

Метод расчета коэффициента использования штатной аппаратуры системы управления на испытательном стенде

А.В. Журавлев, К.А. Аксенов

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург*

Аннотация: В статье рассмотрен подход к оценке коэффициента использования штатной аппаратуры системы управления на испытательном стенде. Показана актуальность задачи оценки на этапе проектирования испытательного стенда и приведено описание метода для решения данной задачи. Предложенные подходы могут быть применены как на этапе создания испытательного стенда, так и при модернизации существующей позиции.

Ключевые слова: система автоматического управления, испытательный стенд, анализ процесса отработки, экспериментальная отработка, штатная аппаратура, программный комплекс централизованного управления, коэффициент использования аппаратуры.

Введение

Одним из важных этапов создания систем управления, особенно систем управления (СУ) изделиями РКТ, является этап экспериментальной отработки аппаратуры и программ для подтверждения их корректной работы при различных наборах входных параметров (различном составе обрабатываемой информации) [1]. Данный этап является достаточно трудоемким и продолжительным, занимающим значительную часть времени создания системы и требующим существенных материальных затрат [2]. В частности, в аппаратуру систем управления изделиями РКТ, как правило, закладывается принцип одной возможной неисправности (ОВИ), аппаратура должна продолжать функционировать минимум при одной возможной неисправности, а одной из основных задач отработки является подтверждение выполнения данного принципа [3, 4].

Сегодня существует большое количество технологий, позволяющих автоматизировать процесс отработки [5, 6], автоматизация позволяет сократить время технологических операций [7], при этом время штатного

проведения уменьшить нельзя, так как штатная аппаратура работает в условиях, приближенных к реальной работе системы [8].

Актуальной становится задача расчета коэффициента использования штатной аппаратуры системы управления на испытательном стенде как инструмента оценки эффективности автоматизации процесса проведения испытаний на стенде [9].

Для решения данной задачи разработан метод расчета коэффициента использования штатной аппаратуры системы управления на испытательном стенде, позволяющий получить количественную оценку эффективности автоматизации процесса проведения испытаний объекта контроля на позиции.

Метод расчета коэффициента использования штатной аппаратуры

Для определения коэффициента использования штатной аппаратуры системы управления первым шагом определяется количество технологического оборудования, задействованного на испытательном стенде, расчет осуществляется на основании данных технического задания на систему управления, то есть на этапе проектирования испытательного стенда.

Расчет количества технологического оборудования проводится на основании перечня внешних и доступных для регистрации внутрисистемных связей объекта контроля. Перечень внешних и доступных внутрисистемных связей, который представляет собой таблицу с указанием внешней системы (для внешних связей), интерфейса, типа интерфейса, количества трактов и количества линий связи (в каждом тракте) (пример перечня внешних связей приведен в таблице 1). Тип интерфейса может принимать значения: кодовый, релейный, аналоговый.

Таблица № 1

Пример перечня внешних связей

Система	Интерфейс	Тип интерфейса	Количество трактов (количество линий связи в тракте)
Система 1	RS-232	Кодовый	2 (2), 1 (1)
Система 2	ГОСТ 52070	Кодовый	2 (2), 1 (3)
Система 2	Релейный	Релейный	1 (200)
Система 2	Аналоговый	Аналоговый	1 (10)
Внутри-системный	RS-232	Кодовый	1 (2)

Определение количества имитаторов производится на основе количества внешних систем, количества интерфейсов в каждой системе, количества трактов по этим интерфейсам и количества линий связи в каждом тракте ($N_{лс}$). Под линией связи подразумевается одна релейная команда/сигнал (РК/РС) или одна кодовая линия связи. Для резервированных РК/РС (КЛС), все резервные линии связи суммируются (Например, РК «Вкл. пит.» резервированная с кратностью резервирования два, линий связи должно быть указано две). Количество имитаторов в типовом испытательном стенде равно общему количеству трактов взаимодействия штатной аппаратуры с технологической. Расчет количества имитаторов ($N_{тип_им}$) производится по формуле (1):

$$N_{тип_им} = \sum_{i=1}^{N_{внеш_сист}} \sum_{j=1}^{N_{инт}} N_{связь_{ij}} \quad (1)$$

Регистраторы в типового испытательного стенда разрабатываются для внешних кодовых линий связи и внутрисистемных линий связи, поэтому в формуле расчета количества регистраторов суммирование связей ведется только по внешним кодовым и внутрисистемным интерфейсам ($N_{инт_код}$), дополнительно добавляется один регистратор, осуществляющий списывания

диагностической информации с вычислительных модулей. Расчет количества регистраторов ($N_{\text{тип_рег}}$) производится по формуле (2):

$$N_{\text{тип_рег}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{внеш_сист}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{инт_код}}} N_{\text{связ}_{ij}} + \sum_{i=1}^{N_{\text{внутр_сист}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{инт}}} N_{\text{связ}_{ij}} + 1 \quad (2)$$

Количество технологического оборудования ($N_{\text{тип_ТО}}$) типового испытательного стенда полностью определяется количеством имитаторов и регистраторов и вычисляется по формуле (3):

$$N_{\text{тип_ТО}} = N_{\text{тип_им}} + N_{\text{тип_рег}} \quad (3)$$

Одной из основных целей автоматизации процесса обработки является минимизация времени проведения испытаний на отработочной позиции с сохранением полноты проверки.

Время проведения испытания ($T_{\text{испыт}}$) складывается из времени непосредственного проведения режима на позиции ($T_{\text{реж}}$) и времени подготовки и оценки результатов испытания ($T_{\text{подгот_оц_исп}}$) (4).

$$T_{\text{испыт}} = T_{\text{реж}} + T_{\text{подгот_оц_исп}} \quad (4)$$

Время проведения режима ($T_{\text{реж}}$) вычисляется по формуле (5).

$$T_{\text{реж}} = T_{\text{штат}} + T_{\text{тех_опер}} \quad (5),$$

где $T_{\text{штат}}$ – время штатных операций;

$T_{\text{тех_опер}}$ – время технологических операций;

Время проведения режима ($T_{\text{реж}}$) вычисляется по формуле (6).

$$T_{\text{реж}} = T_{\text{штат}} + T_{\text{тех_опер}} = T_{\text{предв_тех_опер}} + T_{\text{штат}} + T_{\text{заверш_тех_опер}} \quad (6),$$

где $T_{\text{штат}}$ – время штатных операций, $T_{\text{тех_опер}}$ – время технологических операций,

$T_{\text{предв_тех_опер}}$ – время предварительных технологических операций, $T_{\text{заверш_тех_опер}}$ – время завершающих технологических операций.

Время штатных операций ($T_{\text{штат}}$) вычисляется по формуле (7) и складывается из:

- времени включения аппаратуры ($t_{\text{шт_вкл}}$);
- времени задания режима ($t_{\text{шт_ввод}}$);
- времени проведения режима ($t_{\text{шт_реж}}$);
- времени завершающих операций после окончания режима ($t_{\text{шт_заверш}}$).

$$T_{\text{штат}} = t_{\text{шт_вкл}} + t_{\text{шт_ввод}} + t_{\text{шт_реж}} + t_{\text{шт_заверш}} \quad (7)$$

Время штатных операций ($T_{\text{штат}}$) является входной информацией, получаемой на основе исходных данных (с учетом соотношения проводимых режимов).

Время предварительных технологических операций ($T_{\text{предв_тех_опер}}$) вычисляется по формуле (8) и складывается из:

- времени записи задания режима в журнал ($t_{\text{задание}}$);
 - времени предпускового конфигурирования технологического программного обеспечения (ТПО) ($t_{\text{ТПО_конф}}$), которое определяется средним временем предпускового конфигурирования одного имитатора/регистратора ($t_{\text{ТПО_конф_ТО}}$) и количеством технологического оборудования ($N_{\text{ТО}}$);
 - времени запуска ТПО ($t_{\text{ТПО_запуск}}$), которое определяется средним временем запуска одного имитатора/регистратора ($t_{\text{ТПО_конф_ТО}}$) и количеством технологического оборудования ($N_{\text{ТО}}$).
-

$$\begin{aligned} T_{\text{предв_тех_опер}} &= t_{\text{задание}} + t_{\text{ТПО_конф}} + t_{\text{ТПО_запуск}} = \\ &= t_{\text{задание}} + (t_{\text{ТПО_конф_ТО}} + t_{\text{ТПО_запуск_ТО}}) * N_{\text{ТО}} \end{aligned} \quad (8)$$

Время завершающих технологических операций ($T_{\text{заверш_тех_опер}}$)

вычисляется по формуле (9) и складывается из:

- времени останова ТПО ($t_{\text{ТПО_останов}}$), которое определяется средним временем останова одного имитатора/регистратора ($t_{\text{ТПО_останов_ТО}}$) и количеством технологического оборудования ($N_{\text{ТО}}$);
- времени списывания диагностической информации технологическим программным обеспечением со штатной аппаратуры ($t_{\text{ТПО_диаг_ТО}}$), которое определяется средним временем списывания диагностической информации с одного вычислительного модуля ($t_{\text{ТПО_диаг_ВМ}}$) и количеством вычислительных модулей ($N_{\text{ВМ}}$) (Количество вычислительных модулей является входной информацией и определяется ТТ, ТЗ);
- времени сохранения диагностической информации на сервер ($t_{\text{ТПО_сохр}}$), которое определяется средним временем сохранения диагностической информации с одного имитатора/регистратора ($t_{\text{ТПО_сохр_ТО}}$) и количеством технологического оборудования ($N_{\text{ТО}}$);
- времени записи отчета в журнал ($t_{\text{отчет}}$).

$$\begin{aligned} T_{\text{заверш_тех_опер}} &= t_{\text{ТПО_останов}} + t_{\text{ТПО_диаг}} + t_{\text{ТПО_сохр}} + t_{\text{отчет}} = \\ &= (t_{\text{ТПО_останов_ТО}} + t_{\text{ТПО_диаг_ТО}}) * N_{\text{ТО}} + t_{\text{ТПО_диаг_ВМ}} * N_{\text{ВМ}} + t_{\text{отчет}} \end{aligned} \quad (9)$$

Оценка результатов автоматизации в рассматриваемых моделях выполняется через коэффициент использования штатной аппаратуры ($K_{\text{а}}$),

который определяется отношением времени работы штатной аппаратуры к общему времени проведения испытания. Чем выше данный показатель (меньше время технологических операций), тем выше степень автоматизации и меньше ручных операций при проведении режима.

Коэффициент использования штатной аппаратуры вычисляется по формуле (10):

$$K_a = \frac{T_{штат}}{T_{РВ_день}} * N_{усп_р_день} * 100\% \quad (10),$$

где $T_{штат}$ – время штатных операций, $T_{РВ_день}$ – продолжительность рабочего дня ($T_{РВ_день} = 8$ часов), $N_{усп_р_день}$ – количество успешных режимов в день, вычисляется по формуле (11):

$$N_{усп_р_день} = circle \left[\frac{T_{РВ_день}}{T_{рег}(P)} * (1 - K_{сбой}(\vec{P})) \right] \quad (11),$$

где $K_{сбой}$ – коэффициент сбойных режимов в день, $circle[]$ – операция округление до ближайшего меньше целого числа, \vec{P} – вектор используемых технологий автоматизации (компонентов системы «Испытание»)

Количество успешных режимов вычисляется по формуле (12):

$$N_{усп_р_день} = \begin{cases} circle \left[\frac{T_{РВ_день}}{T_{рег}} \right], \text{ при } U_{ПКЦУ} > 0 \\ circle \left[\frac{T_{РВ_день}}{T_{рег}} * (1 - K_{сбой}) \right], \text{ при } U_{ПКЦУ} = 0 \end{cases} \quad (12),$$

где $U_{ПКЦУ}$ – коэффициент, определяющий вариант применения программного комплекса централизованного управления (ПКЦУ) на оптимизированном испытательном стенде (0 – не применяется; 1- применяется (внедряется); 2 – применяется (разрабатывается))

Заключение

Предложенный метод расчета коэффициента использования штатной аппаратуры на испытательном стенде позволяет оценивать данный показатель для стендов, как на этапе проектирования, так и на этапе модернизации. Представленный метод расчета интегрирован в модель типовой и автоматизированной отработочной позиции [10] и может быть использован при создании и модернизации испытательных стендов систем управления изделиями ракетно-космической техники.

Литература

1. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. С. 94-128.

2. Саксонов Е.А., Симонов С.Е., Городничев М.Г. Обзор методов обнаружения неисправностей синхронного электродвигателя с постоянными магнитами // Инженерный вестник Дона, 2023, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2023/8339/.

3. Дудин Н.В., Хохряков В.А., Щепочкин И.Н. Процесс отработки программного обеспечения ФГУП научно-производственного объединения автоматики имени академика Н.А. Семихатова // Актуальные проблемы ракетно-космической техники («III Козловские чтения»). Сборник трудов. Самара: ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», 2013. С. 218-221.

4. Тюгашев А.А. Система интеллектуальной поддержки проектирования и верификации бортового программного обеспечения // Сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции «Системы управления беспилотными космическими и атмосферными летательными аппаратами». М.: ФГУП «МОКБ «Марс», 2015. С. 128-129.

5. Поршневу С.В., Костромин В.А. Система информационной поддержки технологических процессов разработки и изготовления систем управления

ракетно-космической техникой. Журнал научных публикация для аспирантов и докторантов. URL: jurnal.org/articles/2007/inf22.html

6. Судьина Д.О., Петросян Л.Э., Зырянова С.А. Применение российских технологий с элементами искусственного интеллекта в космосе // Инженерный вестник Дона, 2023, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2023/8148/.

7. Тюгашев А.А., Мясникова Е.А., Сопченко Е.В., Инструменты генерации тестов для программ управления спутниками // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2015): материалы Международной конференции и молодежной школы. Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2015. С. 287-290.

8. Северов А., Ушаков В., Говоренко Г., Тетерин Д. Автоматизированный стенд для испытания систем управления ракетно-космических стартовых комплексов. М: СТА Пресс, 2013. С. 70-74. URL: cta.ru/cms/f/447007.pdf

9. Zhuravlev A.V., Aksyonov K.A. and Knyazev R.O., System analysis and processing of parameters of the test bench // 7th International Young Scientists Conference on Information Technology, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2020 (Innopolis University, Innopolis, 2020) pp. 012002. URL: doi.org/10.1088/1742-6596/1694/1/012002.

10. Zhuravlev A.V., Aksyonov K.A. and Knyazev R.O., Methodology for building the optimal test bench of software and hardware complexes of control systems // 7th International Young Scientists Conference on Information Technology, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2020 (Innopolis University, Innopolis, 2020) – pp. 012003. URL: doi.org/10.1088/1742-6596/1694/1/012003.

References

1. Mikrin E.A. Bortovy`e komplekсы` upravleniya kosmicheskimi apparatami i proektirovanie ix programmnoho obespecheniya [Onboard spacecraft control systems and design of their software]. M: MGTU im. N.E`. Baumana, 2003. pp. 94-128.

2. Saksonov E.A., Simonov S.E., Gorodnichev M.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №4.
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2023/8339/.

3. Dudin N.V., Xoxryakov V.A., Shhepochkin I.N. Aktual`ny`e problemy` raketno-kosmicheskoy texniki («III Kozlovskie chteniya»). Sbornik trudov. Samara: FGUP «GNPRKCz «CzSKB-Progress», 2013. pp. 218-221.

4. Tyugashev A.A. Sbornik trudov III Vserossijskoj nauchno-texnicheskoy konferencii «Sistemy` upravleniya bespilotny`mi kosmicheskimi i atmosfery`mi letatel`ny`mi apparatami». M.: FGUP «MOKB «Mars», 2015. pp. 128-129.

5. Porshnev S.V., Kostromin V.A. Zhurnal nauchny`x publikaciya dlya aspirantov i doktorantov.
URL: jurnal.org/articles/2007/inf22.html

6. Sud`ina D.O., Petrosyan L.E`. , Zy`ryanova S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №1.
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2023/8148/

7. Tyugashev A.A., Myasnikova E.A., Sopchenko E.V. Informacionny`e texnologii i nanotexnologii (ITNT-2015): materialy` Mezhdunarodnoj konferencii i molodezhnoj shkoly`. Samara: Samarskij nacional`ny`j issledovatel`skij universitet imeni akademika S.P. Koroleva, 2015. S. 287-290.

8. Severov A., Ushakov V., Govorenko G., Teterin D. Avtomatizirovanny`j stend dlya ispy`taniya sistem upravleniya raketno-kosmicheskix startovy`x kompleksov [Automated test bench for control systems of rocket and space launch complexes]. M: STA Press, 2013. S. 70-74. URL: cta.ru/cms/f/447007.pdf



9. Zhuravlev A.V., Aksenov K. A. and Knyazev R. O. 7th International Conference of Young Scientists on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2020 (Innopolis University, Innopolis, 2020) p. 012002. URL: doi.org/10.1088/1742-6596/1694/1/012002.

10. Zhuravlev A.V., Aksenov K. A. and Knyazev R. O. 7th International Conference of Young Scientists on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2020 (Innopolis University, Innopolis, 2020). p. 012003. URL: doi.org/10.1088/1742-6596/1694/1/012003.