

Оценивание качества функционирования систем синхронизации при испытаниях и применении ракетно-космической и специальной техники с использованием теории эффективности целенаправленных процессов

© П. Н. Паршин

АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург, Россия

Представлено абстрагирование, формализация, обобщённая структура среды моделирования и математизация оценивания качества процессов функционирования системы синхронизации при испытаниях и применении ракетно-космической и специальной техники с использованием теории эффективности целенаправленных процессов.

Ключевые слова: системы синхронизации, шкала времени, частотно-временная информация, теория эффективности целенаправленных процессов.

При испытаниях и применении ракетно-космической и специальной техники системы синхронизации (СС) являются основным объектом частотно-временного обеспечения потребителей (измерительных станций, вычислительных средств и т. п.) и обеспечивают синхронную работу средств измерительных, полигонных, ракетных, космических комплексов (систем) специального назначения. СС представляют собой разнесённые по территории Земли объекты наземной инфраструктуры и объекты, находящиеся в космическом пространстве. Проведём исследования перспективной СС с использованием теории эффективности целенаправленных процессов. Будем считать, что СС — это целеустремлённая техническая система (ЦУТС). За операцию будем понимать процесс функционирования системы, т. е. выполнение СС целевых функций [1]. Элементами ЦУТС будем считать входящие в подсистемы ЦУТС объекты, которые не имеют в рамках конкретной операции самостоятельной цели и не подлежат расчленению на части.

СС разделим на три подсистемы ЦУТС:

— подсистема средств передачи частотно-временной информации (ПСрПЧВИ);

- подсистема контроля и управления (ПКУ);
 - подсистема аппаратуры потребителей (ПАП).
- Элементы подсистем ЦУТС разделим следующим образом.

Элементы ПСрПЧВИ ЦУТС:

- а) космические средства передачи ЧВИ – элемент 1а;
- б) длинноволновые средства передачи ЧВИ – элемент 1б;
- в) сверхдлинноволновые средства передачи ЧВИ – элемент 1в.

Элементы ПКУ ЦУТС:

- а) центр контроля и управления ШВ СС (далее – ЦУС) – элемент 2а;
- б) контрольные пункты (КП) – элемент 2б;
- в) система передачи данных – элемент 2в.

Элементы ПАП ЦУТС:

- а) аппаратура наземного потребителя – элемент 3.1а;
- б) аппаратура морского потребителя – элемент 3.1б;
- в) аппаратура воздушного потребителя – элемент 3.1в;
- г) аппаратура космического потребителя – элемент 3.1г.;
- д) аппаратура наземного мобильного потребителя – элемент 3.1д;
- е) аппаратура наземного стационарного системного потребителя – элемент 3.2а;
- ж) аппаратура мобильного стационарного системного потребителя – элемент 3.2б;
- з) аппаратура воздушного стационарного системного потребителя – элемент 3.2в.

4. Элементы ЦУТС:

- а) ГЭВЧ – элемент 4.а;

Целью СС является обеспечение с заданной точностью синхронизации ШВ потребителей с ШВ Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭВЧ) UTC (SU) [2]. Функции СС рассмотрим как отдельные операции с общей целью:

— операции по синхронизации шкал времени (ШВ) элементов ПАП со ШВ UTC (SU) по сигналам, передаваемым элементами 1а, 1б, 1вс заданной точностью;

— операция по контролю состояния ШВ элементов 3.2а, 3.2б, 3.2в относительно ШВ элементов 4а, 2а, 2б;

— операция по доставке контрольной частотно-временной информации (КЧВИ) к элементу 2а, 2б от элементов 3.2а, 3.2б, 3.2в с использованием элемента 2в;

— операция по доставке управляющей частотно-временной информации (УЧВИ) к элементам 3.2а, 3.2б, 3.2в от элемента 2а с использованием элемента 2в.

Задачей ЦУСТ будем считать непрерывное обеспечение синхронизации ШВ элементов ПАП со ШВ элементов 4а, 2а, 2б с учётом возможности выполнения соответствующих операций с требуемой точностью при оперативно-

целесообразных вариантах радиоэлектронного подавления противником элементов ЦУСТ. На рис. 1 представлена структурная схема функционирования СС ВДН [1].

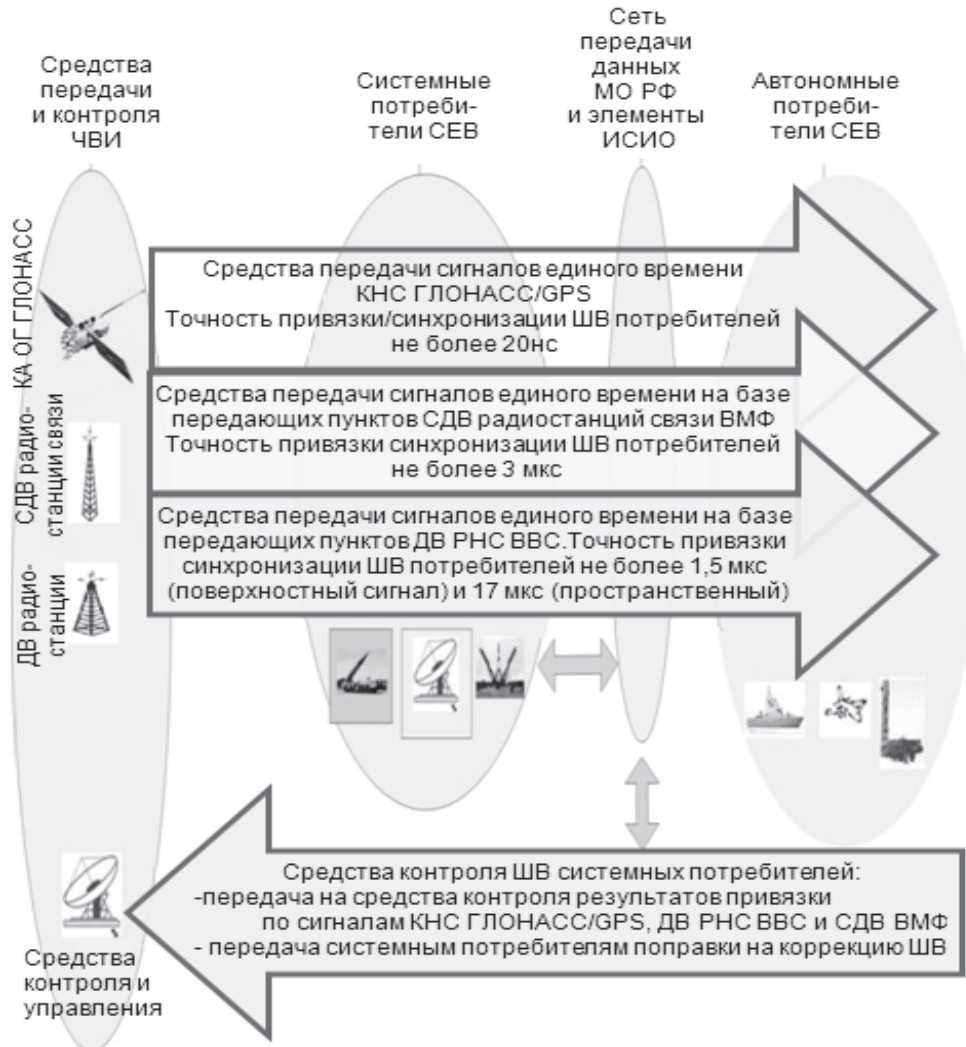


Рис. 1. Структурная схема функционирования СС ВДН (ВДН — военное и двойное назначение; СЕВ — система единого времени; МО РФ — Министерство обороны Российской Федерации; ИСИО — интегрированная система информационного обмена; КА ОГ ГЛОНАСС — космические аппараты орбитальной группировки; СДВ — сверхдлинная волна; КНС ГЛОНАСС/GPS — космические навигационной системы; ВМФ — военно-морской флот; ДВ РНС ВВС — длинноволновые радионавигационные станции военно-воздушных сил)

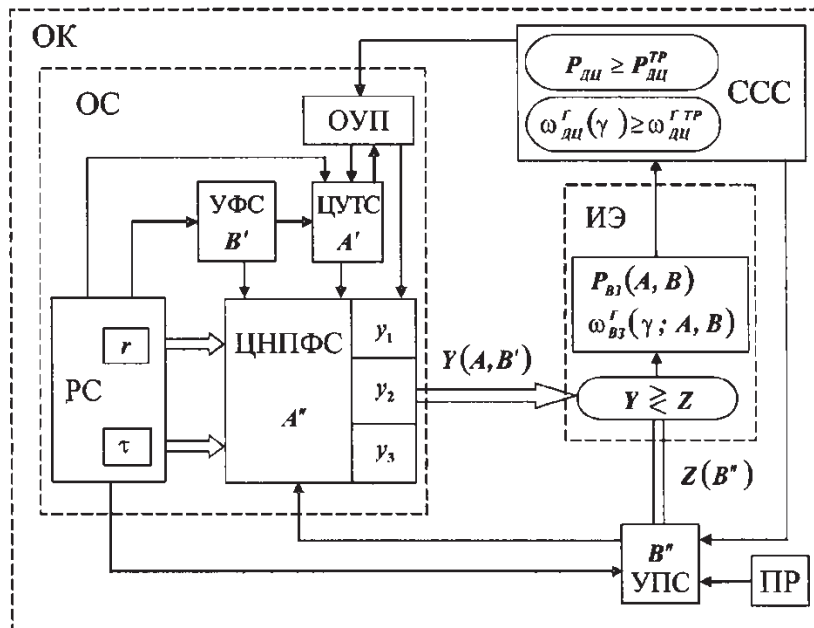


Рис. 2. Обобщённая структурная схема среды моделирования теории эффективности целенаправленных процессов (ОК — операционный комплекс; ОС — операционная система; ОУП — орган управления; СССР — суперсистема; УФС — условия функционирования ЦУТС; ЦНПФС — целенаправленный процесс функционирования системы; ИЭ — измеритель эффективности ЦНПФС; УПС — условия применения ЦУТС; ПР — противник (природа, конкурент и т. д.); РС — ресурсы)

Исследования принципов и методов количественного оценивания и анализа качества результатов целевого функционирования СС будем проводить при моделировании процессов функционирования СС ВДН с использованием теории эффективности целенаправленных процессов. На рис. 2. приведена обобщённая структурная схема среды моделирования теории эффективности целенаправленных процессов [1].

Основным объектом исследования теории эффективности является операция, т. е. целенаправленный процесс функционирования ЦУТС (ЦНПФС). При этом цель исследования — выявление факторов, обуславливающих основные (существенные для анализа) свойства ЦНПФС, анализ влияния этих факторов на качество ЦНПФС, т. е. на его соответствие целям операции, определение принципов, путей и методов организации (планирования и обеспечения) и последующего управления ЦНПФС, обеспечивающих его наивысшее качество [1].

При оценивании качества объектов СС, описываемых n -мерным векторным показателем, реализуется совокупность критериев, каждый из которых в общем случае может принадлежать одному из трёх классов:

- классу {G} критериев пригодности;
- классу {O} критериев оптимальности;
- классу {S} критериев превосходства.

Приведём их математические формулировки.

Пусть y_i^j , $[i = 1(1)n; j = 1(1)m]$ – показатель i -го свойства j -го объекта, т. е. показатель качества j -го объекта есть вектор $Y_{(n)}^j = (y_1^j, y_2^j, \dots, y_n^j)$;

$\{y_i^{\partial}\}$ – множество (область) допустимых значений показателя y_i^j или в векторной форме $\{Y_i^{\partial}\} = \{y_1^j, y_2^j, \dots, y_n^j\}$. Критерии перечисленных выше классов имеют следующие определения.

Критерий пригодности:

$$G: \quad \bigcap_{i=1}^n (y_i^j \in \{y_i^{\partial}\}) \cong U, [j = 1(1)m], \quad (1)$$

где U – достоверное событие (истинное высказывание);

\cap – символ булева пересечения событий (конъюнкции высказываний).

В векторной форме критерий (1) принимает следующий вид:

$$G: \quad (Y_{(n)}^j \in \{Y_{(n)}^{\partial}\}^{\text{ПП}}) \cong U, [j = 1(1)m], \quad (1')$$

где $\{Y_{(n)}^{\partial}\}^{\text{ПП}}$ – область допустимых значений показателя качества пригодного объекта.

По определению, объекты, для которых выполняются условия (1), (1'), пригодны для использования по назначению. При этом все они обладают одинаковым качеством.

Пример 1: Критерий (1') иллюстрируется рис. 3 для операции по синхронизации ШВ элемента ПАП с ШВ элемента 4а UTC (SU) по сигналам, передаваемым элементом 1а. При следующих условиях:

$$\text{где } n = 2; m = 5; \quad \{Y_{(2)}^{\partial}\}^{\text{ПП}} = \{y_1', y_1''\} \times \{y_2', y_2''\}.$$

y_1 – временная ось;

y_2 – ось положения ШВ элемента ПАП относительно ШВ UTC (SU);

$y_1' y_1''$ – временной интервал синхронизации ШВ элемента ПАП со ШВ элемента 4а UTC (SU);

$y_2' y_2''$ – требуемое положение ШВ элемента ПАП относительно ШВ UTC (SU) по сигналам, передаваемым элементом 1а.

Как видно из рис. 3, в приведённом примере объекты 1-й, 2-й, 3-й и 5-й пригодны, а 4-й не пригоден, т. е. $\{Y_{(2)}^{\partial}\}^{\text{ПП}} = \{Y_{(2)}^1, Y_{(2)}^2, Y_{(2)}^3, Y_{(2)}^5\}$.

Критерий оптимальности:

$$O: \quad \bigcap_{i=1}^n (y_i^j \in \{y_i^{\partial}\}) \cap \bigcap_{k \in \{k\}_{n_0}} (y_k^j = y_k^{\text{ОПТ}}) \cong U, [n_0 = 1(1)n; j = 1(1)m], \quad (2)$$

где $y_k^{\text{ОПТ}}$ – оптимальное значение показателя k -го свойства;

n_0 – объём множества $\{k\}_{n_0}$ номеров (число) оптимизируемых свойств объекта.

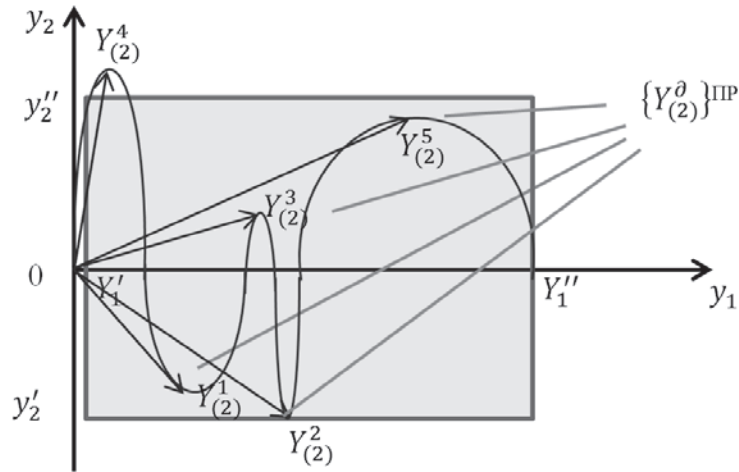


Рис. 3. Графическая иллюстрация критерия пригодности

В векторной форме критерий (2) принимает вид

$$O: (Y_{(n)}^j \in \{Y_{(n)}^\delta\}) \cap (Y_{(n)}^\delta = Y_{(n)}^{\text{опт}}) \cong (Y_{(n)}^j \in \{Y_{(n)}^\delta\}^{\text{опт}}) \cong U, [j = 1(1)m], \quad (2')$$

где $\{Y_{(n)}^\delta\}^{\text{опт}}$ — область допустимых значений показателя качества оптимального объекта.

По определению объект, для которого выполняются условия (2'), называется оптимальным по k -му свойству, т. е. по n_0 свойствам. Понятно, что такой объект должен быть и пригодным.

Пример 2: Критерий (2') иллюстрируется рис. 4, построенным в условиях примера 3 для случая

$$n_0 = 1; k = 1; \{Y_{(2)}^\delta\}^{\text{опт}} = \{y_1^{\text{опт}}\} \times [y_2', y_2''].$$

Как видно из рис. 4 в приведенном примере 1-й и 3-й объекты оптимальны по первому свойству (по показателю y_1^j), т. е. $\{Y_{(2)}^\delta\}^{\text{опт}} = \{Y_{(2)}^2, Y_{(2)}^3\}$, где y_1^j — показатель в пределах ± 0.5 мкс относительно ШВ UTC (SU).

Критерий превосходства:

$$S: \bigcap_{i=1}^m \bigcap_{i=1}^n (y_i^\delta \in \{y_i^\delta\}) \cap \bigcap_{i=1}^n \bigcap_{i \neq l} (y_i^l \geq y_i^j) \cong U, [l = 1(1)m], \quad (3)$$

где l — номер превосходного объекта.

В векторной форме критерий (3) принимает вид

$$S: \bigcap_{j=1}^m (Y_{(n)}^j \in \{Y_{(n)}^\delta\}) \cap (Y_{(n)}^l \geq Y_{(n)}^j) \cong (Y_{(n)}^l \in \{Y_{(n)}^\delta\}^{\text{прев}}) \cong U, \quad (3')$$

где $(Y_{(n)}^l \geq Y_{(n)}^j)^d \cong \bigcap_{i=1}^n (y_i^l \geq y_i^j)$, где $\{Y_{(n)}^\delta\}^{\text{прев}}$ — область допустимых значений показателя качества превосходного объекта.

По определению, объект, для которого выполняются условия (3), превосходит по качеству все остальные объекты. Если $\bigcap_{i=1}^n (y_i^l = y_i^j) \cong U$, то качества i -го и j -го объектов признаются одинаковыми. Если же хотя бы одно из

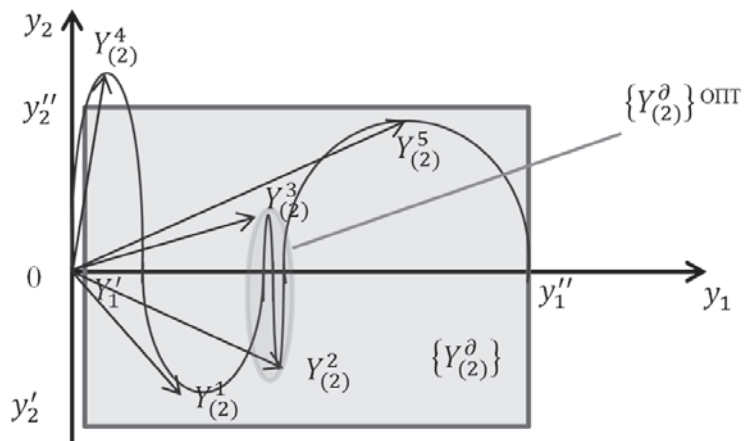


Рис. 4. Графическая иллюстрация критерия оптимальности

условий (3) не выполняется, то это означает, что заданная совокупность показателей свойств не позволяет выявить объект, превосходящий по качеству все остальные из числа исследуемых.

Пример 3: Критерий (3') иллюстрируется рис. 5, построенный в условиях примеров 1 и 2, т. е.

$$\{Y_{(2)}^{\delta}\}^{\text{прев}} = \{Y_{(2)}^3\}.$$

Как следует из рис. 5, на заданной совокупности объектов 3-й объект является превосходным несмотря на то, что имеет место соотношение $y_2^4 > y_2^3$ поскольку 4-й объект не пригоден и, следовательно, не конкурентоспособен по сравнению с остальными.

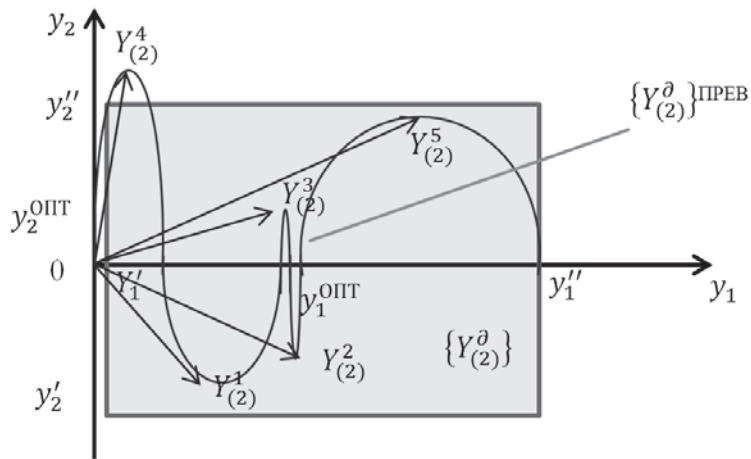


Рис. 5. Графическая иллюстрация критерия превосходства

Приведённые выше формулировки (1) – (3) критериев предназначены для сравнительного оценивания качества объектов и оптимизации их свойств (качеств) на дискретно-непрерывных множествах $\{ \{Y_{(n)}^{\partial}\}^{(i)} \}_m$ от значений показателей качества объектов. Однако поскольку на этапах отработки и испытаниях объекта конкурируют гипотетические варианты одного класса (определяемые конкретными значениями показателей свойств), число m которых в принципе не ограничено, то оптимизация показателей его качеств (свойств) производится на континуальных множествах $\{Y_{(n)}^{\partial}\} = [y'_i, y'_j]$, $[i = 1 (1) n]$.

Заключение

По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что применение теории эффективности целенаправленных процессов для оценивания качества функционирования СС ВДН при испытаниях и применении вооружения и военной техники позволит исследовать эффективность целенаправленных процессов функционирования СС ВДН и разработать модель оценивания показателей эффективности применения системы синхронизации военного и двойного назначения при испытаниях и эксплуатации вооружения и военной техники специального назначения.

Литература

1. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремлённых систем. — М.: АСТ, 2006. — 504 с.
2. Паршин П. Н., Тюляков А. Е., Белов Л. Я. Государственная система единого времени и эталонных частот «Цель» в части объектов и средств Министерства обороны — гарант обеспечения потребителей МО РФ сигналами единого времени UTC(SU) в любые периоды военно-политической обстановки / Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». 1 Том. — СПб.: МО РФ, ВКА им. А. Ф. Можайского, 2016. — С. 328–332.

The Efficiency Theory of Purposeful Processes to Evaluate the Synchronization System's Process Quality during its Tests or as a Part of the Rocket, Space and Other Special Equipment

P. N. Parshin

Abstraction, formalization and a generalized structure of the modeling environment are presented. The efficiency theory of purposeful processes has been used to evaluate the synchronization system's process quality during its tests or as a part of the rocket, space and other special equipment.

Keywords: synchronization systems, time scale, frequency and time information, efficiency theory of purposeful processes.