

Анализ времени проведения испытаний 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 выполнен анализ времени проведения испытаний системы управления на испытательном стенде, выделены компоненты времени проведения испытаний, приведен порядок расчета для типового испытательного стенда. Полученные результаты могут быть использованы для оценки времени проведения испытаний систем управления на этапе проектирования испытательных стендов.

Ключевые слова: система автоматического управления, ракетно-космическая техника, испытательный стенд, анализ процесса отработки, экспериментальная отработка, время проведения испытаний.

Введение

Задача обеспечения работоспособности систем управления изделиями ракетно-космической техники может быть решена только с помощью комплексного подхода, включающего совершенствование архитектуры, разработку новой широкой номенклатуры функционально-ориентированной электронной компонентной базы [1], создание научной и промышленной инфраструктуры проектирования, производства, испытания и эксплуатации [2]. Среди указанных мероприятий задачи проверки функционирования системы на соответствие заложенным в нее требованиям, контроля характеристик системы управления на соответствие требуемым значениям, обеспечения полноты отработки аппаратного и программного обеспечения [3], решаемые на этапе наземной экспериментальной отработки, особенно важны [4, 5].

С увеличением сложности программно-аппаратного обеспечения систем управления, обусловленным тенденцией ужесточения требований к функциональным характеристикам системы управления и необходимостью внедрения в состав систем специализированных вычислительных устройств,

сложность контроля систем управления непропорционально возрастает, что приводит к необходимости увеличения числа испытаний, совершенствования испытательных стендов, которые используются для решения задач контроля и отработки систем управления, а в условиях ограниченных ресурсов и минимизации времени проведения одного испытания [6].

Актуальной становится задача анализа времени проведения испытания системы управления на испытательном стенде с целью разложения его по компонентам для дальнейшего сокращения за счет автоматизации и распараллеливания [7].

Время проведения испытания

Проведение испытания на испытательных стендах состоит из следующих этапов [8]:

- разработки задания на испытание (формирование ТЗ);
- подготовки имитации для проведения испытания;
- проведения режима;
- анализа полученных результатов.

Время проведения испытания ($T_{\text{испыт}}$) вычисляется по формуле (1).

$$T_{\text{испыт}} = T_{\text{ПМ_пункт}} + T_{\text{имит}} + T_{\text{реж}} + T_{\text{анализ}} \quad (1),$$

где $T_{\text{ПМ_пункт}}$ – время разработки задания на испытание (формирования ТЗ);

$T_{\text{имит}}$ – время подготовки испытания;

$T_{\text{реж}}$ – время проведения режима;

$T_{\text{анализ}}$ – время анализа полученных результатов.

Отдельно для расчета эффективности испытательного стенда выносятся время подготовки и оценки результатов испытаний, состоящее из суммы времен:

- разработки задания на испытание (формирование ТЗ);
 - подготовки имитации для проведения испытания;
-

- анализа полученных результатов.

Время разработки задания на испытание (формирования требований)

Время разработки задания на испытание ($T_{\text{ПМ_пункт}}$) вычисляется по формуле (2) и складывается из:

- времени анализа пункта ИД ($t_{\text{анализ_ИД_пункт}}$)
- времени анализа существующих методов внесения имитации ($t_{\text{анализ_сущ_метод}}$)
- времени формулирования задания на испытание ($t_{\text{формулир_пункт}}$)
- времени согласования задания ($t_{\text{согласов_пункт}}$)

При вычислении времени разработки задания на испытание учитывается количество схожих пунктов (пункты в которых проверяются разные части одной и той же группы требований), путем введения коэффициента схожести пунктов ПМ ($K_{\text{схож_ПМ}}$). Данный коэффициент определяет долю времени разработки на одно испытание от общего времени анализа группы требований. Из опыта создания программ-методик испытаний количество схожих пунктов в среднем 10, следовательно $K_{\text{схож_ПМ}} = 0,1$, $T_{\text{ПМ_пункт}} = K_{\text{схож_ПМ}}(t_{\text{анализ_ИД_пункт}} + t_{\text{анализ_сущ_метод}} + t_{\text{формулир_пункт}} + t_{\text{согласов_пункт}})$ (2)

Из опыта эксплуатации испытательных стендов определены значения параметров для расчета времени разработки задания на испытание, приведенные в таблице 1.

Таблица № 1

Время разработки задания на имитацию.

Параметр	Значение (в мин.)
$t_{\text{анализ_ИД_пункт}}$	10
$t_{\text{анализ_сущ_метод}}$	40

$t_{\text{формулир_пункт}}$	20
$t_{\text{согласов_пункт}}$	20

$$T_{\text{ПМ_пункт}} = 9 \text{ мин.}$$

Время подготовки имитаций

Время подготовки имитации ($T_{\text{имит}}$) вычисляется по формуле (3) и складывается из:

- времени постановки задачи ($t_{\text{пост_задач}}$)
- времени проектирования имитации ($t_{\text{проектир}}$)
- времени ввода имитации ($t_{\text{ввод}}$)
- времени автономной отработки ($t_{\text{авт_отраб}}$)

При вычислении времени подготовки имитаций учитывается количество схожих имитаций (имитации в которых проверяются разные части одной и той же группы требований), путем введения коэффициента схожести имитаций ($K_{\text{схож_имит}}$). Данный коэффициент определяет долю времени разработки на одну имитацию от общего времени анализа группы требований. Из опыта создания программ-методик испытаний количество схожих имитаций в среднем 10, следовательно $K_{\text{схож_имит}} = 0,1$.

$$T_{\text{имит}} = K_{\text{схож_имит}} (t_{\text{пост_задач}} + t_{\text{проектир}} + t_{\text{ввод}} + t_{\text{авт_отраб}}) \quad (3)$$

Из опыта эксплуатации испытательных стендов определены значения параметров для расчета времени подготовки имитаций, приведенные в таблице 2.

Таблица № 2

Параметры для расчета времени подготовки имитаций.

Параметр	Значение (в мин.)
$t_{\text{пост_задач}}$	15
$t_{\text{проектир}}$	60

$t_{\text{ввод}}$	15
$t_{\text{авт_отраб}}$	30

$T_{\text{имит}} = 12$ мин.

Время проведения режима

Проведение режима состоит из штатных и технологических операций. Технологические операции разделяются на предварительные и завершающие технологические операции.

Время проведения режима ($T_{\text{реж}}$) вычисляется по формуле (4).

$$T_{\text{реж}} = T_{\text{штат}} + T_{\text{тех_опер}} = T_{\text{предв_тех_опер}} + T_{\text{штат}} + T_{\text{заверш_тех_опер}} \quad (4),$$

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 (5) 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 ($t_{\text{шт_заверш}}$).

$$T_{\text{штат}} = t_{\text{шт_вкл}} + t_{\text{шт_ввод}} + t_{\text{шт_реж}} + t_{\text{шт_заверш}} \quad (5)$$

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 (6) 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 ($N_{\text{ТО}}$).

$$T_{\text{предв_тех_опер}} = t_{\text{задание}} + t_{\text{ТПО_конф}} + t_{\text{ТПО_запуск}} = \\ = t_{\text{задание}} + (t_{\text{ТПО_конф_ТО}} + t_{\text{ТПО_запуск_ТО}}) * N_{\text{ТО}} \quad (6)$$

Время завершающих технологических операций ($T_{\text{заверш_тех_опер}}$) вычисляется по формуле (7) 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 ($t_{\text{отчет}}$).

$$T_{\text{заверш_тех_опер}} = t_{\text{ТПО_останов}} + t_{\text{ТПО_диаг}} + t_{\text{ТПО_сохр}} + t_{\text{отчет}} = \\ = (t_{\text{ТПО_останов_ТО}} + t_{\text{ТПО_диаг_ТО}}) * N_{\text{ТО}} + t_{\text{ТПО_диаг_ВМ}} * N_{\text{ВМ}} + t_{\text{отчет}} \quad (7)$$

Исходя из опыта эксплуатации испытательных стендов, определены значения параметров для расчета времени проведения режима, приведенные в таблице 3.

Таблица № 3

Параметры для расчета времени проведения режима.

Параметр	Значение (в сек.)	Значение (в мин.)
$t_{\text{задание}}$	60	1
$t_{\text{ТПО_конф_ТО}}$	30	0.5
$t_{\text{ТПО_запуск_ТО}}$	15	0.25
$t_{\text{ТПО_останов_ТО}}$	15	0.25
$t_{\text{ТПО_диаг_ТО}}$	45	0.75
$t_{\text{ТПО_диаг_ВМ}}$	60	1
$t_{\text{отчет}}$	120	2

Время проведения анализа

Время проведения анализа ($T_{\text{анализ}}$) вычисляется по формуле (8) и складывается из:

- времени получения диагностической информации ($t_{\text{получ_ди}}$);
- времени первичного анализа ($t_{\text{первич_анализ}}$), которое определяется средним временем первичного анализа ДИ одного имитатора/регистратора ($t_{\text{первич_анализ_ТО}}$) и количеством технологического оборудования ($N_{\text{ТО}}$);

- времени полного анализа ($t_{\text{полн_анализ}}$), которое определяется средним временем полного анализа ДИ одного имитатора/регистратора ($t_{\text{полн_анализ_ТО}}$) и количеством технологического оборудования ($N_{\text{ТО}}$).

При вычислении времени проведения анализа учитывается количество схожих испытаний (испытания, в которых проверяются разные части одной и той же группы требований) [9], путем использования коэффициента схожести имитаций ($K_{\text{схож_имит}}$). Данный коэффициент определяет долю времени разработки на одну имитацию от общего времени анализа группы требований. Судя по опыту создания программ-методик испытаний, количество схожих имитаций в среднем - 10, следовательно, $K_{\text{схож_имит}} = 0,1$.

$$T_{\text{анализ}} = t_{\text{получ_ДИ}} + K_{\text{схож_имит}} (t_{\text{первич_анализ}} + t_{\text{полн_анализ}}) = \\ = t_{\text{получ_ДИ}} + K_{\text{схож_имит}} ((t_{\text{первич_анализ_ТО}} + t_{\text{полн_анализ_ТО}}) * N_{\text{ТО}}) \quad (8)$$

Исходя из опыта эксплуатации испытательных стендов, определены значения параметров для расчета времени проведения анализа, приведенные в таблице 4.

Таблица № 4

Параметры для расчета времени проведения анализа.

Параметр	Значение (в мин.)
$t_{\text{получ_ДИ}}$	15
$t_{\text{первич_анализ_ТО}}$	15
$t_{\text{полн_анализ_ТО}}$	120

Заключение

Результаты проведенного анализа времени проведения испытаний систем управления на испытательных стендах систем управления позволяют проводить оценку времени испытаний на этапе проектирования испытательного стенда при его типовой структуре [10]. Порядок расчета времени, определенный в работе, может быть использован в моделях

типового и автоматизированного испытательных стендов для расчета данного показателя. Наличие двух компонентов времени проведения режима и времени подготовки и оценки результатов позволяет проводить распараллеливание работ при проведении испытаний, что, в свою очередь, позволяет сокращать общее время испытаний для заданного объема.

Литература

1. Волков С.В., Изергин О.Е., Кобзаева А.С., Кочергин М.Д., Вертянов Д.В., Тимошенко С.П. Универсальный источник питания с цифровой системой контроля параметров гальванической среды // Инженерный вестник Дона, 2023, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2023/8184/.

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

3. Канер Сэм, Джек Фолк, Енг Кек Нгуен Тестирование программного обеспечения. Фундаментальные концепции менеджмента бизнес-приложений: Пер. с англ./Сэм Канер, Джек Фолк, Енг Кек Нгуен. – К.: Издательство «ДиаСофт», 2001. – 544 с.

4. 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

5. Корнюшкин Д.А., Крылов А.А. Задачи совершенствования современных автоматизированных систем управления технологическими процессами// Инженерный вестник Дона, 2023, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2023/8284/.

6. Поршнева 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

7. Рогозов Ю.И., Лапшин В.С., Свиридов А.С., Кучеров С.А., Беликов А.Н., Липко Ю.Ю. Подход к проектированию технических средств технологических процессов // Инженерный вестник Дона, 2023, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2023/8197/.

8. 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.

9. 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.

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. Volkov S.V., Izergin O.E., Kobzaeva A.S., Kochergin M.D., Vertyanov D.V., Timoshenkov S.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2023/8184/.
 2. 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.
 3. Kaner Cem, Jack Falk, Hung Quoc Nguyen Testirovanie programmnoho obespecheniya [Testing computer software]. K.: Izdatel`stvo «DiaSoft», 2001. 544 p.
 4. 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.
 5. Korniyushkin D.A., Kry`lov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2023/8284/.
 6. Porshnev S.V., Kostromin V.A. Zhurnal nauchny`x publikaciya dlya aspirantov i doktorantov. URL: jurnal.org/articles/2007/inf22.html
 7. Rogozov Yu.I., Lapshin V.S., Sviridov A.S., Kucherov S.A., Belikov A.N., Lipko Yu.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2023/8197/.
 8. 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 .
-



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

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