfrak{O}_{ак}(t)$ для достижения цели своего функционирования в определенных условиях эксплуатации;

$\mathfrak{V}_{ъ}^{ак}(t)$ – произвольная (ъ) функция, выполняемая $\mathfrak{O}_{ак}(t)$;

$ъ$ – общее количество $\mathfrak{V}_{ъ}^{ак}(t)$, выполняемых $\mathfrak{O}_{ак}(t)$;

$\mathfrak{P}_{ак}$ – показатели исходов выполнения $\mathfrak{V}_{ак}(t)$;

$\mathfrak{Q}_{ак}$ – область допустимых исходов выполнения $\mathfrak{V}_{ак}(t)$;

$\Delta T_{ак}$ – длительность выполнения $\mathfrak{V}_{ак}(t)$.

Отметим, что показатели $\mathfrak{P}_{ак}$ могут принимать следующие значения:

$$\mathfrak{P}_{ак} = \begin{cases} \mathfrak{P}_{ак}^{+}, \text{ при } \mathfrak{P}_{ак} \in \mathfrak{Q}_{ак}; \\ \mathfrak{P}_{ак}^{-}, \text{ при } \mathfrak{P}_{ак} \notin \mathfrak{Q}_{ак}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\mathfrak{P}_{ак}^{+}$, $\mathfrak{P}_{ак}^{-}$ – показатели исходов, соответствующие достижению и не достижению целей выполнения $\mathfrak{V}_{ак}(t)$ на момент их завершения.

С учетом (2) разработку $\mathfrak{O}_{ак}(t)$ (1) осуществим по принципу «от простого к сложному», для чего сначала построим простейшую модель контроля СОПКА ($\mathfrak{O}(t)$) [3-6]:

$$\mathfrak{O}(t) = \begin{cases} \lim\limits_{t \to t_{усв}-0} \mathfrak{V}_{н}(t) = \mathfrak{P}_{н}^{+}, 0 \le t < t_{усв}; \\ \lim\limits_{t \to t_{уизм}-0} \mathfrak{V}_{усв}(t) = \mathfrak{P}_{усв}^{+}, t_{усв} \le t < t_{уизм} \mid \exists \mathfrak{P}_{н}^{+}; \\ \lim\limits_{t \to t_{обр}-0} \mathfrak{V}_{уизм}(t) = \mathfrak{P}_{уизм}^{+}, t_{уизм} \le t < t_{обр} \mid \exists \mathfrak{P}_{усв}^{+}; \\ \lim\limits_{t \to t_{ан}-0} \mathfrak{V}_{обр}(t) = \mathfrak{P}_{обр}^{+}, t_{обр} \le t < t_{ан} \mid \exists \mathfrak{P}_{уизм}^{+}; \\ \lim\limits_{t \to t_{фо}-0} \mathfrak{V}_{ан}(t) = \mathfrak{P}_{ан}^{+}, t_{ан} \le t < t_{фо} \mid \exists \mathfrak{P}_{обр}^{+}; \\ \lim\limits_{t \to t_{пр}-0} \mathfrak{V}_{фо}(t) = \mathfrak{P}_{фо}^{+}, t_{фо} \le t < t_{пр} \mid \exists \mathfrak{P}_{ан}^{+}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\mathfrak{V}_{н}(t)$ – функция, выполняющая настройку (подготовку) системы контроля СОПКА к решению задач по предназначению;

$\mathfrak{V}_{усв}(t)$ – функция, выполняющая установление сетевого взаимодействия между системой контроля и СОПКА;

$\mathfrak{V}_{уизм}(t)$ – функция, выполняющая удаленное измерение значений параметрических данных (ПД), характеризующих состояние СОПКА, посредством непрерывного использования сетевой среды (канала передачи данных) на основе соответствующего протокола взаимодействия системы контроля с объектом контроля;

$\mathfrak{V}_{обр}(t)$ – функция, выполняющая предварительную обработку измеренных значений ПД, характеризующих состояние СОПКА (в частности, приведение значений ПД к виду необходимому для дальнейшего выполнения цикла контроля);

$\mathfrak{V}_{ан}(t)$ – функция, выполняющая анализ значений ПД, характеризующих состояние СОПКА, посредством сравнения измеренных значений ПД с их предварительно заданными требуемыми значениями, описывающими эталонный режим функционирования СОПКА;

$\mathfrak{V}_{фо}(t)$ – функция, выполняющая формирование отчета, содержащего результаты процесса функционирования (ПФ) системы контроля СОПКА;

$\mathfrak{P}_{н}^{+}$, $\mathfrak{P}_{усв}^{+}$, $\mathfrak{P}_{уизм}^{+}$, $\mathfrak{P}_{обр}^{+}$, $\mathfrak{P}_{ан}^{+}$, $\mathfrak{P}_{фо}^{+}$ – показатели исходов, соответствующие достижению целей выполнения $\mathfrak{V}_{н}(t)$, $\mathfrak{V}_{усв}(t)$, $\mathfrak{V}_{уизм}(t)$, $\mathfrak{V}_{обр}(t)$, $\mathfrak{V}_{ан}(t)$, $\mathfrak{V}_{фо}(t)$ на момент их завершения;

$t_{\text{усв}}$, $t_{\text{уизм}}$, $t_{\text{обр}}$, $t_{\text{ан}}$, $t_{\text{фо}}$ – моменты времени начала выполнения $\mathfrak{V}_{\text{усв}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{уизм}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{обр}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{ан}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{фо}}(t)$;

$t_{\text{пр}}$– момент времени начала принятия решения о состоянии СОПКА.

В модели $\mathfrak{O}(t)$ (3) не учитываются деструктивные преднамеренные (ДПВ) и непреднамеренные воздействия (ДНПВ), направленные на СОПКА, на канал ее сетевого взаимодействия с $\mathfrak{O}(t)$ и приводящие к появлению фактов неустойчивых сетевых взаимодействий (НСВ) между $\mathfrak{O}(t)$ и СОПКА за счет реализации таких угроз безопасности информации, как периодическое и кратковременное нарушение сетевой доступности структурных элементов СОПКА для контроля состояния их ПФ [7, 8].

Заметим, что вышеуказанные факторы оказывают существенное влияние на выполнение $\mathfrak{V}_{\text{уизм}}(t)$, которая при НСВ между $\mathfrak{O}(t)$ и СОПКА определяется в виде [8]:

$$\mathfrak{V}_{\text{уизм}}(t)=\begin{cases}\lim\limits_{t\to t_1^{\text{нсв}}-0}\mathfrak{V}_1^{\text{уизм}}(t)=\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_1},\ t_{\text{уизм}}\le t<t_1^{\text{нсв}}\ |\ \exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{усв}};\\ \lim\limits_{t\to t_2^{\text{нсв}}-0}\mathfrak{V}_2^{\text{уизм}}(t)=\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_2},\ t_1^{\text{вос}}\le t<t_2^{\text{нсв}}\ |\ \exists\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_1}\ne\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}};\\ \quad\ldots\\ \lim\limits_{t\to t_{\mathfrak{s}+1}^{\text{нсв}}-0}\mathfrak{V}_{\varrho}^{\text{уизм}}(t)=\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_{\varrho}},\ t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}}\le t<t_{\mathfrak{s}+1}^{\text{нсв}}\ |\ \exists\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_{\varrho-1}}\ne\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}};\\ \quad\ldots\qquad\qquad \varrho=\overline{1,\mathcal{T}},\ \mathfrak{s}=\overline{1,\mathcal{H}},\\ \lim\limits_{t\to t_{\mathcal{H}}^{\text{нсв}}-0}\mathfrak{V}_{\mathcal{T}-1}^{\text{уизм}}(t)=\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_{\mathcal{T}-1}},\ t_{\mathcal{H}\text{-}1}^{\text{вос}}\le t<t_{\mathcal{H}}^{\text{нсв}}\ |\ \exists\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_{\mathcal{T}-2}}\ne\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}};\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}_{\mathcal{T}}^{\text{уизм}}(t)=\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_{\mathcal{T}}},\ t_{\mathcal{H}}^{\text{вос}}\le t<t_{\text{обр}}\ |\ \exists\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_{\mathcal{T}-1}}\ne\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}};\\ 0,\ t_{\mathfrak{s}}^{\text{нсв}}\le t<t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}},\ t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}}\ge t_{\text{обр}},\end{cases}\tag{4}$$

где $\mathfrak{V}_{\varrho}^{\text{уизм}}(t)$ – функция произвольной (ϱ) итерации удаленного измерения значений ПД, характеризующих состояние СОПКА, реализуемого $\mathfrak{O}(t)$, эксплуатируемой в условиях НСВ с объектом контроля, для достижения $\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}}$;

$\mathcal{T}$ – общее количество произвольных (ϱ) итераций удаленного измерения значений ПД, характеризующих состояние СОПКА, реализуемых $\mathfrak{O}(t)$, эксплуатируемой в условиях НСВ с объектом контроля, для достижения $\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}}$;

$\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}_{\varrho}}$– произвольный (ϱ) показатель исхода, соответствующий не достижению цели выполнения $\mathfrak{V}_{\varrho}^{\text{уизм}}(t)$ на момент ее завершения в условиях НСВ $\mathfrak{O}(t)$ с СОПКА;

$\mathfrak{s}$ – произвольное событие, выражающееся в виде НСВ между системой контроля и СОПКА в момент выполнения удаленного измерения значений ПД, характеризующих состояние объекта контроля;

$\mathcal{H}$ – общее количество событий $\mathfrak{s}$, возникающих при выполнении $\mathfrak{V}_{\text{уизм}}(t)$ в условиях НСВ $\mathfrak{O}(t)$ с СОПКА для достижения $\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}}$;

$t_{\mathfrak{s}}^{\text{нсв}}$ – момент времени наступления произвольного события $\mathfrak{s}$;

$t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}}$ – момент времени окончания успешного выполнения ремонтных работ по восстановлению сетевого взаимодействия между системой контроля и СОПКА после наступления события $\mathfrak{s}$. При этом, значение параметра $t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}}$ зависит от причин возникновения НСВ и иных факторов, влияющих на продолжительность выполнения ремонтно-восстановительных работ.

Анализируя ПФ $\mathfrak{O}(t)$ (3) с учетом (4), отметим, что $\mathfrak{O}(t)$ характеризуется [1, 7, 8]:

узкой областью применения, обусловленной тем, что $\mathfrak{O}(t)$ (3) применима исключительно для контроля состояния стационарных структурных элементов (ИСИБ) СОПКА, время функционирования которых не

менее времени, необходимого для выполнения $\mathfrak{B}_{\text{уизм}}(t)$;

невозможностью нейтрализации таких угроз безопасности информации, как подмена ИСИБ, входящих в состав ПИСИБ, приводящих к необоснованному расходу операционных ресурсов всех видов на реализацию ПФ $\mathfrak{V}(t)$ для контроля состояния объектов, не являющихся доверенными источниками (средствами);

низкой полнотой результатов ПФ $\mathfrak{V}(t)$, обусловленной тем, что при НСВ между $\mathfrak{V}(t)$ и СОПКА выполнение $\mathfrak{B}_{\text{уизм}}(t)$ прерывается (т.е. $\exists\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}}$ – показатель исхода, соответствующий не достижению цели выполнения $\mathfrak{B}_{\text{уизм}}(t)$ на момент ее завершения в условиях НСВ системы контроля с СОПКА), а восстановление прерванного цикла удаленного измерения значений ПД не предусмотрено, в связи с чем цикл начинается с начала, что приводит к избыточным временным и ресурсным затратам на реализацию процесса контроля СОПКА и даже к невозможности его завершения и принятия решение о состоянии объекта контроля.

С учетом рассмотренных ДПВ и ДНПВ, оказывающих влияние на эффективность процесса контроля СОПКА, осуществим первый этап адаптации ПФ $\mathfrak{V}(t)$, в рамках которого представим $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ в виде [1, 8]:

$$\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)=\begin{cases}\lim\limits_{t\to t_{\text{усв}}-0}\mathfrak{B}_{\text{н}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{н}},\ 0\le t<t_{\text{усв}};\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{иасс}}-0}\mathfrak{B}_{\text{усв}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{усв}},\ t_{\text{усв}}\le t<t_{\text{иасс}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{н}};\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{уизм}}-0}\mathfrak{B}_{\text{иасс}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{иасс}},\ t_{\text{иасс}}\le t<t_{\text{уизм}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{усв}};\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{B}_{\text{уизм}}(t)=\left\{\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}};\ \mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}}\right\},\ t_{\text{уизм}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists t^{\text{нсв}}_{\mathfrak{s}}\Rightarrow t_{\text{обр}}=t^{\text{нсв}}_{\mathfrak{s}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{иасс}};\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{B}_{\text{уизмнсв}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}},\ t^{\text{вос}}_{\mathfrak{s}}\le t<t_{\text{обр}}\mid(\exists\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}})\wedge(\exists t^{\text{нсв}}_{\mathfrak{s}});\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{ан}}-0}\mathfrak{B}_{\text{обр}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{обр}},\ t_{\text{обр}}\le t<t_{\text{ан}}\mid(\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизм}})\vee(\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}});\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{фо}}-0}\mathfrak{B}_{\text{ан}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{ан}},\ t_{\text{ан}}\le t<t_{\text{фо}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{обр}};\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{пр}}-0}\mathfrak{B}_{\text{фо}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{фо}},\ t_{\text{фо}}\le t<t_{\text{пр}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{ан}},\end{cases}\qquad \mathfrak{s}=\overline{1,\mathcal{Y}} \tag{5}$$

где $\mathfrak{B}_{\text{иасс}}(t)$ – функция, выполняющая идентификацию и аутентификацию ИСИБ в целях недопущения запуска ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ для контроля состояния источников, не являющихся доверенными средствами;

$\mathfrak{B}_{\text{уизмнсв}}(t)$ – функция, выполняющая удаленное измерение значений ПД, характеризующих состояние СОПКА, в условиях НСВ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ с объектом контроля;

$\mathfrak{P}^{+}_{\text{иасс}}$ – показатель исхода, соответствующий достижению цели выполнения $\mathfrak{B}_{\text{иасс}}(t)$ на момент ее завершения;

$\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}}$ – показатель исхода, соответствующий достижению цели выполнения $\mathfrak{B}_{\text{уизмнсв}}(t)$ на момент ее завершения в условиях НСВ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ с СОПКА;

$t_{\text{иасс}}$ – момент времени начала выполнения $\mathfrak{B}_{\text{иасс}}(t)$;

$\mathcal{Y}$ – общее количество событий $\mathfrak{s}$, возникающих при выполнении $\mathfrak{B}_{\text{уизмнсв}}(t)$ для достижения $\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}}$.

Расширение области применения за счет обеспечения возможности контроля состояния мобильных структурных элементов (ИСИБ) СОПКА, которые характеризуются относительно коротким интервалом времени функционирования, а также повышение полноты результатов ПФ $\mathfrak{V}(t)$, эксплуатируемой в условиях НСВ с СОПКА, осуществляется посредством введения в модель $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (5) функции $\mathfrak{B}_{\text{уизмнсв}}(t)$, которую определим в виде [8]:

$$
\mathfrak{V}_{\text{уизмнсв}}(t)=
\begin{cases}
\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}},\ t_1^{\text{нсв}}\le t<t_1^{\text{вос}};\\
\lim\limits_{t\to t_2^{\text{нсв}}-0}\mathfrak{V}_1^{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}_1};\ \mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_1}\right\},\ t_1^{\text{вос}}\le t<t_2^{\text{нсв}}\ \Big|\ (\exists\,\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}})\wedge(\exists t_1^{\text{нсв}});\\
\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_1},\ t_2^{\text{нсв}}\le t<t_2^{\text{вос}};\\
\lim\limits_{t\to t_3^{\text{нсв}}-0}\mathfrak{V}_2^{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}_2};\ \mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_2}\right\},\ t_2^{\text{вос}}\le t<t_3^{\text{нсв}}\ \Big|\ \exists(\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}}\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_1})\ne\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}};\\
\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_2},\ t_3^{\text{нсв}}\le t<t_3^{\text{вос}};\\
\qquad\qquad\qquad\ldots\\
\lim\limits_{t\to t_{\mathfrak{s}+1}^{\text{нсв}}-0}\mathfrak{V}_{\varrho}^{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}};\ \mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}}\right\},\ t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}}\le t<t_{\mathfrak{s}+1}^{\text{нсв}}\ \Big|\ \begin{array}{l}\exists(\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}}\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_1}\cup\\ \cup\,\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_2}\cup\ldots\\ \ldots\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\varrho-1}})\ne\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}};\end{array}\\
\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}},\ t_{\mathfrak{s}+1}^{\text{нсв}}\le t<t_{\mathfrak{s}+1}^{\text{вос}},\ t_{\mathfrak{s}+1}^{\text{вос}}\ \ge\ t_{\text{обр}};\\
\qquad\qquad\qquad\ldots\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\varrho=\overline{1,\mathcal{P}},\ \mathfrak{s}=\overline{1,\mathcal{Y}},\\
\lim\limits_{t\to t_{\mathcal{Y}}^{\text{нсв}}-0}\mathfrak{V}_{\mathcal{P}-1}^{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}_{\mathcal{P}-1}};\ \mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\mathcal{P}-1}}\right\},\ t_{\mathcal{Y}\text{-1}}^{\text{вос}}\le t<t_{\mathcal{Y}}^{\text{нсв}}\ \Big|\ \begin{array}{l}\exists(\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}}\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_1}\cup\ldots\\ \ldots\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}}\cup\ldots\\ \ldots\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\mathcal{P}-2}})\ne\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}};\end{array}\\
\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\mathcal{P}-1}},\ t_{\mathcal{Y}}^{\text{нсв}}\le t<t_{\mathcal{Y}}^{\text{вос}};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}_{\mathcal{P}}^{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}_{\mathcal{P}}};\ \mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\mathcal{P}}}\right\},\ t_{\mathcal{Y}}^{\text{вос}}\le t<t_{\text{обр}}\ \Big|\ \begin{array}{l}\exists(\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}}\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_1}\cup\ldots\\ \ldots\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}}\cup\ldots\\ \ldots\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\mathcal{P}-1}})\ \ne\ \mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}};\end{array}\\
\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}},\ t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}}\le t<t_{\text{обр}}\ \Big|\ \begin{array}{l}\exists(\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизм}}\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_1}\cup\ldots\\ \ldots\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}}\cup\ldots\\ \ldots\cup\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\mathcal{P}}})=\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}},\end{array}
\end{cases}
\quad (6)
$$

где $\mathfrak{V}_{\varrho}^{\text{уизмнсв}}(t)$ – функция произвольной (ϱ) итерации удаленного измерения значений ПД, характеризующих состояние СОПКА, реализуемого $\mho_{\text{ак}}(t)$, эксплуатируемой в условиях НСВ с объектом контроля, для достижения $\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}}$;

$\mathcal{P}$ – общее количество произвольных (ϱ) итераций удаленного измерения значений ПД, характеризующих состояние СОПКА, реализуемых $\mho_{\text{ак}}(t)$, эксплуатируемой в условиях НСВ с объектом контроля, для достижения $\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}}$;

$\mathfrak{P}^{+}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}}$ – произвольный (ϱ) показатель исхода, соответствующий достижению цели выполнения $\mathfrak{V}_{\varrho}^{\text{уизмнсв}}(t)$ на момент ее завершения в условиях НСВ $\mho_{\text{ак}}(t)$ с СОПКА;

$\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}_{\varrho}}$ – произвольный (ϱ) показатель исхода, соответствующий не достижению цели выполнения $\mathfrak{V}_{\varrho}^{\text{уизмнсв}}(t)$ на момент ее завершения в условиях НСВ $\mho_{\text{ак}}(t)$ с СОПКА.

Далее отметим, что существующая СОПКА характеризуется свойством гетерогенности, заключающимся в включении в ПИСИБ и ЦПСХКСИБ разнородных, по своей архитектуре (типу), режимам функционирования и степени значимости, структурных элементов. Гетерогенность СОПКА, а также другие ДПВ и ДНПВ [7] приводят к увеличению частоты появления фактов НСВ с $\mho_{\text{ак}}(t)$ (5) и интервалов времени недоступности структурных элементов гетерогенной СОПКА для удаленного измерения значений ПД, характеризующих их состояние.

Исходя из указанного, ПФ $\mho_{\text{ак}}(t)$ (5) с учетом (6) охарактеризуем низким уровнем адаптивности в условиях часто появляющихся фактов НСВ с гетерогенной СОПКА, так как увеличение фактов НСВ при выполнении $\mathfrak{V}_{\text{уизмнсв}}(t)$ обратно приводит к избыточным временным и ресурсным затратам на реализацию процесса контроля и даже к невозможности его завершения и принятия решение о состоянии объекта контроля.

На основе вышеуказанного и в целях повышения уровня адаптивности процесса контроля гетерогенной СОПКА в условиях часто появляющихся фактов НСВ, выполним второй этап адаптации ПФ $\mho_{\text{ак}}(t)$ (5), для чего определим $\mho_{\text{ак}}(t)$ в виде:

$$\mho_{\text{ак}}(t)=\begin{cases}
\lim\limits_{t\to t_{\text{усв}}-0}\mathcal{V}_{\text{н}}(t)=\mathcal{P}_{\text{н}}^{+},\ 0\le t<t_{\text{усв}};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{иасс}}-0}\mathcal{V}_{\text{усв}}(t)=\mathcal{P}_{\text{усв}}^{+},\ t_{\text{усв}}\le t<t_{\text{иасс}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{н}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{уизм}}-0}\mathcal{V}_{\text{иасс}}(t)=\mathcal{P}_{\text{иасс}}^{+},\ t_{\text{иасс}}\le t<t_{\text{уизм}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{усв}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathcal{V}_{\text{уизм}}(t)=\left\{\mathcal{P}_{\text{уизм}}^{+};\ \mathcal{P}_{\text{уизм}}^{-}\right\},\ t_{\text{уизм}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists t_{\text{з}}^{\text{нсв}}\Rightarrow t_{\text{обр}}=t_{\text{з}}^{\text{нсв}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{иасс}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathcal{V}_{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathcal{P}_{\text{уизмнсв}}^{+};\ \mathcal{P}_{\text{уизмнсв}}^{-}\right\},\ t_{\text{з}}^{\text{вос}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists\mathcal{s}\ge\mathcal{Y}^{max}\Rightarrow t_{\text{обр}}=t_{\text{лизм}}\ \Big|\ \begin{matrix}(\exists\mathcal{P}_{\text{уизм}}^{-})\wedge\\ \wedge\ (\exists t_{\text{з}}^{\text{нсв}});\end{matrix}\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathcal{V}_{\text{лизм}}(t)=\mathcal{P}_{\text{лизм}}^{+},\ t_{\text{лизм}}\le t<t_{\text{обр}}\mid(\exists\mathcal{P}_{\text{уизмнсв}}^{-})\wedge(\exists\mathcal{s}\ge\mathcal{Y}^{max});\qquad \mathcal{s}=\overline{1,\mathcal{Y}},\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{ан}}-0}\mathcal{V}_{\text{обр}}(t)=\mathcal{P}_{\text{обр}}^{+},\ t_{\text{обр}}\le t<t_{\text{ан}}\mid(\exists\mathcal{P}_{\text{уизм}}^{+})\vee(\exists\mathcal{P}_{\text{уизмнсв}}^{+})\vee(\exists\mathcal{P}_{\text{лизм}}^{+});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{фо}}-0}\mathcal{V}_{\text{ан}}(t)=\mathcal{P}_{\text{ан}}^{+},\ t_{\text{ан}}\le t<t_{\text{фо}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{обр}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{пр}}-0}\mathcal{V}_{\text{фо}}(t)=\mathcal{P}_{\text{фо}}^{+},\ t_{\text{фо}}\le t<t_{\text{пр}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{ан}}^{+},
\end{cases}\qquad(7)$$

где $\mathcal{Y}^{max}$ – максимальное значение частоты появления фактов НСВ $\mho_{\text{ак}}(t)$ с гетерогенной СОПКА (иными словами, максимальное значение частоты недоступности структурных элементов гетерогенной СОПКА для удаленного измерения значений ПД, характеризующих их состояние). Значение $\mathcal{Y}^{max}$ определяется из расчета архитектуры (типа), режима функционирования, степени значимости, а также условий, в которых планируется эксплуатация соответствующего структурного элемента гетерогенной СОПКА;

$\mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{-}$ – показатель исхода, соответствующий не достижению цели выполнения $\mathfrak{V}_{\text{уизмнсв}}(t)$ в условиях достижения значения $\mathcal{Y}^{max}$;

$\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)$ – функция, выполняющая локальное измерение значений ПД, характеризующих состояние гетерогенной СОПКА, в условиях часто появляющихся фактов НСВ $\mho_{\text{ак}}(t)$ с объектом контроля;

$\mathfrak{P}_{\text{лизм}}^{+}$ – показатель исхода, соответствующий достижению цели выполнения $\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)$ на момент ее завершения в условиях часто появляющихся фактов НСВ $\mho_{\text{ак}}(t)$ с гетерогенной СОПКА;

$t_{\text{лизм}}$ – момент времени начала выполнения $\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)$.

Повышение уровня адаптивности ПФ $\mho_{\text{ак}}(t)$ (7) в условиях часто появляющихся фактов НСВ с гетерогенной СОПКА обеспечивается путем введения в модель функции $\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)$, определяемой в виде:

$$\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)=\begin{cases}\lim\limits_{t\to t_{\text{оск}}-0}\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{сск}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/сск}},\ t_{\text{лизм}}\le t<t_{\text{оск}}\mid(\exists\mathfrak{P}^{-}_{\text{уизмнсв}})\wedge(\exists\mathfrak{s}\ge\mathcal{Y}^{max});\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{вкв}}-0}\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{оск}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/оск}},\ t_{\text{оск}}\le t<t_{\text{вкв}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/сск}};\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{орск}}-0}\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{вкв}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/вкв}},\ t_{\text{вкв}}\le t<t_{\text{орск}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/оск}};\qquad \mathfrak{s}=\overline{1,\mathcal{Y}},\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{прск}}-0}\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{орск}}(t)=\left\{\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/орск}};\ \mathfrak{P}^{-}_{\text{лизм/орск}}\right\},\ t_{\text{орск}}\le t<t_{\text{прск}},\exists t_{\text{квск}}\Rightarrow t_{\text{прск}}=t_{\text{зрск}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/вкв}};\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{прск}}-0}\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{зрск}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/зрск}},\ t_{\text{зрск}}\le t<t_{\text{прск}}\mid(\exists\mathfrak{P}^{-}_{\text{лизм/орск}})\wedge(\exists t_{\text{квск}});\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{ппрск}}-0}\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{прск}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/прск}},\ t_{\text{прск}}\le t<t_{\text{ппрск}}\mid(\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/орск}})\vee(\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/зрск}});\\ \lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{ппрск}}(t)=\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/ппрск}},\ t_{\text{ппрск}}\le t<t_{\text{обр}}\mid\exists\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/прск}};\end{cases}\quad(8)$$

где $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{сск}}(t)$ – функция, выполняющая синтез скрипта для локального измерения значений ПД, характеризующих состояние гетерогенной СОПКА, в условиях часто появляющихся фактов НСВ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ с объектом контроля;

$\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{оск}}(t)$ – функция, выполняющая отправку скрипта гетерогенной СОПКА, функционирующей в условиях часто появляющихся фактов НСВ с $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$, для локального измерения значений ПД, характеризующих ее состояние;

$\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{вкв}}(t)$ – функция, выполняющая вычисление значения контрольного момента времени получения результатов выполнения скрипта на гетерогенной СОПКА, функционирующей в условиях часто появляющихся фактов НСВ с $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{орск}}(t)$ – функция, выполняющая ожидание поступления результатов выполнения скрипта на гетерогенной СОПКА, функционирующей в условиях часто появляющихся фактов НСВ с $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{зрск}}(t)$ – функция, выполняющая запрос на получение результатов выполнения скрипта на гетерогенной СОПКА, функционирующей в условиях часто появляющихся фактов НСВ с $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{прск}}(t)$ – функция, выполняющая прием результатов выполнения скрипта на гетерогенной СОПКА, функционирующей в условиях часто появляющихся фактов НСВ с $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{ппрск}}(t)$ – функция, выполняющая проверку уровня полноты результатов выполнения $\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)$ (скрипта) в целях снижения уровня расхода операционных ресурсов всех видов на реализацию ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ в условиях часто появляющихся фактов НСВ с гетерогенной СОПКА;

$\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/сск}}$, $\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/оск}}$, $\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/вкв}}$, $\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/орск}}$, $\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/зрск}}$, $\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/прск}}$, $\mathfrak{P}^{+}_{\text{лизм/ппрск}}$ – показатели исходов, соответствующие достижению целей выполнения $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{сск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{оск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{вкв}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{орск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{зрск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{прск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{ппрск}}(t)$ на момент их завершения в условиях часто появляющихся фактов НСВ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ с гетерогенной СОПКА;

$\mathfrak{P}^{-}_{\text{лизм/орск}}$ – показатель исхода, соответствующий не достижению цели выполнения $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{орск}}(t)$ на момент ее завершения в условиях часто появляющихся фактов НСВ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ с гетерогенной СОПКА;

$t_{\text{оск}}$, $t_{\text{вкв}}$, $t_{\text{орск}}$, $t_{\text{зрск}}$, $t_{\text{прск}}$, $t_{\text{ппрск}}$ – моменты времени начала выполнения $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{оск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{вкв}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{орск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{зрск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{прск}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{лизм}}_{\text{ппрск}}(t)$;

$t_{\text{квск}}$ – момент наступления контрольного времени получения результатов выполнения скрипта на гетерогенной СОПКА, функционирующей в условиях часто появляющихся фактов НСВ с $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$.

Кроме всего, гетерогенная СОПКА характеризуется непрерывным изменением своего состояния, что в свою очередь приводит к максимальному уровню расхода операционных ресурсов всех видов на реализацию ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (7) до наступления $t_{\text{фо}}$. Принимая во внимание вышеуказанное, ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (7) с учетом (8) охарактеризуем высокой

ресурсоемкостью, так как непрерывное изменение состояния гетерогенной СОПКА, регистрируемое в ходе выполнения $\mathfrak{V}_{\text{уизм}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{уизмнсв}}(t)$ или $\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)$, не является достаточным условием для продолжения ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$, поскольку существует вероятность достижения требуемого уровня информативности результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ до наступления $t_{\text{фо}}$.

Для снижения ресурсоемкости процесса контроля гетерогенной СОПКА необходимо учесть текущий уровень информативности результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (7) для чего выполним третий этап адаптации исследуемого процесса, в рамках которого определим $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ в виде:

$$\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)=\begin{cases}
\lim\limits_{t\to t_{\text{усв}}-0}\mathfrak{V}_{\text{н}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{н}}^{+},\ 0\le t<t_{\text{усв}};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{иасс}}-0}\mathfrak{V}_{\text{усв}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{усв}}^{+},\ t_{\text{усв}}\le t<t_{\text{иасс}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{н}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{уизм}}-0}\mathfrak{V}_{\text{иасс}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{иасс}}^{+},\ t_{\text{иасс}}\le t<t_{\text{уизм}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{усв}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{уизм}}(t)=\left\{\mathfrak{P}_{\text{уизм}}^{+};\ \mathfrak{P}_{\text{уизм}}^{-}\right\},\ t_{\text{уизм}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists t_{\mathfrak{s}}^{\text{нсв}}\Rightarrow t_{\text{обр}}=t_{\mathfrak{s}}^{\text{нсв}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{иасс}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{+};\ \mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{-}\right\},\ t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists\mathfrak{s}\ge\mathcal{Y}^{max}\Rightarrow t_{\text{обр}}=t_{\text{лизм}}\ \Big|\ \begin{array}{l}(\exists\mathfrak{P}_{\text{уизм}}^{-})\wedge\\ \wedge\ (\exists t_{\mathfrak{s}}^{\text{нсв}});\end{array}\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{лизм}}^{+},\ t_{\text{лизм}}\le t<t_{\text{обр}}\mid(\exists\mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{-})\wedge(\exists\mathfrak{s}\ge\mathcal{Y}^{max});\qquad \mathfrak{s}=\overline{1,\mathcal{Y}},\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{ан}}-0}\mathfrak{V}_{\text{обр}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{обр}}^{+},\ t_{\text{обр}}\le t<t_{\text{ан}}\mid(\exists\mathfrak{P}_{\text{уизм}}^{+})\vee(\exists\mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{+})\vee(\exists\mathfrak{P}_{\text{лизм}}^{+});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{оти}}-0}\mathfrak{V}_{\text{ан}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{ан}}^{+},\ t_{\text{ан}}\le t<t_{\text{оти}},\ \mid\exists\mathfrak{P}_{\text{обр}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{фо}}-0}\mathfrak{V}_{\text{оти}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{оти}}^{+},\ t_{\text{оти}}\le t<t_{\text{фо}},\exists t_{\text{ди}}\Rightarrow t_{\text{фо}}=t_{\text{ди}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{ан}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{пр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{фо}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{фо}}^{+},\ t_{\text{фо}}\le t<t_{\text{пр}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{оти}}^{+}\Leftrightarrow(\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тек}}<\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тр}});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{пр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{фо}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{фо}}^{+},\ t_{\text{ди}}\le t<t_{\text{пр}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{оти}}^{+}\Leftrightarrow(\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тек}}\ge\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тр}}),
\end{cases}\qquad(9)$$

где $\mathfrak{V}_{\text{оти}}(t)$ – функция, выполняющая определение текущего значения уровня информативности результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathfrak{P}_{\text{оти}}^{+}$ – показатель исхода, соответствующий достижению цели выполнения $\mathfrak{V}_{\text{оти}}(t)$ на момент ее завершения;

$t_{\text{оти}}$ – момент времени начала выполнения $\mathfrak{V}_{\text{оти}}(t)$;

$t_{\text{ди}}$ – момент времени достижения требуемого значения уровня информативности результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тек}}$ – текущее значение уровня информативности результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тр}}$ – требуемое значение уровня информативности результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$. При этом, значение $\mathcal{U}_{u}^{\text{тр}}$ определяется из расчета архитектуры (типа), режима функционирования, степени значимости, а также условий, в которых планируется эксплуатация гетерогенной СОПКА.

Заметим, что результаты ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (9), предоставляемые в виде отчета о состоянии гетерогенной СОПКА, характеризуются низким уровнем достоверности, обусловленной тем, что существует вероятность формирования ложноположительного сигнала о выходе измеренных значений ПД, характеризующих состояние объекта контроля, за пределы их требуемых значений, в то время как негативное изменение состояния гетерогенной СОПКА предотвращено компенсирующими мерами, не предусматривающими корректировку требуемых значений ПД, описывающих эталонный режим функционирования объекта контроля [9].

В целях повышения достоверности результатов ПФ $\mho_{\text{ак}}(t)$ (9) осуществим четвертый этап ее адаптации в виде [9, 10]:

$$\mho_{\text{ак}}(t)=\begin{cases}
\lim\limits_{t\to t_{\text{усв}}-0}\mathcal{U}_{\text{н}}(t)=\mathcal{P}_{\text{н}}^{+},\ 0\le t<t_{\text{усв}};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{иасс}}-0}\mathcal{U}_{\text{усв}}(t)=\mathcal{P}_{\text{усв}}^{+},\ t_{\text{усв}}\le t<t_{\text{иасс}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{н}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{уизм}}-0}\mathcal{U}_{\text{иасс}}(t)=\mathcal{P}_{\text{иасс}}^{+},\ t_{\text{иасс}}\le t<t_{\text{уизм}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{усв}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathcal{U}_{\text{уизм}}(t)=\left\{\mathcal{P}_{\text{уизм}}^{+};\ \mathcal{P}_{\text{уизм}}^{-}\right\},\ t_{\text{уизм}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists t_{\mathcal{s}}^{\text{нсв}}\Rightarrow t_{\text{обр}}=t_{\mathcal{s}}^{\text{нсв}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{иасс}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathcal{U}_{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathcal{P}_{\text{уизмнсв}}^{+};\ \mathcal{P}_{\text{уизмнсв}}^{-}\right\},\ t_{\mathcal{s}}^{\text{вос}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists\mathcal{s}\ge\mathcal{Y}^{max}\Rightarrow t_{\text{обр}}=t_{\text{лизм}}\ \Big|\ \begin{array}{l}(\exists\mathcal{P}_{\text{уизм}}^{-})\wedge\\ \wedge\ (\exists t_{\mathcal{s}}^{\text{нсв}});\\ \mathcal{s}=\overline{1,\mathcal{Y}},\end{array}\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathcal{U}_{\text{лизм}}(t)=\mathcal{P}_{\text{лизм}}^{+},\ t_{\text{лизм}}\le t<t_{\text{обр}}\mid(\exists\mathcal{P}_{\text{уизмнсв}}^{-})\wedge(\exists\mathcal{s}\ge\mathcal{Y}^{max});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{ан}}-0}\mathcal{U}_{\text{обр}}(t)=\mathcal{P}_{\text{обр}}^{+},\ t_{\text{обр}}\le t<t_{\text{ан}}\mid(\exists\mathcal{P}_{\text{уизм}}^{+})\vee(\exists\mathcal{P}_{\text{уизмнсв}}^{+})\vee(\exists\mathcal{P}_{\text{лизм}}^{+});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{оти}}-0}\mathcal{U}_{\text{ан}}(t)=\mathcal{P}_{\text{ан}}^{+},\ t_{\text{ан}}\le t<t_{\text{оти}},\ \mid\exists\mathcal{P}_{\text{обр}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{фо}}-0}\mathcal{U}_{\text{оти}}(t)=\mathcal{P}_{\text{оти}}^{+},\ t_{\text{оти}}\le t<t_{\text{фо}},\exists t_{\text{ди}}\Rightarrow t_{\text{фо}}=t_{\text{ди}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{ан}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{ивв}}-0}\mathcal{U}_{\text{фо}}(t)=\mathcal{P}_{\text{фо}}^{+},\ t_{\text{фо}}\le t<t_{\text{ивв}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{оти}}^{+}\Leftrightarrow(\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тек}}<\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тр}});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{ивв}}-0}\mathcal{U}_{\text{фо}}(t)=\mathcal{P}_{\text{фо}}^{+},\ t_{\text{ди}}\le t<t_{\text{ивв}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{оти}}^{+}\Leftrightarrow(\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тек}}\ge\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тр}});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{фоивв}}-0}\mathcal{U}_{\text{ивв}}(t)=\mathcal{P}_{\text{ивв}}^{+},\ t_{\text{ивв}}\le t<t_{\text{фоивв}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{фо}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{пр}}-0}\mathcal{U}_{\text{фоивв}}(t)=\mathcal{P}_{\text{фоивв}}^{+},\ t_{\text{фоивв}}\le t<t_{\text{пр}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{ивв}}^{+},
\end{cases}\qquad(10)$$

где $\mathfrak{V}_{\text{ивв}}(t)$ – функция, выполняющая контроль гетерогенной СОПКА посредством имитации вредоносного воздействия на подсистему эмуляции объекта контроля;

$\mathfrak{V}_{\text{фоивв}}(t)$ – функция, выполняющая формирование отчета, содержащего результаты имитации вредоносного воздействия на подсистему эмуляции гетерогенной СОПКА;

$\mathfrak{P}_{\text{ивв}}^{+}$, $\mathfrak{P}_{\text{фоивв}}^{+}$ – показатели исходов, соответствующие достижению целей выполнения $\mathfrak{V}_{\text{ивв}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{фоивв}}(t)$ на момент их завершения;

$t_{\text{ивв}}$, $t_{\text{фоивв}}$ – моменты времени начала выполнения $\mathfrak{V}_{\text{ивв}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{фоивв}}(t)$.

Основанием для повышения достоверности результатов ПФ $\mho_{\text{ак}}(t)$ (10) является выделение в модели функции $\mathfrak{V}_{\text{ивв}}(t)$, направленной на эксплуатацию уязвимостей гетерогенной СОПКА, основанных на недостатках в ее конфигурации, ошибках, допущенных при разработке структурных элементов, входящих в ПИСИБ и ЦПСХКСИБ, и т.д., а также предоставляемых в результате выполнения $\mathfrak{V}_{\text{фо}}(t)$. С учетом указанного, определим $\mathfrak{V}_{\text{ивв}}(t)$ в виде [9, 10]:

$$\mathcal{U}_{\text{ивв}}(t)=\begin{cases}
\lim\limits_{t\to t_{\text{кнвв}}-0}\mathcal{U}_{\text{фнвв}}^{\text{ивв}}(t)=\mathcal{P}_{\text{ивв/фнвв}}^{+},\ t_{\text{ивв}}\le t<t_{\text{кнвв}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{фо}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{рвв}}-0}\mathcal{U}_{\text{кнвв}}^{\text{ивв}}(t)=\mathcal{P}_{\text{ивв/кнвв}}^{+},\ t_{\text{кнвв}}\le t<t_{\text{рвв}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{ивв/фнвв}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{фоивв}}-0}\mathcal{U}_{\text{рвв}}^{\text{ивв}}(t)=\mathcal{P}_{\text{ивв/рвв}}^{+},\ t_{\text{рвв}}\le t<t_{\text{фоивв}}\mid\exists\mathcal{P}_{\text{ивв/кнвв}}^{+},
\end{cases}\qquad(11)$$

где $\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{фнвв}}(t)$ – функция, выполняющая формирование набора вредоносных воздействий (эксплойтов), направленность которых на подсистему эмуляции гетерогенной СОПКА соответствует значениям ПД, не совпавшим с их требуемыми значениями, описывающими эталонный режим функционирования объекта контроля, и содержащихся в отчете о состоянии гетерогенной СОПКА;

$\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{кнвв}}(t)$ – функция, выполняющая конфигурирование набора вредоносных воздействий (эксплойтов), предоставляемого в результате выполнения $\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{фнвв}}(t)$, с целью его упорядочивания по определенным принципам;

$\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{рвв}}(t)$ – функция, выполняющая реализацию сконфигурированного набора вредоносных воздействий (эксплойтов), предоставляемого в результате выполнения $\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{кнвв}}(t)$, на подсистему эмуляции гетерогенной СОПКА;

$\mathfrak{P}^{+}_{\text{ивв/фнвв}}$, $\mathfrak{P}^{+}_{\text{ивв/кнвв}}$, $\mathfrak{P}^{+}_{\text{ивв/рвв}}$ – показатели исходов, соответствующие достижению целей выполнения $\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{фнвв}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{кнвв}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{рвв}}(t)$ на момент их завершения;

$t_{\text{кнвв}}$, $t_{\text{рвв}}$ – моменты времени начала выполнения $\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{кнвв}}(t)$, $\mathfrak{V}^{\text{ивв}}_{\text{рвв}}(t)$.

Далее, продолжая системный анализ ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (10) с учетом (11), отметим, что результат выполнения $\mathfrak{V}_{\text{ан}}(t)$ содержит только те значения ПД, для которых были заданы требуемые значения, непосредственно характеризующие состояние гетерогенной СОПКА. Указанное свидетельствует о том, что выполнение $\mathfrak{V}_{\text{оти}}(t)$ сводится к определению значения $\mathcal{U}^{\text{тек}}_{\text{и}}$, представляемого исключительно в виде объема измеренных совпавших значений ПД с требуемыми, объема измеренных не совпавших значений ПД с требуемыми и объема не измеренных значений ПД, и его сравнения с значением $\mathcal{U}^{\text{тр}}_{\text{и}}$, представляемым в виде минимального или максимального требуемого объема соответствующих значений ПД, при достижении которого отсутствует необходимость дальнейшего продолжения ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (10).

Принимая во внимание вышеуказанное, ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (10) охарактеризуем:

возможной избыточностью его результатов, обусловленной тем, что не учитывается смысловое содержание значений ПД, характеризующих состояние гетерогенной СОПКА, позволяющее исключить соответствующие данные, обладающие разным видом представления и несущие одинаковую смысловую нагрузку об одном свойстве объекта контроля;

низким уровнем информативности его результатов, обусловленным тем, что не учитывается вероятностное наличие взаимосвязей между значениями ПД, характеризующими состояние гетерогенной СОПКА, позволяющих формировать производные (новые) значения ПД и определять их полезность (ценность);

отсутствием возможности определения меры (степени) неопределенности (сомнения) его результатов, обусловленной тем, что на практике, в зависимости от архитектуры (типа), режима функционирования, степени значимости и иных условий, в которых планируется эксплуатация соответствующего структурного элемента гетерогенной СОПКА, контролю может подлежать только определенная часть значений ПД, характеризующих его состояние, а также не учитывается вероятностное возникновение ошибок при реализации ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (10).

В рамках снижения возможной избыточности, повышения уровня информативности, определения меры неопределенности результатов процесса контроля гетерогенной СОПКА выполним пятый этап адаптации ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (10), заключающийся в представлении $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ в виде:

$$
\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)=\begin{cases}
\lim\limits_{t\to t_{\text{усв}}-0}\mathfrak{V}_{\text{н}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{н}}^{+},\ 0\le t<t_{\text{усв}};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{иасс}}-0}\mathfrak{V}_{\text{усв}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{усв}}^{+},\ t_{\text{усв}}\le t<t_{\text{иасс}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{н}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{уизм}}-0}\mathfrak{V}_{\text{иасс}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{иасс}}^{+},\ t_{\text{иасс}}\le t<t_{\text{уизм}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{усв}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{уизм}}(t)=\left\{\mathfrak{P}_{\text{уизм}}^{+};\ \mathfrak{P}_{\text{уизм}}^{-}\right\},\ t_{\text{уизм}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists t_{\mathfrak{s}}^{\text{нсв}}\Rightarrow t_{\text{обр}}{=}t_{\mathfrak{s}}^{\text{нсв}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{иасс}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{уизмнсв}}(t)=\left\{\mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{+};\ \mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{-}\right\},\ t_{\mathfrak{s}}^{\text{вос}}\le t<t_{\text{обр}},\ \exists\mathfrak{s}\ge\mathcal{Y}^{max}\Rightarrow t_{\text{обр}}=t_{\text{лизм}}\ \Big|\ \begin{array}{l}(\exists\mathfrak{P}_{\text{уизм}}^{-})\wedge\\ \wedge\ (\exists t_{\mathfrak{s}}^{\text{нсв}});\\ \mathfrak{s}=\overline{1,\mathcal{Y}},\end{array}\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{обр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{лизм}}^{+},\ t_{\text{лизм}}\le t<t_{\text{обр}}\mid(\exists\mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{-})\wedge(\exists\mathfrak{s}\ge\mathcal{Y}^{max});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{ан}}-0}\mathfrak{V}_{\text{обр}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{обр}}^{+},\ t_{\text{обр}}\le t<t_{\text{ан}}\mid(\exists\mathfrak{P}_{\text{уизм}}^{+})\vee(\exists\mathfrak{P}_{\text{уизмнсв}}^{+})\vee(\exists\mathfrak{P}_{\text{лизм}}^{+});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{оти}}-0}\mathfrak{V}_{\text{ан}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{ан}}^{+},\ t_{\text{ан}}\le t<t_{\text{оти}},\ \mid\exists\mathfrak{P}_{\text{обр}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{фо}}-0}\mathfrak{V}_{\text{оти}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{оти}}^{+},\ t_{\text{оти}}\le t<t_{\text{фо}},\exists t_{\text{ди}}\Rightarrow t_{\text{фо}}{=}t_{\text{ди}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{ан}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{ивв}}-0}\mathfrak{V}_{\text{фо}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{фо}}^{+},\ t_{\text{фо}}\le t<t_{\text{ивв}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{оти}}^{+}\Leftrightarrow(\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тек}}<\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тр}});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{ивв}}-0}\mathfrak{V}_{\text{фо}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{фо}}^{+},\ t_{\text{ди}}\le t<t_{\text{ивв}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{оти}}^{+}\Leftrightarrow(\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тек}}\ge\mathcal{U}_{\text{и}}^{\text{тр}});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{фоивв}}-0}\mathfrak{V}_{\text{ивв}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{ивв}}^{+},\ t_{\text{ивв}}\le t<t_{\text{фоивв}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{фо}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{сан}}-0}\mathfrak{V}_{\text{фоивв}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{фоивв}}^{+},\ t_{\text{фоивв}}\le t<t_{\text{сан}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{ивв}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{дак}}-0}\mathfrak{V}_{\text{сан}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{сан}}^{+},\ t_{\text{сан}}\le t<t_{\text{дак}}\mid(\exists\mathfrak{P}_{\text{фо}}^{+})\wedge(\exists\mathfrak{P}_{\text{фоивв}}^{+});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{пр}}-0}\mathfrak{V}_{\text{дак}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{дак}}^{+},\ t_{\text{дак}}\le t<t_{\text{пр}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{сан}}^{+},
\end{cases}
\tag{12}
$$

где $\mathfrak{V}_{\text{сан}}(t)$ – функция, выполняющая семиотический анализ состояния гетерогенной СОПКА;

$\mathfrak{V}_{\text{дак}}(t)$ – функция, выполняющая оценку достоверности (меры определенности) результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathfrak{P}_{\text{сан}}^{+}$, $\mathfrak{P}_{\text{дак}}^{+}$ – показатели исходов, соответствующие достижению целей выполнения $\mathfrak{V}_{\text{сан}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{дак}}(t)$ на момент их завершения;

$t_{\text{сан}}$, $t_{\text{дак}}$ – моменты времени начала выполнения $\mathfrak{V}_{\text{сан}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{дак}}(t)$.

В ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (12) выделим функцию $\mathfrak{V}_{\text{сан}}(t)$, которую определим в виде:

$$
\mathfrak{V}_{\text{сан}}(t)=\begin{cases}
\lim\limits_{t\to t_{\text{сман}}-0}\mathfrak{V}_{\text{стан}}^{\text{сан}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{сан/стан}}^{+},\ t_{\text{сан}}\le t<t_{\text{сман}}\mid(\exists\mathfrak{P}_{\text{фо}}^{+})\wedge(\exists\mathfrak{P}_{\text{фоивв}}^{+});\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{пран}}-0}\mathfrak{V}_{\text{сман}}^{\text{сан}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{сан/сман}}^{+},\ t_{\text{сман}}\le t<t_{\text{пран}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{сан/стан}}^{+};\\
\lim\limits_{t\to t_{\text{дак}}-0}\mathfrak{V}_{\text{пран}}^{\text{сан}}(t)=\mathfrak{P}_{\text{сан/пран}}^{+},\ t_{\text{пран}}\le t<t_{\text{дак}}\mid\exists\mathfrak{P}_{\text{сан/сман}}^{+},
\end{cases}
\tag{13}
$$

где $\mathfrak{V}_{\text{стан}}^{\text{сан}}(t)$ – функция, выполняющая синтаксический анализ значений ПД, характеризующих состояние гетерогенной СОПКА и предоставляемых в результате выполнения $\mathfrak{V}_{\text{фо}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{фоивв}}(t)$, в целях приведения их к единому структурированному виду, обеспечивающему дальнейшее выполнение $\mathfrak{V}_{\text{сан}}(t)$;

$\mathfrak{V}_{\text{сман}}^{\text{сан}}(t)$ – функция, выполняющая семантический анализ структурированных значений ПД, характеризующих состояние гетерогенной СОПКА и предоставляемых в

результате выполнения $\mathfrak{V}_{\text{стан}}^{\text{сан}}(t)$, в целях определения их смыслового содержания (значения) и последующего удаления данных, несущих одинаковую смысловую нагрузку об одном свойстве объекта контроля, из результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathfrak{V}_{\text{пран}}^{\text{сан}}(t)$ – функция, выполняющая прагматический анализ значений ПД, предоставляемых в результате выполнения $\mathfrak{V}_{\text{сман}}^{\text{сан}}(t)$, в целях определения их взаимосвязей, обеспечивающего формирование производных значений ПД, характеризующих состояние гетерогенной СОПКА, определение степени их полезности (ценности) для лица принимающего решение о состоянии объекта контроля в определенных условиях эксплуатации и последующее удаление бесполезных (не ценных) данных из результатов ПФ $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$;

$\mathfrak{P}_{\text{сан/стан}}^{+}$, $\mathfrak{P}_{\text{сан/сман}}^{+}$, $\mathfrak{P}_{\text{сан/пран}}^{+}$ – показатели исходов, соответствующие достижению целей выполнения $\mathfrak{V}_{\text{стан}}^{\text{сан}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{сман}}^{\text{сан}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{пран}}^{\text{сан}}(t)$ на момент их завершения;

$t_{\text{сман}}$, $t_{\text{пран}}$ – моменты времени начала выполнения $\mathfrak{V}_{\text{сман}}^{\text{сан}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{пран}}^{\text{сан}}(t)$.

Завершая синтез $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ (12), построим ее структурно-функциональную модель, позволяющую наглядно описать итерационный процесс ее функционирования в течение заданного времени контроля и облегчающую возможность ее практической реализации (рис. 1).

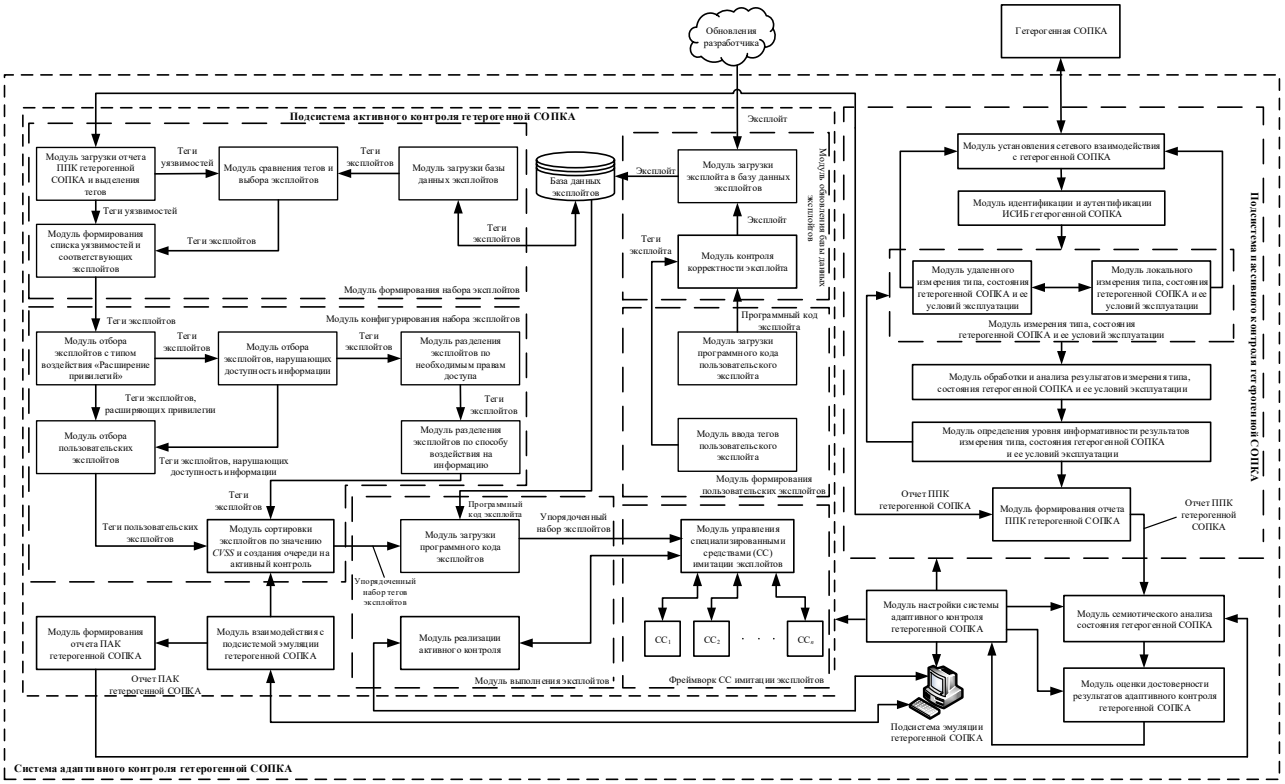

Рис. 1. Структурно-функциональная модель адаптивного контроля гетерогенной СОПКА

Структурно-функциональная модель $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$ представляет собой совокупность следующих взаимосвязанных элементов:

1. Модуль настройки системы адаптивного контроля гетерогенной СОПКА, обеспечивающий выполнение $\mathfrak{V}_{н}(t)$.

2. Подсистема пассивного контроля (ППК) гетерогенной СОПКА, обеспечивающая выполнение $\mathfrak{V}_{\text{усв}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{иасс}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{уизм}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{уизмнсв}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{лизм}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{обр}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{ан}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{оти}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{фо}}(t)$ посредством применения соответствующих модулей, включенных в ее состав [8].

3. Подсистема активного контроля (ПАК) гетерогенной СОПКА, обеспечивающая выполнение $\mathfrak{V}_{\text{ивв}}(t)$, $\mathfrak{V}_{\text{фоивв}}(t)$ посредством применения соответствующих модулей, включенных в ее состав [9, 10].

4. Подсистема эмуляции гетерогенной СОПКА, обеспечивающая построение виртуальной программно-аппаратной платформы, копирующей функции объекта

контроля и воспроизводящей их с максимальной точностью.

5. Модуль семиотического анализа состояния гетерогенной СОПКА, обеспечивающий выполнение $\mathfrak{V}_{\text{сан}}(t)$.

6. Модуль оценки достоверности результатов адаптивного контроля гетерогенной СОПКА, обеспечивающий выполнение $\mathfrak{V}_{\text{дак}}(t)$.

Заметим, что синтез подсистем и модулей, входящих в структурно-функциональную модель $\mathfrak{V}_{\text{ак}}(t)$, является дальнейшим направлением исследования и не рассматривается в данной работе.

Таким образом, разработанная модель адаптивного контроля СОПКА позволяет обеспечить повышение эффективность исследуемого процесса, реализуемого в различных условиях эксплуатации объекта контроля с учетом его разнородной архитектуры (типа), за счет задания последовательности реализации определенных методов контроля, позволяющей достичь синергетического эффекта, в частности [2, 8-10]:

периодического и непрерывного, а также последовательного и произвольного методов контроля, определяемых в момент настройки системы адаптивного контроля с учетом типов, условий эксплуатации (режимов функционирования) и степени значимости структурных элементов гетерогенной СОПКА;

удаленного и локального, а также пассивного и активного методов контроля с возможностью изменения последовательности их применения во времени, приближенном к реальному, с учетом функционирования гетерогенной СОПКА в условиях часто появляющихся фактов НСВ с системой адаптивного контроля;

полного и частичного методов контроля с учетом достижения минимального или максимального требуемого уровня информативности результатов ПФ системы адаптивного контроля по объему измеренных совпавших, измеренных не совпавших и не измеренных значений ПД, характеризующих состояние гетерогенной СОПКА в определенных условиях эксплуатации;

прямого и косвенного методов контроля, обеспечивающих последовательное выполнение сравнительного и семиотического анализа значений ПД, характеризующих состояние гетерогенной СОПКА в определенных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Коноваленко С.А. Моделирование системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак / С.А. Коноваленко, И.Д. Королев, В.Г. Секунов // Информационные системы и технологии. 2022. № 1(129). С. 105-113.

2. Коноваленко С.А. Анализ методов контроля состояния процесса функционирования сложных технических систем / С.А. Коноваленко, В.О. Шабля, Г.О. Титов // Наукосфера. 2021. № 12(2). С. 224-230.

3. Шмелев В.В. Концепция интеллектуального мониторинга технических систем с компенсацией негативных факторов процесса передачи и приема информации / В.В. Шмелев, М.Ю. Аванесов // Информация и космос. 2017. № 4. С. 101-106.

4. Виноградов, А.М. Адаптивный контроль технического состояния автономных сложных технических объектов на основе интеллектуальных технология / А.М. Виноградов, Н.П. Будко // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 1. С. 25-35.

5. Легков, К.Е. Модели процессов мониторинга при обеспечении оперативного контроля эксплуатации инфокоммуникационных систем специального назначения / К.Е. Легков, А.Н. Буренин // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2012. № 2. С. 4-7.

6. Способ мониторинга безопасности автоматизированных систем: пат. 2355024 Рос. Федерация / заявитель, патентообладатель Евстигнеев А.С., Зорин К.М., Карпов М.А., Костырев А.Л., Максимов Р.В., Орлов Е.В., Павловский А.В., Военная академия связи имени С.М. Буденного, МО РФ. № 2007105319/09; заявл. 12.02.2007; опубл. 20.08.2008, Бюл. № 13. 15 с.

7. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации [утвержден Федеральной службой по техническому и экспортному контролю России 5 февраля 2021 г.]. М.: ФСТЭК России, 2021. 83 с.

8. Минаев В.А. Модель выявления уязвимостей при нестабильных сетевых взаимодействиях с автоматизированной системой / В.А. Минаев, И.Д. Королев, А.В. Мазин, С.А. Коноваленко // Радиопромышленность. 2018. № 2. С. 48–57.

9. Способ комбинированного контроля состояния процесса функционирования автоматизированных систем: пат. 2758974 Рос. Федерация / заявитель, патентообладатель Коноваленко С.А., Королев И.Д., Стадник А.Н., Маркин Д.И., Рогозин Е.А., Васильев Д.С., Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко», МО РФ. № 2021106246; заявл. 10.03.2021; опубл. 03.11.2021, Бюл. № 31. 57 с.

10. Минаев В.А. Структурно-функциональная модель имитации компьютерных атак на автоматизированные системы / В.А. Минаев, И.Д. Королев, С.А. Коноваленко, Д.С. Васильев, В.Г. Секунов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ, управление. 2020. № 1. С. 3-16.

Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко
Krasnodar Higher Military School named after Army General S.M. Shtemenko

Поступила в редакцию 12.12.2021

Информация об авторе

Коноваленко Сергей Александрович – канд. техн. наук, старший преподаватель, Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко, e-mail: konovalenko_rcf@mail.ru

MODEL OF ADAPTIVE CONTROL OF A SYSTEM OF DETECTING, PREVENTING AND ELIMINATING THE CONSEQUENCES OF COMPUTER ATTACKS

S.A. Konovalenko

In order to improve the efficiency of the system for detecting, preventing and eliminating the consequences of computer attacks (SOPKA), the article has developed a model for adaptive control of its structural elements. A sequential multi-stage procedure for adapting the process under study has been carried out, which provides the ability to control a heterogeneous SOPKA, operated in conditions of frequent occurrences of unstable network interactions with the adaptive control system, with a minimum level of consumption of all types of operating resources. The set of functions implemented by the adaptive control system of heterogeneous SOPKA and allowing to neutralize threats to information security associated with the substitution of its structural elements, to ensure control of its mobile structural elements, to reduce resource consumption, possible redundancy and uncertainty of the results of adaptive control, and also to increase their reliability and information content have been determined. A structural and functional model of adaptive control of a heterogeneous SOPKA has been developed, which describes the iterative process of its functioning and facilitates the possibility of practical implementation of the proposed scientific and technical solutions that allowing to achieve a synergistic effect by setting a sequence for the implementation of existing control methods, taking into account various operating conditions of a heterogeneous SOPKA.

Key words: adaptive control, a system of detecting, preventing and eliminating the consequences of computer attacks.

Submitted 12.12.2021

Information about the author

Sergey A. Konovalenko – Cand. Sc. (Technical), Senior Lecturer, Krasnodar Higher Military School named after Army General S.M. Shtemenko, e-mail: konovalenko_rcf@mail.ru