

# §4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Байкин В. А., Стецюк А. Н.

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР КОНТРОЛЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЛОЖНОЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация:** Предметом исследования являются технологических процедур контроля жизненного цикла сложной инженерно-технической системы, которые реализуются последовательностью выполнения операций сбора, обработки и учета информации, анализа и постановки задачи с последующим принятием управленческого решения. Показано, что задачи синтеза модели процедуры контроля выполнения плана мероприятий по созданию, испытаниям или эксплуатации образцов сложных инженерно-технических систем по формальной постановке адекватны задачам наблюдения и классификации, что позволило применить методы решения таких задач для решения задач исследования. Методы исследования включают структурный системный анализ, теорию сложных систем, теорию надежности, квалиметрии, информационно-логическое проектирование и теории множеств. В результате исследования показано, что выполнение ряда однотипных операций в составе разных процедур целесообразно лишь при условиях изменения входных данных для рассматриваемой операции. Использование результатов выполнения однотипной операции с неизменными исходными данными, учитываемыми при выполнении различных процедур, является одним из путей оптимизации технологических процедур контроля жизненного цикла сложной инженерно-технической системы.

**Ключевые слова:** жизненный цикл системы, контроль жизненного цикла, технологическая подготовка производств, сложная инженерно-техническая система, процедура классификации, формализация процедур, автоматизированный контроль качества, управление процедурой контроля, модель объекта управления, диагностика состояния объекта

Реализация технологических процедур контроля жизненного цикла сложной инженерно-технической системы является необходимым условием обеспечения эффективности и надежности ее функционирования. При этом основными функциями должностных лиц, осуществляющих контроль жизненного цикла, являются [3, 4, 9, 13]:

- непрерывный сбор информации, ее обработка и накопление;
- анализ собранной информации, моделирование и расчет необходимых показателей;
- принятие управленческих решений;
- отработка документов планируемых мероприятий по реализации принятого решения;
- доведение решения до подчиненных организаций, служб, должностных лиц;
- реализация принятого решения;
- контроль за ходом реализации решения;
- учет и оценка изменений состояния подчиненных подразделений вследствие реализации принятого решения;
- регулирование отклонений (приведение системы в соответствие установленным требованиям).

Реализацией этих функций является выполнение ряда технологических операций в рамках соответствующих технологических процедур. Очевидно, что выполнение ряда однотипных операций в составе разных процедур целесообразно лишь при условиях изменения входных данных для рассматриваемой операции. Использование результатов выполнения однотипной операции с неизменными исходными данными, учитываемыми при выполнении различных процедур, является одним из путей оптимизации контроля жизненного цикла сложной инженерной-технической системы и направлением применения новых информационных технологий [2, 4, 7-9, 15, 17].

Для решения задачи определения состояния объекта контроля (под которым понимается этап жизненного цикла сложной системы) необходимо провести моделирование технологической процедуры контроля хода выполнения мероприятий, которая предполагает наличие математической модели контролируемого объекта. В самом общем виде модель любого объекта управления может быть представлена кортежем:

$$\Delta = \langle T, X, Y, Z, F, L \rangle ,$$

где  $T$  – множество моментов времени, в которые наблюдается объект;  $X, Y$  – множества входных и выходных сигналов соответственно;  $Z$  – множество состояний объекта;  $F$  – оператор переходов, отражающий механизм изменения состояния объекта под действием внутренних и внешних возмущений;  $L$  – оператор выходов, описывающий механизм формирования выходного сигнала как реакции объекта на внутренние и внешние возмущения.

Операторы  $F$  и  $L$  реализуют отображения

$$F : T \times X \times Z \rightarrow Z ;$$

$$L : T \times X \times Z \rightarrow Y .$$

Любое состояние объекта  $z \in Z$  в каждый момент времени  $t \in T$  характеризуется набором переменных  $z_r$  ( $r=1, \dots, k$ ), изменяющихся под влиянием воздействий и внутренних возмущений. Состояние процесса выполнения мероприятий по созданию, испытаниям или эксплуатации сложной системы (объект контроля) характеризуется на-

бором таких переменных (переменных состояния), которые определяют ее положение как абстрактного объекта в некотором пространстве в рассматриваемый момент времени, но сами по себе не позволяют установить: насколько правильно он функционирует. Для того чтобы вынести такое суждение, необходимо сопоставить каждую переменную состояния с некоторым значением, характеризующим уровень работоспособности (исправности) объекта или вид наблюдаемого отклонения от нормы. В этом отношении выходные сигналы более удобны для использования их в качестве контролируемых характеристик (параметров). Иными словами, определение состояния объекта практически осуществимо не в пространстве переменных состояния  $Z_r$ , а в пространстве выходных сигналов  $y_j (j=1, \dots, n)$ .

С математической точки зрения определение любого из состояний объекта возможно только в том случае, если по результатам измерения выходных сигналов  $y_j$  при известных значениях входных сигналов  $x_s (s=1, \dots, l)$  может быть получена оценка любой из переменных состояния  $Z_r$ . В теории систем и управления такая задача известна как задача наблюдения [1, 5, 8, 10, 14-16], которая состоит в том, чтобы на основе известного выходного процесса  $y(t) \in Y$  определить неизвестные состояния объекта  $z(t) \in Z$ , где  $y(t)$  и  $z(t)$  – вектор-функции. Формально эта задача сводится к решению относительно  $z(t)$  уравнения:

$$L[t, x(t), z(t), \tau] = y(t),$$

где  $y(t)$  – часть реализации выходного процесса (хода выполнения мероприятий), доступная регистрации с помощью программно-технических средств;  $\tau$  – момент времени контроля.

При существовании единственного решения записанного уравнения объект считается наблюдаемым в состоянии  $z(t)$  на множестве моментов времени  $T = \{\tau\} \subset T$  при входном воздействии  $x(t) \in X$  и отсутствии возмущений. Объект считается полностью наблюдаемым при отсутствии ограничений, накладываемых на  $z(t)$ :

$$z(t) \in Z \subset R_k,$$

где  $R_k$  – пространство размерности  $k$  вещественных значений состояний объекта. Необходимым и достаточным условием полной наблюдаемости объекта является инъективность этого отображения, устанавливающая однозначное соответствие векторов  $z(t)$  и  $y(t)$  при фиксированном  $x(t)$ , то есть

$$y(t_1) \neq y(t_2) \Rightarrow z(t_1) \neq z(t_2); \quad \forall t_1, t_2 \in T.$$

То есть выходные переменные  $y_j (j = 1, \dots, n)$  могут быть использованы в качестве контролируемых признаков текущего состояния хода выполнения мероприятий контроля создания, испытаний или эксплуатации сложной системы. Очевидно, что полная наблюдаемость объекта достигается соответствующим выбором контрольных точек наблюдения (эта задача решается заблаговременно при создании системы контроля исходя из условия инъективности отображения).

Таким образом, первым этапом моделирования процедуры контроля является по-

становка и решение задачи наблюдения состояний объекта контроля, т. е. отыскание такого отображения  $L$ , которое при фиксированных значениях  $t \in T$  и  $x(t) \in X$  обеспечивает условия полной наблюдаемости объекта.

Вторым этапом моделирования процедуры контроля мероприятий создания, испытаний или эксплуатации образцов системы является постановка и решение задачи классификации, т.е. отнесения наблюдаемого состояния объекта к одному из заданных классов его состояния. В общем виде решение задачи заключается в отыскании отображения

$$\eta: Y \rightarrow E,$$

где  $E$  – множество классов состояния объекта.

Не касаясь способов задания множества  $E$ , отметим, что каждому классу состояния объекта контроля соответствует определенное подмножество его текущих состояний, объединенных некоторыми общими свойствами, т.е. таких состояний, относительно которых может быть принято одно и тоже управленческое решение.

В общем случае можно произвести разбиение множества  $Y$  состояний объекта на непересекающиеся классы, при котором любой элемент  $e_i \in E$  является образом хотя бы одного элемента  $y \in Y$ . Физически это означает, что всякому наблюдаемому состоянию объекта должен быть поставлен в соответствие единственный класс состояний. Такая постановка задачи является конструктивной в том смысле, что теоретически бесконечное множество состояний объекта контроля разбивается на конечное и обычно небольшое число классов, каждый из которых соответствует определенному виду его состояния.

Задача классификации заключается в разбиении множества  $Y$  на множества непересекающихся классов и в определении принадлежности каждого из наблюдаемых состояний объекта к одному из классов. Решение этой задачи выполняется в следующей последовательности [6, 8, 11, 16]:

- выбор способа разбиения множества состояний  $Y$  на классы;
- выбор контролируемых признаков наблюдаемого состояния  $e_i \in E$
- выработка решающего правила принадлежности состояния объекта к одному из классов.

В совокупности постановка и решение задач наблюдения и классификации адекватны постановке и решению задачи контроля и, связанным с ней построением модели процедуры контроля выполнения плана мероприятий по созданию, испытаниям или эксплуатации образцов сложных инженерно-технических систем. Задача контроля формально представляется в виде объединения двух выше записанных отображений:

$$T \times X \times Z \xrightarrow{L} Y \xrightarrow{\eta} E.$$

В такой постановке задача контроля может быть сформулирована как задача проверки полноты и своевременности выполнения плана контролируемых мероприятий по созданию, испытаниям или эксплуатации образцов сложных инженерно-технических систем, так и как задача поиска причины нарушений в выполнении плана мероприятий.

Этапность решения этих задач одинакова для каждой из них, но в силу различия задач по смысловому содержанию и конечным целям способы разбиения множества  $Y$

на классы, для них будут различными. В первом случае факторизация производится на множестве состояний объекта контроля в случайные моменты времени, во втором – на множестве состояний объекта в фиксированные моменты времени (состояний, обусловленных нарушениями в выполнении плана мероприятий).

\* \* \*

Процедура контроля выполнения мероприятий по контролю жизненного цикла сложной инженерно-технической системы реализуется последовательностью выполнения операций сбора, обработки и учета информации, анализа и постановки задачи с последующим принятием управленческого решения.

Выполнение ряда однотипных операций в составе разных процедур целесообразно лишь при условиях изменения входных данных для рассматриваемой операции. Использование результатов выполнения однотипной операции с неизменными исходными данными, учитываемыми при выполнении различных процедур, является одним из путей оптимизации контроля жизненного цикла сложной инженерно-технической системы и направлением применения новых информационных технологий в автоматизации проектирования и технологической подготовки производства.

### **Библиография :**

1. Воробьев А.А., Лагойко О.С. Информационно-диагностические системы встроенного контроля состояния воздушных судов // Программные системы и вычислительные методы. 2014. № 4. С. 437-445.
2. Голосовский М.С., Есев А.А., Богомолов А.В. Комплекс автоматизированной экспертизы технического уровня сложной системы // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014612330 от 25.02.2014 г. Оpubл. 20.03.2014, бюлл. № 2. – 1 с.
3. Димитриев Ю.В., Лагойко О.С. Структурный системный анализ информационных потоков при эргономическом проектировании воздушных судов // Кибернетика и программирование. 2015. № 1. С. 67-76.
4. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем.-Л: Энергоатомиздат, 1988. 192 с.
5. Есев А.А., Мережко А.Н., Ткачук А.В. Технология квалиметрии технического уровня сложных систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 7 (121). С. 28-34.
6. Козлов В.Е., Богомолов А.В., Рудаков С.В., Оленченко В.Т. Математическое обеспечение обработки рейтинговой информации в задачах экспертного оценивания // Мир измерений. 2012. № 9. С. 42-49.
7. Коломиец Л.В., Федоров М.В., Богомолов А.В., Мережко А.Н., Солдатов А.С., Есев А.А. Метод поддержки принятия решений по управлению ресурсами при испытаниях авиационной техники // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т.8. № 5. С. 38-40.
8. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Ушаков И.Б. Математическое обеспечение оценивания состояния материальных систем // Информационные технологии. 2004. № 7. 32 с.

9. Лебедев Г.Н. Методы принятия оперативных решений в задачах управления и контроля. М: МАИ, 1992. 120 с.
10. Макаренко В.Г., Подорожняк А.А., Рудаков С.В. и др. Инерциально-спутниковая навигационная система управления транспортными средствами // Проблемы управления. 2007. № 1. С. 64-71.
11. Максимов И.Б., Столяр В.П., Богомолов А.В. Прикладная теория информационного обеспечения медико-биологических исследований. М.: Бином, 2013. 312 с.
12. Рудаков И.С., Рудаков С.В., Богомолов А.В. Методика идентификации вида закона распределения параметров при проведении контроля состояния сложных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5. № 1. С. 66-72.
13. Фёдоров М.В., Калинин К.М., Богомолов А.В., Стецюк А.Н. Математическая модель автоматизированного контроля выполнения мероприятий в органах военного управления // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. Т. 9. № 5. С. 46-54.
14. Фещенко К.Б., Рудаков С.В., Козлов В.Е. и др. Математическая модель динамики средней численности приборов и аппаратов медицинского назначения в условиях разомкнутого цикла метрологического обслуживания // Биомедицинская радиоэлектроника. 2006. № 5-6. С. 99-103.
15. Чиров Д.С., Терешонок М.В., Елсуков Б.А. Метод и алгоритмы оптимизации технических характеристик комплексов радиомониторинга // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 10. С. 88-92.
16. Шипилов В.В. Концептуальная модель и методология построения унифицированных средств контроля радиоэлектронного оборудования // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 7. С. 23-27.
17. Шипилов В.В. Об эпиморфном преобразовании многомерных данных в задачах построения сложных технических систем // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 2014. № 16. С. 27-39.

### References:

1. Vorob'ev A.A., Lagoiko O.S. Informatsionno-diagnosticheskie sistemy vstroennogo kontrolya sostoyaniya vozdushnykh sudov // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. 2014. № 4. S. 437-445.
2. Golosovskii M.S., Esev A.A., Bogomolov A.V. Kompleks avtomatizirovannoi ekspertizy tekhnicheskogo urovnya slozhnoi sistemy // Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM № 2014612330 ot 25.02.2014 g. Opubl. 20.03.2014, byull. № 2. – 1 s.
3. Dimitriev Yu.V., Lagoiko O.S. Strukturnyi sistemnyi analiz informatsionnykh potokov pri ergonomicheskom proektirovanii vozdushnykh sudov // Kibernetika i programmirovaniye. 2015. № 1. S. 67-76.
4. Dmitriev A.K., Mal'tsev P.A. Osnovy teorii postroyeniya i kontrolya slozhnykh sistem.-L: Energoatomizdat, 1988. 192 s.
5. Esev A.A., Merezhko A.N., Tkachuk A.V. Tekhnologiya kvalimetrii tekhnicheskogo urovnya slozhnykh sistem // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii. 2014. № 7 (121). S. 28-34.
6. Kozlov V.E., Bogomolov A.V., Rudakov S.V., Olenchenko V.T. Matematicheskoe obespechenie obrabotki reitingovoi informatsii v zadachakh ekspertnogo otsenivaniya // Mir izmerenii. 2012. № 9. S. 42-49.
7. Kolomiets L.V., Fedorov M.V., Bogomolov A.V., Merezhko A.N., Soldatov A.S., Esev A.A. Metod podderzhki prinyatiya reshenii po upravleniyu resursami pri ispytaniyakh aviatsionnoi tekhniki // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2010. Т.8. № 5. S. 38-40.

8. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Ushakov I.B. Matematicheskoe obespechenie otsenivaniya sostoyaniya material'nykh sistem // Informatsionnye tekhnologii. 2004. № 7. 32 s.
9. Lebedev G.N. Metody prinyatiya operativnykh reshenii v zadachakh upravleniya i kontrolya. M: MAI, 1992. 120 s.
10. Makarenko V.G., Podorozhnyak A.A., Rudakov S.V. i dr. Inertsial'no-sputnikovaya navigatsionnaya sistema upravleniya transportnymi sredstvami // Problemy upravleniya. 2007. № 1. S. 64-71.
11. Maksimov I.B., Stolyar V.P., Bogomolov A.V. Prikladnaya teoriya informatsionnogo obespecheniya mediko-biologicheskikh issledovaniy. M.: Binom, 2013. 312 s.
12. Rudakov I.S., Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Metodika identifikatsii vida zakona raspredeleniya parametrov pri provedenii kontrolya sostoyaniya slozhnykh sistem // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2007. T. 5. № 1. S. 66-72.
13. Fedorov M.V., Kalinin K.M., Bogomolov A.V., Stetsyuk A.N. Matematicheskaya model' avtomatizirovannogo kontrolya vypolneniya meropriyatii v organakh voennogo upravleniya // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2011. T. 9. № 5. S. 46-54.
14. Feshchenko K.B., Rudakov S.V., Kozlov V.E. i dr. Matematicheskaya model' dinamiki srednei chislennosti priborov i apparatov meditsinskogo naznacheniya v usloviyakh razomknutogo tsikla metrologicheskogo obsluzhivaniya // Bio-meditsinskaya radioelektronika. 2006. № 5-6. S. 99-103.
15. Chirov D.S., Tereshonok M.V., Elsukov B.A. Metod i algoritmy optimizatsii tekhnicheskikh kharakteristik kompleksov radiomonitoringa // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2014. T. 8. № 10. S. 88-92.
16. Shipilov V.V. Kontseptual'naya model' i metodologiya postroeniya unifikirovannykh sredstv kontrolya radioelektronnogo oborudovaniya // Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii. 2010. № 7. S. 23-27.
17. Shipilov V.V. Ob epimorfnom preobrazovanii mnogomernykh dannykh v zadachakh postroeniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem // Voprosy teorii bezopasnosti i ustoichivosti sistem. 2014. № 16. S. 27-39.