

УДК: 685.5.011.56

DOI: 10.53816/23061456_2021_11-12_71

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОГЛАСОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ
ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ И ПРОЦЕДУР КОНТРОЛЯ
СОСТОЯНИЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**OPTIMIZATION OF TARGETED OPERATIONS AND STATUS MONITORING
OF CRITICAL TECHNICAL MEANS COORDINATED APPLICATION**

Д-р воен. наук В.Ф. Волков, канд. воен. наук А.С. Пономарев, Е.В. Борунова

Ph.D. V.F. Volkov, Ph.D. A.S. Ponomarev, E.V. Borunova

ВКА им. А.Ф. Можайского

Рассматривается задача определения оптимальной последовательности проведения согласованных процедур управления применением объектов критически важных технических систем (КВТС) и контроля их состояния. В вероятностной модели процесса дистанционного управления и контроля состояния объектов КВТС выполнение целевой задачи интерпретируется как стохастический процесс многошагового перехода процесса из начального состояния в конечное. Модель соответствует принципу проактивного управления для многоэтапной оптимизации. Предложен алгоритм, основанный на пошаговой реализации рекуррентных выражений ретроспективной развертки для различных типов управления. Алгоритм позволяет анализировать влияние различных факторов на степень приближения показателя результативности к максимальному значению.

Ключевые слова: оптимальная последовательность, управляющие воздействия, ретроспективная развертка, ошибки прогнозирования, террористические угрозы, риск заказчика, локально-оптимальный вариант.

It is seemed the task of determining the optimal sequence of management coordinative procedures performing during objects of critical important technical systems (CITS) applying and the status monitoring. Target task completing in the stochastic model is interpreted as a stochastic process of a CITS objects multi-stage transition from the initial stage to the final state. The model respond to the principle of proactive management for multi-stage optimization. It is supposed algorithm based on step by step recompetitive expressions of the retrospective scan realization for different types of management. The algorithm makes it possible to analyze the influence of various factors to the initial value.

Keywords: optimal sequence, controlling influence, retrospective scan, forecasting errors, terrorist threats, customer's risk, locally-the best option.

Функционирование критически важных технических систем (КВТС), перечень которых определен Федеральным законом «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» № 187-ФЗ

от 26.07.2017 осуществляется в условиях участия фактов проявления террористических, техногенных и природных угроз [1, 2, 3]. В качестве знаковых примеров можно привести атаку хакеров на трубопровод Colonial Pipeline

в США, предпринятую группировкой DarkSide (2021), экологические аварии вследствие таяния вечной мерзлоты (2020), чрезвычайная ситуация в транспортной сети «Транснефть» после поступления некондиционной нефти (2019), стихийные бедствия вследствие беспрецедентных негативных изменений климата (2018–2021). Следовательно, алгоритмы математического обеспечения современных и перспективных автоматизированных систем управления (АСУ) КВТС должны учитывать случайный характер упомянутых угроз. Анализ работ по оптимизации применения космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли, соединенных различными каналами передачи данных с центральным и региональными координационно-аналитическими пунктами обработки информации и составляющими ядро подсистемы мониторинга и защиты КВТС от различных воздействий [4, 5, 6, 7], показал, что обоснование оптимальной последовательности проведения согласованных процедур управления применением объектов КВТС и контроля их состояния является новой научной задачей. В данной статье рассматривается один из возможных подходов к определению динамики оптимальных комбинаций процедур контроля и целевых воздействий, учитывающий стохастическую природу результативности и моментов окончания каждого этапа операции применения объектов КВТС.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу оптимального управления применением объектов критически важной технической системы. Вследствие различных технологических ограничений перевод объектов КВТС в различные режимы возможно осуществлять только дистанционно. Для разных вариантов проведения управляющих воздействий и процедур контроля их результатов затраты и последующие доходы организации-заказчика (собственника КВТС) и затраты организации-исполнителя (государственной или коммерческой) могут существенно различаться. Например, вследствие проведения дополнительных сеансов управления вероятность выполнения целевой технической задачи увеличивается, но увеличивается и расход средств

организации-исполнителя (ОИс); вследствие проведения дополнительных операций по распознаванию состояния объекта изменяются вероятности ошибок 1-го и 2-го рода, обуславливающие либо снижение доходов организации-заказчика (ОЗк), либо дополнительные расходы ОИс. Кроме того, повышение вероятности выполнения целевой задачи, как правило, связано с неизбежной потерей времени вследствие специфической (технологической) инерционности как сеанса управления, так и процедур контроля.

Таким образом, требуется определить оптимальную комбинацию элементов управляющей программы и сигналов контроля исполнимости в соответствии с критериями, выбранными (назначенными) ОЗк и согласованными с ОИс.

Вероятностная модель процесса дистанционного управления и контроля состояния объектов КВТС

Процесс перевода объекта КВТС в заданный режим обеспечивается расходом m ресурсов на целевые технические операции, расходом r ресурсов на осуществление контроля результативности (распознавание состояния объекта КВТС), сопровождается временными затратами t_{Σ} на все операции (процедуры) и заканчивается наступлением одного из случайных событий D_i , общее число которых зависит от имеющегося резерва M средств.

Суть вероятностной модели процесса согласованного управления применением и контролем результата рассмотрим на примере. Пусть $M=3$ и первый сеанс управления (дистанционный перевод в новый режим) проводится по решению заказчика сразу, без предварительного контроля состояния объекта КВТС. Необслуженный объект (задача не выполнена) представим в виде символа \circ , также обозначается и его начальное состояние, обслуженный объект (переведён в новый штатный плановый режим) обозначим символом \oplus , операцию контроля — в виде \square .

Проанализируем все возможные варианты достижения цели операции (за заданное время имеющимися ресурсами выполнить плановую техническую задачу).

A_1 — задача выполнена с первой попытки:
 $\circ \rightarrow \oplus \square$: $m = 1$; $z = 1$; $t_{\Sigma} = t_1 + t_{p1}$, где

t_1 — продолжительность i -го сеанса управления;

t_{p1} — продолжительность j -й операции контроля (в данном варианте $i=1, j=1$);

m — номер попытки проведения сеанса управления, $m=1, \dots, M$;

r — расход ресурсов контроля.

$A_2 \rightarrow \circ \rightarrow \circ \square \rightarrow \oplus \square$: $m=2$; $r=2$; $t_\Sigma = t_1 + t_{p1} + t_2 + t_{p2}$;

$A_3 \rightarrow \circ \rightarrow \circ \rightarrow \circ \rightarrow \oplus \square$: $m=3$; $r=3$; $t_\Sigma = t_1 + t_{p1} + t_2 + t_{p2} + t_3 + t_{p3}$;

$A_4 \rightarrow \circ \rightarrow \circ \square \rightarrow \circ \square \rightarrow \circ \square \square$: отрицательный исход; требует подготовки и проведения новых мероприятий и, соответственно, будет иметь место существенный перерасход средств, нацеленных на ликвидацию отставания в выполнении задач более высокого уровня, требуется время на поиск средств для компенсации срыва выполнения задачи.

$A_5 \rightarrow \circ \rightarrow \circ \square \rightarrow \circ \rightarrow \oplus \square$: $m=3$; $r=3$; $t_\Sigma = t_1 + t_{p1} + t_2 + t_{p2} + t_3 + t_{p3}$ (дополнительный расход ресурса без уточнения результата второй попытки (установка высших звеньев управления: повисить гарантию выполнения задачи за счет дополнительных затрат ресурса и частично «ускорения» времени).

$A_6 \rightarrow \circ \rightarrow \circ \square \rightarrow \circ \rightarrow \circ$: целевая задача не выполнена, все участники процесса получают существенный ущерб (в ущерб ОЗк необходимо включить упущенную прибыль, ожидание дохода и т.п., в ущерб ОИс — штрафы).

Таким образом, выполнение целевой задачи можно интерпретировать как стохастический процесс многоэтапного перехода объекта КВТС из начального состояния в конечное.

Через $D^{(j)}$ будем обозначать состояние системы, соответствующее проведению j неуспешных сеансов управления и контроля; $j=0(1)(M-1)$; через $D^{(M)}$ — конечное состояние системы; через $K^{<1...l>}$ — тип управления (например, $K^{<1...1>}$ — контроль состояния объекта сразу после сеанса управления, $K^{<22...221>}$ — контроль осуществляется через 2 сеанса (экономится время на инерционную процедуру контроля); $K^{<112...22>}$ — дискретность контроля «растягивается» и т.д.).

В рамках статьи примем допущение, что при разработке концепции оптимизации данного процесса были установлены три типа управляющих воздействий для каждого этапа: $K^{(1)}$ — сеанс управления проводится без после-

дующей процедуры распознавания состояния объекта КВТС; $K^{(2)}$ — после каждого сеанса проводится контроль факта перехода объекта КВТС в требуемый режим; $K^{(3)}$ — проведение управляющих воздействий и процедур контроля прекращается по решению ОЗк. Следует отметить, что если ОЗк и ОИс — организации с государственным участием, то их доходы и затраты суммируются в некоторый обобщенный показатель.

Выбор оптимальной комбинации управляющих воздействий и процедур контроля

В известных работах по оптимальному управлению реализацией планов применения КВТС [8, 9] не предусмотрена ретроспективная развертка вычислительного процесса, учитывающая результаты контроля состояния объекта КВТС. В соответствующих методиках и моделях на каждом шаге хода выполнения плановой задачи, начиная со второго, рассчитываются компоненты корректирующего вектора, изменяющего числовые характеристики закона распределения продолжительности последующего шага с целью максимизации вероятности достижения требуемого эффекта при жестком ограничении на продолжительность операции и стоимость дополнительно привлекаемых ресурсов [9]. В функциональных уравнениях, входящих в алгоритмы данного класса, ошибки распознавания состояния объекта КВТС, а также параметры доверительных интервалов исходной информации (об обстановке) не учитываются. В связи с данным обстоятельством, необходимо разработать алгоритм, учитывающий результаты контроля исполнения управляющих воздействий.

Из изложенного следует, что, если объект КВТС находится в состоянии $D^{(j)}$, $j=0(1)(M-1)$, то выигрыш на некотором l -м этапе зависит от типа управления.

Введём обозначения:

v — вероятность реализации одношаговой операции управления (например, по переводу из одного штатного режима в другой);

c_m — стоимость управленческого ресурса, расходуемого на одну попытку;

z_r — стоимость операции контроля состояния объекта КВТС;

R — показатель выходного эффекта (доход от успешного штатного функционирования объекта КВТС; предотвращенный ущерб и т.п.).

Найдём связь между средним выигрышем при нахождении системы в состоянии $D^{(j)}$, $j = 0(1)(M-1)$ и типом управления.

Для первого типа управления ($K^{(1)}$): $V_{j,j+1} = -C_j + R(1-v)^j \cdot v + 0[1-(1-v)^j v]$ (при ином, более строгом подходе вместо нуля подставляются некоторые штрафы со знаком минус).

Для второго типа управления ($K^{(2)}$): $V_{j,j+1} = -c_m - z_r + R(1-v)^{j+1} + 0 \cdot [1-(1-v)^{j+1}]$.

Выигрыш для третьего типа управления ($K^{(3)}$) приравняем к нулю:

$$V_{j,j+1}(K^{(3)}) = 0.$$

Далее, применив принцип проактивного управления для многоэтапной оптимизации и учитывая требование нахождения глобального оптимума (независимо от числа локальных экстремумов), сформулируем правила управления для каждого этапа и каждого состояния.

В соответствии с логикой учёта возможности любого хода событий, необходимо первоначально просчитать выигрыш на последнем этапе. Система после $(M-1)$ -го этапа может находиться либо в состоянии $D^{(M)}$ (цель достигнута, но возможны и другие причины остановки процесса), либо в состояниях $D^{(M-1)}, D^{(M-2)}, \dots, D^{(1)}$, для которых возможна реализация двух типов управления — ($K^{(1)}$) и ($K^{(3)}$). При применении управления ($K^{(1)}$) математическое ожидание выигрыша на последнем этапе равно

$$V_M(D^{(j)}, K^{(1)}) = R(1-v)^j \cdot v - c, j = 0(1)(M-1).$$

После алгебраических преобразований получаем рекуррентные выражения для ретроспективной развертки.

Если результат $(n-1)$ -го этапа — состояние $D^{(M)}$, то необходимым управляющим воздействием является $K^{(3)}$, т.е. выигрыш на всех оставшихся этапах равен нулю. Если результат $(n-1)$ -го этапа с состоянием $D^{(j)}$, $j = 0(1)(n-1)$, то при управлении $K^{(1)}$ выигрыш рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} \bar{V}_n(D^{(j)}, K^{(1)}) + \bar{V}_{(n+1), \dots, M}(D^{(j)}, K^{(1)}) = \\ = R(1-v)^j \cdot v - c_m + \bar{V}_{n+1, \dots, M}(D^{(j+1)}). \end{aligned}$$

При управлении $K^{(2)}$ в этой же ситуации функциональное уравнение имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{V}_{n, (n+1), \dots, M}(D^{(j)}, K^{(2)}) = R(1-v)^j \times \\ \times v - C_m - z_r + (1-v)_{(n+1), \dots, M}^{(j+1)r^*}(D^{(0)}). \end{aligned}$$

При управлении $K^{(3)}$, если после $(n-1)$ -го этапа система оказалась в состоянии $D^{(j)}$, $j = 0(1)(n-1)$, средний выигрыш на всех остальных этапах будет равен нулю.

Результаты расчетов и их анализ

Рассмотрим реализацию предлагаемого алгоритма на примере дистанционного управления и контроля перевода в требуемый режим гипотетической КВТС при следующих исходных данных: $M=6$; $v=0,3$; $c_m=1$; $z_r=0,4$; $R=8$.

В соответствии с логикой оптимизации на конечном числе шагов реализацию разработанного алгоритма управления начинаем с шестого этапа. Если после пяти предыдущих этапов действия по управлению и контролю уже прекращены (т.е. процесс находится в состоянии $(D^{(0)})$, то применяем управление третьего типа ($K^{(3)}$), при этом средний выигрыш равен нулю $\bar{V}_6(D^{(0)}) = 0$. Если процесс оказался в других состояниях $D^{(j)}$, $j = 0(1)(5)$, то при $R(1-v)^j \cdot v - c_m \geq 0$ применяется тип управления $K^{(1)}$ и наоборот при $R(1-v)^j \cdot v - c_m < 0$ применяется тип управления $K^{(3)}$.

Результаты расчетов разности $R(1-v)^j \cdot v - c_m$, максимальный средний выигрыш $\bar{V}_6(D^{(j)})$ и оптимальный тип управления $K^*(D^{(j)})$ представлены в табл. 1. По данным таблицы можно сделать следующий обобщенный вывод. Если после пяти попыток перевести объект в заданный режим задача не выполнена, и при этом результаты поступили при $j=0$ («только что»), при $j=1$ и при $j=2$, то нужно реализовать последнюю (по ресурсу) попытку, а контроль уже не проводить. Если с момента последнего контроля проведено 3, 4 и 5 попыток, то процесс продолжать нецелесообразно.

Для подготовки к оптимизации на пятом этапе (здесь возможно применение всех трёх

Таблица 1

Условная оптимизация на последнем этапе

j	0	1	2	3	4	5
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - c_m$	1,4	0,68	0,176	-0,177	-0,424	-0,597
Наибольший выигрыш $\bar{V}_6^*(D^{(j)})$	1,4	0,68	0,18	0	0	0
Локально-оптимальный вариант управления K_6^*	Первый	Первый	Первый	Третий	Третий	Третий

типов управления) учитываем, что величина $\bar{V}_6^*(D^{(j)})$ уже рассчитана:

$$\bar{V}_{M-1,M}^*(D^{(j)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} 0; \left[R(1-\nu)^j \cdot \nu - c_m + \bar{V}_M^*(D^{(j+1)}) \right]; \\ \left[R(1-\nu)^j \cdot \nu - c_m - z_r + (1-\nu)^{(j)} \bar{V}_M^* D^{(0)} \right] \end{array} \right\}.$$

Отметим также, что результаты применения третьего типа управления всегда «нулевые», поэтому тип $K^{(3)}$ целесообразно применять только если получаемый средний выигрыш — отрицательная величина. Результаты расчетов по определению оптимального управления на пятом (предпоследнем) этапе представлены в табл. 2.

По результатам условно-оптимизационных вычислений для подготовки решения о действиях после четвертого этапа делаем выводы о нецелесообразности проведения контроля (распознавания состояния объекта) при $j=0$ и нецелесообразности продолжения процесса после трех подряд неудачных попыток перевода объекта КВТС в требуемый режим (при принятых исходных данных).

Результаты расчетов по определению оптимального управления на четвертом этапе представлены в табл. 3.

Результаты расчетов по определению оптимального управления на третьем этапе представлены в табл. 4.

Результаты расчетов по определению оптимального управления на втором этапе представлены в табл. 5.

Таким образом, для принятых в примере исходных данных (ИД) определены управляющие процедуры, обеспечивающие достижение цели за заданное время имеющимися ресурсами.

На первом этапе — это безусловное оптимальное управление $K_1^* = K^{(1)}$. На последующих этапах это рациональная комбинация условно-оптимальных воздействий $K_2^*(D^{(1)}) \rightarrow K_3^*(D^{(2)}) \rightarrow K_4^*(D^{(3)}) \rightarrow K_5^*(D^{(3)}) \rightarrow K_6^*(D^{(5)})$. Достижимый за счет такого управления выигрыш равен $V^* = 3,03$; выигрыш при других комбинациях сеансов контроля и процедур управления будет меньшим, табл. 6.

Следует отметить, что при направленном переборе массива различных сочетаний ИД предлагаемый алгоритм дает возможность проанализировать влияние различных факторов, входящих в состав комплекса ИД (соотношение величин: $M; \nu; c_m; z_r; R$), на степень приближения показателя результативности V^* к исходному значению R .

В работах по внешнему проектированию целенаправленных процессов и целеустремленных систем [7] обосновано, что наиболее объективным показателем эффективности является вероятность достижения цели, при оценивании которой необходимо учитывать

Таблица 2

Условная оптимизация на предпоследнем этапе

j	0	1	2	3	4
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - c_m + \bar{V}_6^*(D^{(j+1)})$	2,08	0,856	0,176	-0,177	-0,424
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - c_m - z_r + (1-\nu)^{(j+1)} \bar{V}_6^* D^{(0)}$	1,98	0,966	0,256	-0,241	-0,589
Наибольший выигрыш $\bar{V}_{5,6}^*(D^{(j)})$	2,08	0,966	0,256	0	0
Локально-оптимальный вариант управления K_5^*	Первый	Второй	Второй	Третий	Третий

Таблица 3

Условная оптимизация на четвёртом этапе

j	0	1	2	3
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - c + \bar{V}_6^*(D^{(j+1)})$	2,456	1,2992	0,489	-0,078
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - c - z_r + (1-\nu)^{(j+1)} \bar{V}_6^*(D^{(0)})$	2,66	1,142	0,0794	-0,664
Наибольший выигрыш $V_{4,5,6}^*(D^{(j)})$	2,456	1,142	0,0794	0
Локально-оптимальный вариант управления K_4^*	Первый	Второй	Второй	Третий

Таблица 4

Условная оптимизация на третьем этапе

j	0	1	2
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - C + V_6^*(D^{(j+1)})$	2,456	1,2992	0,489
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - C - z_r + (1-\nu)^{(j+1)} V_6^*(D^{(0)})$	2,66	1,142	0,0794
Наибольший выигрыш $V_{3,4,5,6}^*(D^{(j)})$	2,456	1,142	0,0794
Локально-оптимальный вариант управления K_3	Первый	Второй	Второй

Таблица 5

Условная оптимизация на втором этапе

j	0	1
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - C + V_6^*(D^{(j+1)})$	2,456	2,888
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - C - z_r + (1-\nu)^{(j+1)} V_6^*(D^{(0)})$	2,06	1,142
Наибольший выигрыш $V_{2,3,4,5,6}^*(D^{(j)})$	2,456	2,888
Локально-оптимальный вариант управления K_2^*	Первый	Второй

Таблица 6

Условная оптимизация на первом этапе

j	0
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - C + V_6^*(D^{(j+1)})$	2,456
Выигрыш $R(1-\nu)^j \cdot \nu - C - z_r + (1-\nu)^{(j+1)} V_6^*(D^{(0)})$	3,03
Наибольший выигрыш $V_{1,2,3,4,5,6}^*(D^{(j)})$	3,03
Локально-оптимальный вариант управления K_1^*	Первый

не только показатели результативности (его вычисление рассмотрено выше), но и показатель оперативности, и показатель ресурсозатратности. При определении условного закона распределения временных затрат необходимо учитывать различные технологические ограничения на вероятность проведения как управляющих воздействий, так и процедур контроля (соответствующие функции имеет неодинаковые разрывы (временные разрывы могут быть обусловлены ограничениями прохождения сигнала в соответствующей среде — под землей, в различных слоях атмосферы, в океане; продолжительность сеансов и процедур также может быть различной — от единиц до десятков минут). При определении условного закона распределения расхода ресурсов необходимо учитывать, что для многих систем контроль состояния объектов КВТС может быть проведен только инерционно, по косвенным признакам, измеряемым с ошибками различной природы. Следовательно, даже при накоплении большого объема априорной статистической информации будут иметь место ошибки 1-го рода (принятие ошибочного решения о неудачно проведенной процедуре контроля при фактически верном распознавании состоянии объекта) и ошибка 2-го рода (принятие ошибочного решения о достоверном распознавании требуемого состояния при нахождении объекта в «нежелательном» состоянии). Риск α организации-заказчика и риск β организации-исполнителя определяется через законы распределения результатов измерений ключевых параметров и статистической информации о погрешностях измерений. Следует отметить, что, т.к. распознавание состояния проводится по совокупности ключевых параметров, то для принятия адекватного решения требуется определение «суммарных» рисков ОЗк и ОИс. Алгоритм их расчета заключается в следующем. Пусть вероятность того, что по результатам измерений f -го параметра не будет совершена ошибка первого рода, равна $1 - \alpha_f$. Тогда вероятность отсутствия ошибки по B параметрам равна $\prod_{f=1}^B (1 - \alpha_f)$; «суммарный» риск организации – заказчика вычисляется по формуле

$$\alpha_{\Sigma} = 1 - \prod_{f=1}^B (1 - \alpha_f).$$

Аналогично рассуждая, получаем формулу для расчета «суммарного» риска организации-исполнителя:

$$\beta_{\Sigma} = 1 - \prod_{f=1}^B (1 - \beta_f).$$

Таким образом, при перерасчете обобщенного выигрыша необходимо учитывать потенциальный ущерб Y_b^3 заказчика и дополнительные расходы Y_b^u исполнителя по формуле $\beta_b Y_b^3 + \alpha_b Y_b^u$, где b — номер этапа рассматриваемого процесса (с ростом b величины Y_b^3, Y_b^u возрастают). Кроме того, при привлечении к работам коммерческих организаций – исполнителей в формулах для расчета выигрышей (при управляющих воздействиях и $K^{(1)}$, и $K^{(2)}$) вместо нуля в множителе второго слагаемого должна быть подставлена величина штрафа за неподлежащее исполнению соответствующего договора.

В общем случае, при отсутствии ряда принятых допущений, поиск оптимальных способов согласования управляющих воздействий и контролирующих процедур необходимо осуществлять в рамках имитационного моделирования, например, методом Монте-Карло, алгоритм которого будет адекватно отображать информационный обмен между компонентами системы. Например, методом статистического моделирования наиболее оперативно можно создать алгоритм, учитывающий «динамику» данных о разрушениях при авариях и о сбоях в информационной совместимости, а также изменения в юридическом сопровождении, возникающие при переходе от одного этапа долгосрочного процесса к следующему.

Заключение

Предложен один из возможных подходов к ситуационному определению оптимальных комбинаций процедур контроля и целевых воздействий, учитывающий стохастическую природу результативности и моментов окончания каждого этапа операции применения объекта КВТС. Вероятностная модель процесса соответствует принципу проактивного управления для многоэтапной оптимизации. Реализация разработанного вычислительного алгоритма в составе комплекса алгоритмов специального математического обеспечения АСУ СКТС позволит обе-

спечить выполнение требований по результативности применения КВТС.

Литература

1. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» // СПС Консультант Плюс // Опубликовано 26.07.2017 г. на официальном интернет-портале правовой информации http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885
2. Офицеров А.И., Басов О.О., Бачурин С.С. Концептуальные основы обеспечения комплексной безопасности критически важных объектов // Экономика. Информатика. 2020. № 47(1). С. 154–163.
3. Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система предупреждения о компьютерном нападении: научная монография. Университет Иннополис: Издательский дом «Афина». 2018. 448 с.
4. Солдатенко С.А., Юсупов Р.М., Колман Р. Кибернетический подход к проблеме взаимодействия общества и природы в условиях беспрецедентно меняющегося климата // Труды СПИИРАН. 2020. № 1. Том 19. С. 5–42.
5. Патент РФ № 02296421, 27.03.2007. Система автоматизированного контроля состояния потенциально опасных объектов Российской Федерации в интересах обеспечения защиты от техногенных, природных и террористических угроз // Патент России № 02296421 МПК H04B 7/185. 2007. Бюл. № 23 (II ч.) / Иванов В.Л., Меншиков В.А [и др.].
6. Ахметов Р.Н. Байпасность как атрибут живучести автоматических космических аппаратов в аномальных полётных ситуациях / Р.Н. Ахметов, В.П. Макаров, А.В. Соллогуб // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2015. № 4 (44). С. 9–21.
7. Малышев В.В., Красильщиков М.Н. и др. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление: учебник. — М.: Изд-во МАИ. 2000. 568 с.
8. Арсеньев В.Н. и др. Коррекция вероятностей гипотез о технических состояниях изделия военной техники в процессе эксплуатации // Труды ВКА. 2020. № 672. С. 98–104.
9. Иванов Д.А., Иванова М.А., Соколов Б.В. Анализ тенденций изменения принципов управ-

ления предприятиями в условиях развития технологий индустрии 4.0 // Труды СПИИРАН. 2018. № 5 (60). С. 97–127.

References

1. Federal Law 26.07.2017 № 187 «About the security of critical information infrastructure of the Russian Federation» // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885
2. Oficerov A.I., Basov O.O., Bachurin S.S. Conceptual framework for ensuring integrated security of critical important objects. — M.: Economy. Computer science. 2020. № 47(1). P. 154–163.
3. Petrenko S.A., Stupin D.D. National computer attack warning system: scientific monograph // InnoPolis University: M.: Afina Publishing House. 2018. 448 p.
4. Soldatenko S.A., Yusupov R.M., Coleman R. A cybernetic approach to the problem of interaction between society and nature in an unprecedented changing climate // Proceedings of SPIIRAN 2020. № 1. Vol. 19. P. 5–42.
5. The patent of Russian Federation № 02296421, 27.03.2007. The system of automated control of potentially dangerous objects state of the Russian Federation in interests of ensuring protection against man-made, natural and terrorist threats // The patent № 02296421, Russian Federation, Bulletin № 23 (II) / Ivanov V.L., Menshikov V.A. and others.
6. Ahmetov R.N. Bypass capacity as an attribute of automatic spacecrafts survivability in abnormal flight situations / R.N. Ahmetov, V.P. Makarov, A.V. Sologub // Bulletin of Samara State Aerospace University. 2015. № 4 (44). P. 9–21.
7. Malishev V.V., Krasilschikov M.N. and others Satellite monitoring systems. Analysis, synthesis and management: textbook. — M.: MAI Publishing House. 2000. 568 p.
8. Arsen'ev V.N. and others Correction of hypotheses about the technical conditions of a military equipment product during operation probabilities // Proceedings of Military Space Academy. 2020. № 672. P. 98–104.
9. Ivanov D.A., Ivanova M.A., Sokolov B.V. Analysis of trends in principles of enterprise management in the context of the industry 4.0 technologies development // Proceedings of SPIIRAN. 2018. № 5. Vol. 60. P. 97–127.