



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. 2022, № 2, с. 15-20.

Поступила: 18.09.2021

Окончательный вариант: 26.11.2022

© УлГУ

УДК 519.21

Анализ узла приема разовых команд математической модели блока контроля обогрева

Бутов А. А. *, Сулейманов И. Р.,
Леушкина Т. С.

[*butovaa@ulsu.ru](mailto:butovaa@ulsu.ru)

УлГУ, Ульяновск, Россия

В данной работе рассмотрена ранее построенная математическая модель блока контроля обогрева, применяемая в системе измерения высотно-скоростных параметров летательного аппарата. Блок контроля обогрева позволяет контролировать исправность цепей обогрева приемников воздушных давлений и выдавать признаки исправности электрических цепей обогрева. Блок состоит из множества функциональных узлов, выполняющих назначенные функции. Отказ одного из узлов может привести к непредсказуемым последствиям, по этой причине анализ узлов приема разовых команд блока и совершенствование методов оценки вероятности возникновения отказов является важной и значимой.

Адекватность построенных моделей обеспечивается сопоставлением результатов компьютерного эксперимента и аналитических зависимостей. Заметим, что в настоящее время математические, особенно стохастические модели, недостаточно развиты. Такие модели необходимы для решения задач оптимального управления, что в свою очередь могло бы позволить сократить затрачиваемые системные ресурсы и увеличить показатели надежности и безотказности изделий на ранних этапах разработки.

Цель статьи – проанализировать модель узла приема разовой команды блока контроля обогрева.

Ключевые слова: блок контроля обогрева, процесс телеграфного типа, пуассоновский процесс, математическое и имитационное моделирование, устройство приема разовой команды.

Введение

Развитие авиационного приборостроения неразрывно связано с созданием летательных аппаратов новых типов, обладающих большой скоростью и дальностью полета, требующих все более высокого уровня надежности и безотказности.

Источниками первичной информации, определяющие характеристики систем воздушных сигналов (СВС) летательного аппарата, являются приемники воздушных давлений, благодаря входным параметрам которых рассчитываются основные данные – это

скорость и высота полета [1]. В свою очередь блок контроля обогрева позволяет контролировать исправность цепей обогрева приемников воздушных давлений и выдавать признаки их работоспособности. Блок состоит из множества функциональных узлов. Одним из таких узлов является узел «Устройство приема разовой команды».

Принцип работы данного узла основан на функциональной зависимости контроля входящих параметров (включение «левого или правого двигателя», «шасси обжато») и формируемой выдаваемой информации в узел коммутации, для последующего формирования разовой команды об исправности контролируемых цепей обогрева. Данный узел блока выполняет ключевую роль при выдаче разовой команды. Нарушение в его работе может привести к отказу критической функции узла и привести к непредсказуемым последствиям летательного аппарата. По этой причине разработка и усовершенствование методов расчёта позволяют повысить уровень безотказности и надежности изделий летательного аппарата на ранних этапах.

Построение имитационной математической модели и выявление зависимости входящих параметров на модель

На рис. 1 представлена разработанная упрощенно структурно-функциональная схема узла «Устройства приема разовой команды», построенная на примере из монографии Ключева Г.И. «Измерители аэродинамических параметров летательных аппаратов» Ульяновск, 2005 [2]. Это устройство является частью блока контроля обогрева, модель которого ранее была описана в статье «Вероятность отказа блока контроля обогрева во время полета и ее последствия»[5]. В данной работе, в отличие от [5], приводятся результаты имитационного моделирования для рассматриваемой подсистемы.

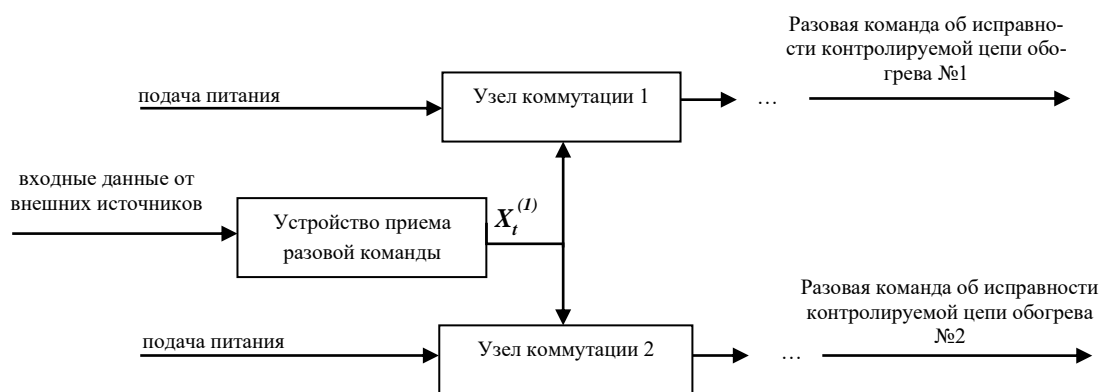


Рис. 1. Схема узла «Устройства приема разовой команды»

Представленная математическая модель была разработана на основе пуассоновских процессов и процесса телеграфного типа, по аналогии моделям, применённым в ряде работ профессора А.А. Бутова [3-5]. Применение процесса телеграфного типа характеризуется его особенностью работы самого узла приема разовой команды блока, а в частности

приема от внешних источников входящих параметров (включение «левого или правого двигателя», «шасси обжато» с учетом их комбинации), формирование и выдачи данных во внешние потребители (узлы коммутации) для последующего формирования разовой команды об исправности контролируемых цепей обогрева.

Математическая модель, описывающая принцип работы этого узла, представляется в следующем виде: входящие данные от внешних источников порождают процесс $X_t^{(1)}$, который задаётся уравнением [5]:

$$X_t^{(1)} = C \cdot N_t,$$

где C -константа, $N_t = (N_t)_{t \geq 0}$ – процесс телеграфного типа, т.е.

$$N_t = 1 - \int_0^t N_{s-} dA_s + \int_0^t (1 - N_{s-}) dB_s,$$

процессы A, B – пуассоновские с интенсивностями α ($\alpha > 0$, частота сбоев), β ($\beta > 0$, $1/\beta$ среднее время продолжительности каждого сбоя), \tilde{A} и \tilde{B} – компенсаторы которых имеют вид:

$$\tilde{A} = \alpha \cdot t, \tilde{B} = \beta \cdot t.$$

В данной работе с помощью компьютерного имитационного моделирования строится дискретная модель на основе рассмотренной математической модели для дальнейшего проведения экспериментов. Анализируются изменения данной модели при различных значениях коэффициентов. Числовые значения параметров выбирались из диапазона, полученного в результате наблюдений реального устройства.

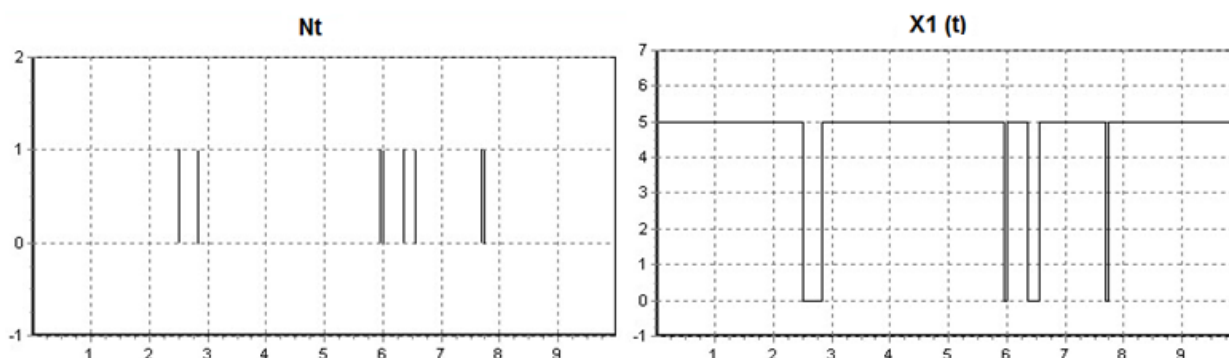


Рис. 2. Результаты моделирования процесса телеграфного типа N_t и процесса для блока «Устройство приёма разовых команд» $X_t^{(1)}$ с временем моделирования $t = 10$ сек, постоянной $C=5$, при частоте сбоев $\alpha=1$ и среднем времени продолжительности каждого сбоя $1/\beta=0.5$

Для удобства анализа полученных данных масштабы по оси oX , на которой откладывается время моделирования процесса, совпадают. Изменим параметры, влияющие на поведение данных процессов, проанализируем результаты.

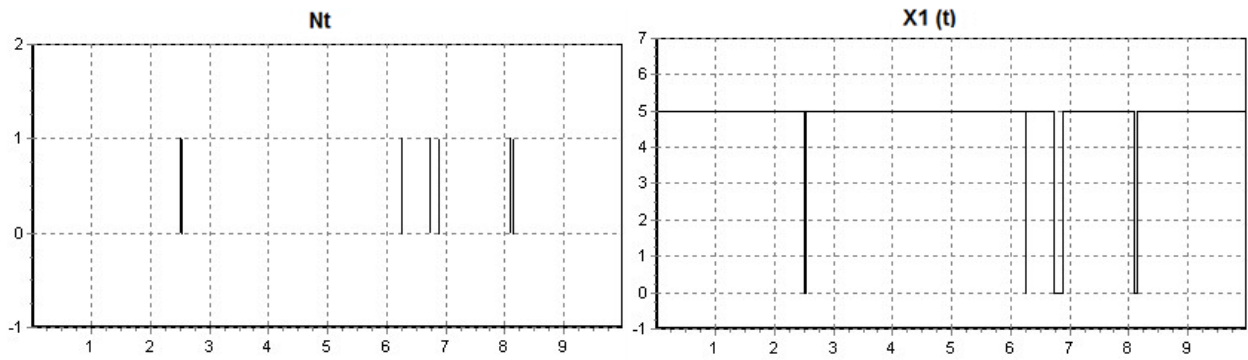


Рис. 3. Результаты моделирования процесса телеграфного типа N_t и процесса для блока «Устройство приёма разовых команд» $X_t^{(1)}$ с временем моделирования $t = 10$ сек, постоянной $C=5$, при частоте сбоев $\alpha=1$ и среднем времени продолжительности каждого сбоя $1/\beta=0.05$

Если уменьшить среднее время продолжительности каждого сбоя в 10 раз $1/\beta=0.05$, то можно заметить, что процесс телеграфного типа редко принимает нулевое значение, следовательно, основной процесс $X_t^{(1)}$ редко даёт сбой и отмечается высокая работоспособность блока (см. рис. 3).

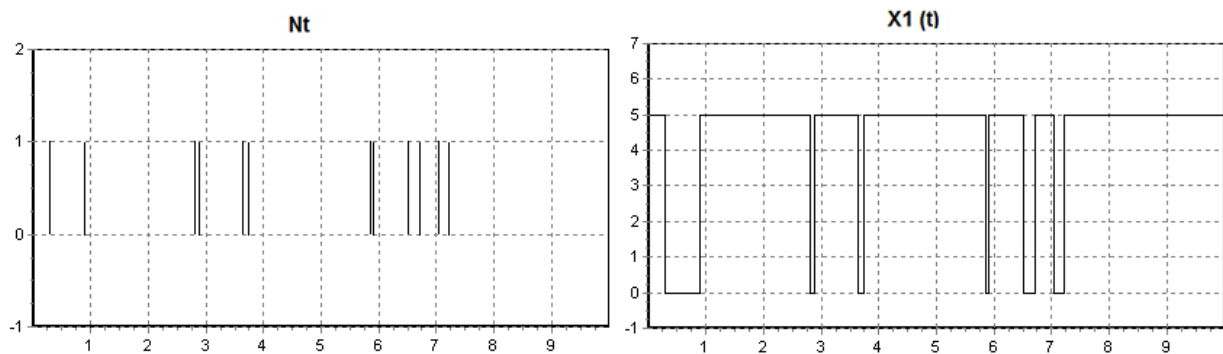


Рис. 4. Смоделированные процесс телеграфного типа N_t и процесс для блока «Устройство приёма разовых команд» $X_t^{(1)}$ с временем моделирования $t = 10$ сек, постоянной $C=5$, при частоте сбоев $\alpha=1$ и среднем времени продолжительности каждого сбоя $1/\beta=5$

Заметим, что увеличение среднего времени продолжительности каждого сбоя на отрезке $[0,10]$ приводит к увеличению количества сбоев системы и уменьшению времени её работоспособности (см. рис. 4).

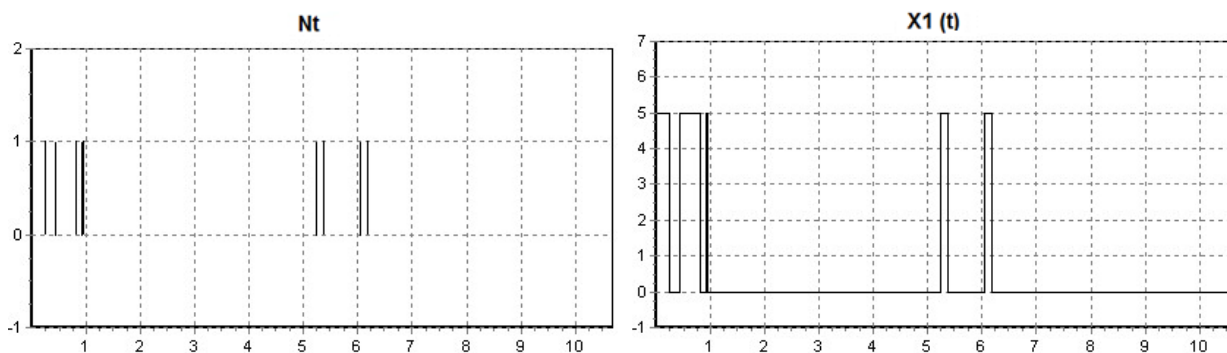


Рис. 5. Результаты моделирования процесса телеграфного типа N_t и процесса для блока «Устройство приёма разовых команд» $X_t^{(1)}$ с временем моделирования $t = 10$ сек, постоянной $C=5$, при частоте сбоев $\alpha=10$ и среднем времени продолжительности каждого сбоя $1/\beta=0.5$

Если увеличить параметр, отвечающий за частоту сбоев, $\alpha=10$, то видим, что процесс $X_t^{(1)}$ реже достигает ненулевого значения, следовательно, система теряет свою жизнеспособность (см. рис. 5).

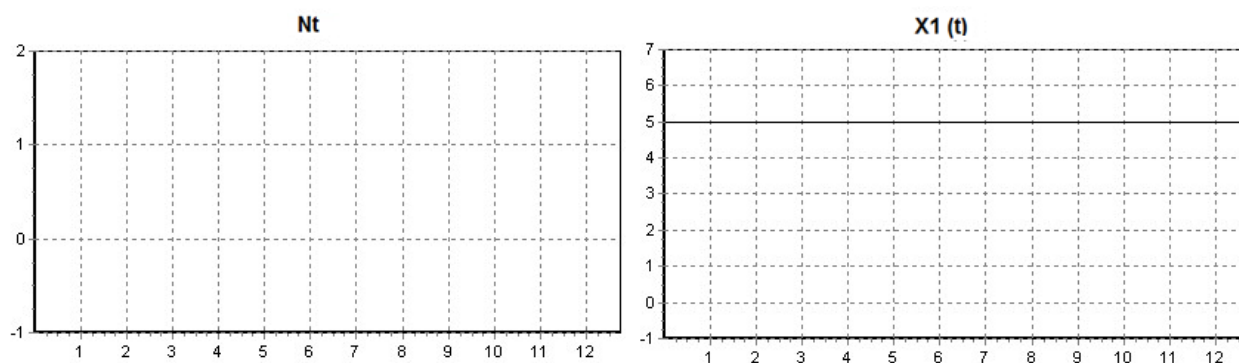


Рис. 6. Результаты моделирования процесса телеграфного типа N_t и процесса для блока «Устройство приёма разовых команд» $X_t^{(1)}$ с временем моделирования $t = 10$ сек, постоянной $C=5$, при частоте сбоев $\alpha=0.1$ и среднем времени продолжительности каждого сбоя $1/\beta=0.5$

Если же $\alpha=0,1$, узел «Устройства приема разовой команды» будет работать без сбоев (см. рис. 6).

Заключение

Полученные результаты в ходе данной работы на основе проведенного компьютерного имитационного моделирования узла «Устройство приема разовой команды» блока контроля обогрева позволяют оптимизировать процесс анализа данного узла и выявить его работоспособность (повысить уровень безотказности и надежности изделия): чем меньше продолжительность возникающего сбоя, тем устойчивее работоспособность блока во время его эксплуатации.

Список литературы

1. Сулейманов И.Р. Повышение характеристик авиационного датчика давления на основе расчетов его динамики и прочности // *Ученые записки УлГУ. Серия: Математика и информационные технологии*. 2019, № 1, с. 110-114.
2. Ключев Г.И. [и др.] *Измерители аэродинамических параметров летательных аппаратов: учебное пособие для вузов*. Ульяновск: УлГТУ, 2005. 509 с.
3. Бутов А.А., Гуськов Е.Ю. Математическое моделирование системы анализа окон уязвимости // *Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии*. 2018, № 1, с. 13-15.
4. Бутов А. А. Теория случайных процессов и ее дополнительные главы: учебное пособие. Ч.1: Введение в стохастическое исчисление. Ульяновск: УлГУ, 2016.
5. Бутов А. А., Леушкина Т. С., Сулейманов И. Р. Вероятность отказа блока контроля обогрева во время полета и ее последствия // *Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук*. 2021, т. 23, № 4, с. 103-110.

Analysis of the node for receiving one-time commands of the mathematical model of the heating control unit

Butov, A. A. , Suleymanov, I. R., Leushkina, T. S.*

[*butovaa@ulsu.ru](mailto:butovaa@ulsu.ru)

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

In this paper, a previously constructed mathematical model of the heating control unit used in the system for measuring the altitude and speed parameters of an aircraft is considered. The heating control unit makes it possible to control the health of the heating circuits of the air pressure receivers and give signs of the health of the electrical heating circuits. The block consists of a set of functional nodes that perform the assigned functions. The failure of one of the nodes can lead to unpredictable consequences, for this reason, the analysis of the nodes for receiving one-time block commands and the improvement of methods for assessing the probability of failures is important and significant.

The adequacy of the constructed models is ensured by comparing the results of a computer experiment and analytical dependencies. Note that at present mathematical, especially stochastic, models are not well developed. Such models are necessary for solving optimal control problems, which, in turn, could make it possible to reduce the expended system resources and increase the reliability and non-failure performance of products in the early stages of development.

The purpose of the paper is to study the model of the node for receiving a one-time command of the heating control unit.

Keywords: heating control unit, telegraph-type process, Poisson process, mathematical and simulation modeling, one-time command receiving device.