

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64098 от 18 декабря 2015 г.

Учредитель – Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» (141074, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42)
Издается с сентября 2014 г.
Выходит 4 раза в год

ISSN 2409-1650

Журнал «Информационно-технологический вестник» включён в Перечень ведущих периодических изданий ВАК

Группы научных специальностей и научные специальности в рамках групп научных специальностей, по которым издание входит в Перечень:
05.07.00 Авиационная и ракетно-космическая техника [05.07.02 Проектирование конструкции и производство летательных аппаратов, 05.07.03 Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов, 05.07.10 Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности], (входит в Перечень ВАК)
05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление [05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям), 05.13.18 Математическое моделирование численные методы и комплексы программ], (не входит в Перечень ВАК)
05.16.00 Металлургия и материаловедение [05.16.06 Порошковая металлургия и композиционные материалы, 05.16.08 Нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям), 05.16.09 Материаловедение (по отраслям)] (входит в Перечень ВАК)

Подписной индекс в каталоге НТИ-Роспечать 62191

Главный редактор
Артюшенко Владимир Михайлович,
д.т.н., профессор

Над выпуском работали
Паршина Ю.С.
Пирогова Е.В.
Багдасарян А.А.
Харитонов А.А.
Макаревич Е.В.

Адрес редакции:
141070, Королев,
Ул. Октябрьская, 10А
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),
E-mail : rio-kimes@mail.ru,
Site: www.unitech-mo.ru

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в материалах, в том числе рекламных, предоставленных авторами для публикации
Материалы приводятся в авторской редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

- Алферов М.В., Усачев Д.В., Сосунов М.В.
ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМ ОБРАЗОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ ВЫХОДОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОСНОВЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ УДЛИНЁННЫХ ЗАРЯДОВ.....3
- Артюшенко В.М., Воловач В.И.
ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПАРАМЕТРА СИГНАЛА В АВИАЦИОННЫХ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ РАДИОСИСТЕМАХ ПРИ НАЛИЧИИ АДДИТИВНЫХ И МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ С НИЗКИМ УРОВНЕМ. ЧАСТЬ 2 (ПРИМЕРЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕНИ ПРИХОДА ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА).....14
- Бабин В.С.
ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АВИАЦИОННЫХ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОТОКОВ РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ.....27
- Брусков А.А.
АНАЛИЗ ОТКАЗОВ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....34
- Виноградов Д.Ю.
ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ПРОГРАММНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ.....47
- Иванова К.А., Левин Д.Н., Шкурин М.В.
ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕТНОГО ЭКИПАЖА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕРЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЙ ПИЛОТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ.....57
- Кучеров Б.А.
ОСОБЕННОСТИ УЧЁТА СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕСУРСОВ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ.....68
- Огурцова Т.С., Асташева Н.П.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «КБХИММАШ ИМ. А.М. ИСАЕВА» ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....76

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. **Барканов Е.Н.**, Dr.sc.ing.
2. **Васильев Н.А.**, д.т.н., профессор
3. **Леоненко Д.В.**, д.ф.-м.н., профессор
4. **Тимофеев А.Н.**, д.т.н., профессор

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. **Аббасова Т.С.**, к.т.н., доцент
2. **Бухаров С.В.**, д.т.н., профессор
3. **Бершадский В.А.**, д.т.н., профессор кафедры
4. **Воловач В.И.**, д.т.н., профессор
5. **Кучеров Б.А.**, к.т.н.
6. **Логачев И.А.**, к.т.н.
7. **Логачева А.И.**, д.т.н., профессор
8. **Макаров М.И.**, д.т.н., профессор
9. **Матвиенко Ю.Г.**, д.т.н., профессор
10. **Мосалов О.П.**, к.т.н.
11. **Разумовский И.М.**, д.ф.-м.н., профессор
12. **Рудаков В.Б.**, д.т.н., профессор
13. **Скрябин М.Л.**, к.т.н.
14. **Смердов А.А.**, д.т.н., профессор
15. **Стрелюк Ю.В.**, д.т.н., профессор
16. **Чесноков А.В.**, д.т.н.

Подписано в печать 15.12.2020

Формат В5

Печать офсетная. Усл.печ.л. 9,6

Тираж 500 экз.

Заказ №82-13

Отпечатано в типографии

ООО «Научный консультант»

г. Москва

Хорошевское шоссе, 35, корп.2

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И
УПРАВЛЕНИЕ**

Вальс В.И.
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА LEAN-PRODUCTION
ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА
ОРГАНИЗАЦИИ.....83**

Мокану Г.С.
**ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
В СЕТЯХ WI-FI.....89**

Мосалов О.П.
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ГЕНЕРАТИВНО-СОСЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ
В ЗАДАЧЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ
РЁБЕР В ОНТОЛОГИЧЕСКОМ ГРАФЕ.....96**

Хорев П.Б., Сергеев А.В.
**ПРИМЕНЕНИЕ СТЕГАНОГРАФИИ
В КОРПОРАТИВНОЙ СРЕДЕ.....104**

Царькова Н.И., Конова О.С.
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA
ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ НЕДВИЖИМОСТИ.....110**

Чевордаев И.А.
**ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ОБЛАСТИ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ....119**

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Белый А.В.
**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
НАМОТОЧНОГО АППАРАТА МАШИН
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОКОРДА.....128**

Михайлов А.В., Шахназаров К.Ю.
**СВЯЗЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВОЙНЫХ
СПЛАВОВ С КАЧЕСТВЕННЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ
ИНТЕРВАЛОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ.....134**

Смердов А.А., Чесноков А.В., Грачев Ф.А.
**РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ
ПЛЕТЕННЫХ ПРЕФОРМ.....145**

УДК 629.7.047.2

Оценка безопасности членов экипажа летательных аппаратов при применении систем образования аварийных выходов, выполненных на основе детонационных удлиненных зарядов

М.В. Алферов, инженер-испытатель,
Д.В. Усачев, старший инженер-испытатель,
М.В. Сосунов, кандидат технических наук, начальник отделения,
Войсковая часть 15650-16, г. Щёлково-4, Московская область

В статье анализируются результаты оценки безопасности членов экипажа летательных аппаратов при применении систем образования аварийных выходов, выполненных на основе детонационных удлиненных зарядов, на примере некоторых теоретических и экспериментальных работ.

Система образования аварийного выхода, детонирующий удлиненный заряд, безопасность, осколок остекления, скорость.

Assessment of the safety of aircraft crew members when using emergency exit systems based on detonation elongated charges

M.V. Alferov, test engineer,
D.V. Usachev, senior test engineer,
M.V. Sosunov, Ph.D (Tech), department director,
Army part 15650-16, Shchlkovo-4, Moscow region

The article analyzes the results of evaluating the safety of aircraft crew members when using emergency exit education systems based on detonation elongated charges, using the example of some theoretical and experimental works.

Emergency exit education system, detonating elongated charge, safety, glass shard, speed.

В статье «Анализ отличительных особенностей, преимуществ, недостатков систем образования аварийных выходов, выполненных на основе пиротехнических средств и детонирующих удлиненных зарядов» («Информационно-технологический вестник» № 3 (25)) коротко были упомянуты неблагоприятные факторы, которые могут воздействовать на лётчика при применении систем образования аварийных выходов (СОАВ), выполненных на основе детонирующих удлиненных зарядов (ДУЗ) [1]. В упомянутой статье для примера приводилась СОАВ самолёта Як-130, в состав которой входит система разрушения остекления фонаря СР-130.

К неблагоприятным факторам, в том числе, были отнесены воздействия осколков остекления и акустических нагрузок. Данные факторы проявляются в

большой степени, чем, например, токсичные газы, возникающие при сгорании веществ, применяемых в ДУЗ. Воздействие токсичных газов на организм летчика может быть не значительным или совсем отсутствовать, а воздействие осколков и акустические нагрузки остекления могут оказывать определённый вред – привести к повреждениям участков тела, защитного снаряжения, органов слуха и зрения.

Рассмотрим результаты оценки безопасности членов экипажа летательных аппаратов при применении систем образования аварийных выходов, выполненных на основе детонационных удлинённых зарядов, на примере некоторых теоретических и экспериментальных работ с СОАВ самолёта Як-130.

При проведении этих работ производилась оценка травмобезопасности членов экипажа, состояние их снаряжения, безопасность воздействия избыточного взрывного воздушного давления, возникающего при срабатывании ДУЗ.

Предварительно ЛИИ им. М.М. Громова была проведена расчётная оценка безопасности лётчика при применении данных СОАВ [2]. С учётом полученных результатов производилось проектирование, создание и испытания данной системы. Рассмотрим коротко её результаты.

Расчётная оценка производилась для случаев предварительного разрушения остекления, при которых кресло с лётчиком находится в кабине либо только начинает движение по направляющим рельсам, т.е. когда скорость движения кресла является незначительной по отношению к скорости движения осколков и не влияет на их кинетическую энергию.

Оценка была произведена для двух расчётных случаев [2]:

1) первый расчётный случай:

- осколок в момент разрушения остекления имеет начальную скорость, равную скорости самолёта;

- осколок движется в невозмущённом самолётом потоке;

- к моменту контакта с лётчиком осколок затормаживается до скорости, зависящей от его массы и силы аэродинамического сопротивления;

2) второй расчётный случай:

- осколок в момент разрушения остекления имеет начальную скорость, равную скорости самолёта;

- осколок движется в потоке, затормаживающемся из-за присутствия преграды (лётчика);

- осколок контактирует с лётчиком в критической точке, где скорость потока равна нулю, плотность воздуха, определяемая полным торможением потока, максимальная.

Основные положения методики расчёта энергии осколков остекления, выполненного ЛИИ им. М.М. Громова, представлены на рисунках 1-4.

1)

Допущение: скорость потока падает по линейному закону от $V_{\text{начальной}}=V_{\infty}$ до нуля в точке контакта с лётчиком, плотность воздуха на том же пути возрастает от $\rho_{\text{начальный}} =$ до $\rho_{\text{конечной}}$, вычисляемой по уравнению состояния

$$\rho_{\text{кон.}} = \frac{\rho_{\Sigma}}{g \cdot R \cdot T_1}$$

где T_1 - температура торможения (в критической точке);

$\rho_{\infty} = \rho_0 = 760$ мм рт. ст. = 10332,2 мм вод. ст. (кг/м²)

ρ_{Σ} - полный напор, $\rho_{\Sigma} = \rho_{\infty} + q_{\text{сж}}$;

$q_{\text{сж}}$ для числа $M \leq 1$:

$$q_{\text{сж}} = \rho_0 \left[\left(1 + \frac{\rho \cdot V^2}{7 \rho_0} \right)^{3,5} - 1 \right] = 760 \left[(1 + 0,13334 \cdot 10^{-6} \cdot V^2)^{3,5} - 1 \right] \text{ мм рт.ст.}$$

$q_{\text{сж}}$ для числа $M \geq 1$;

$$q_{\text{сж}} = 760 \left[\frac{0,8584 \cdot 10^{-6} \cdot V^7}{(V^2 - 214277)^{2,5}} - 1 \right]$$

Температура торможения T_1

$$T_1 = T \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2 \right),$$

где T - температура невозмущенного потока, $\kappa = 1,4$.

Примечание - $H \approx 0$, $T = 288$ °K.

Рисунок 1 – Допущения, принятые при расчетах

2)

Способ первый. Вычисление скорости движения осколка относительно лётчика.

$$m \frac{dV_x}{dt} = -Q \cdot \cos \theta,$$

$$m \frac{dV_y}{dt} = -G + \sin \theta,$$

где $Q = C_x S \cdot \frac{\rho V^2}{2}$;

$$\theta = \arctg \frac{V_y}{V_x}$$

Рисунок 2 – Первый способ расчета скорости движения осколков относительно летчика

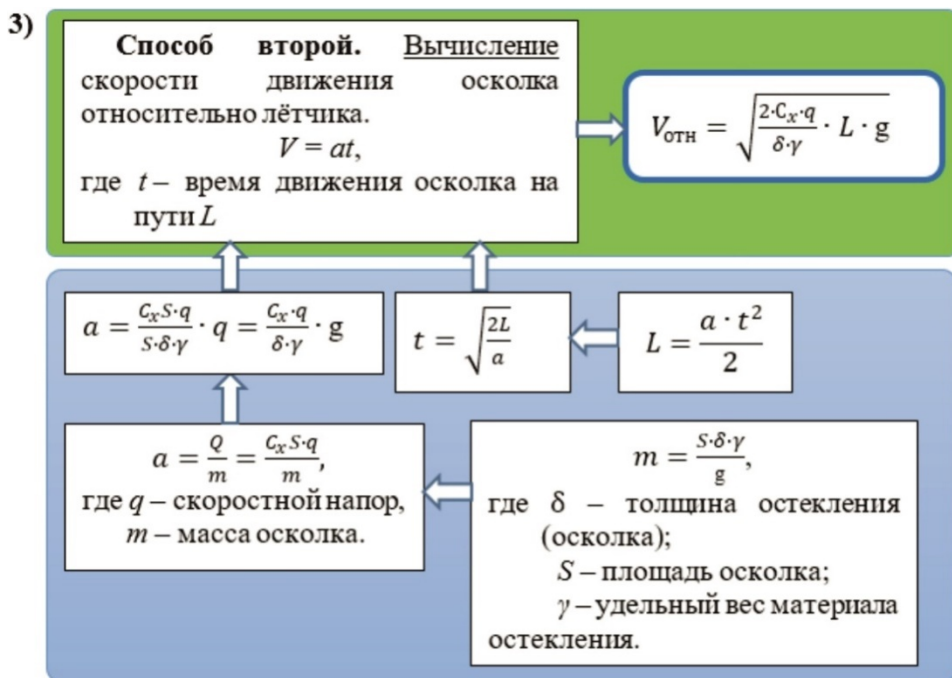


Рисунок 3 – Второй способ расчета скорости движения осколков относительно летчика

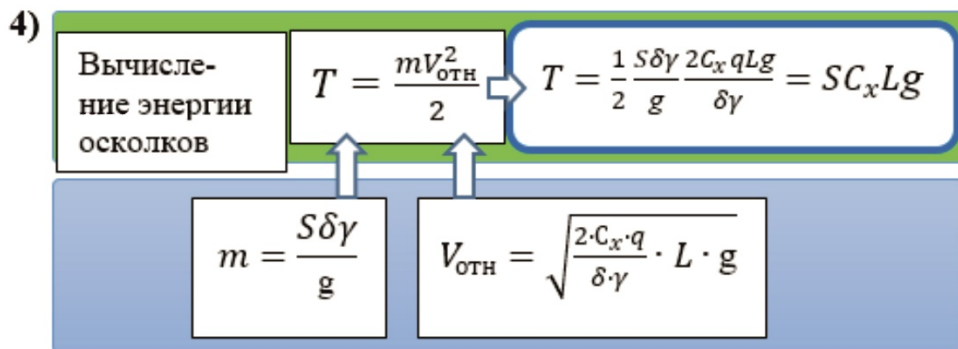


Рисунок 4 – Вычисление энергии осколков

При расчётах принимались допущения, что скорость потока на пути движения осколка падает по линейному закону от $V_{\text{начальной}} = V_{\infty}$ до нуля в критической точке (точке возможного контакта с лётчиком), а плотность воздуха также возрастает по линейному закону. Начальная скорость осколка соответствует скорости полёта самолёта в момент разрушения остекления. Скорость осколка определялась по элементарным формулам механики, при этом принималось, что величина аэродинамической силы, действующей на осколок, остаётся постоянной. Толщина остекления принималась равной 6 мм, удельный вес материала

остекления $\gamma = 1180 \text{ кг/м}^3$. При интегрировании системы уравнений (при расчёте первым способом (рисунок 1)) значения коэффициента лобового сопротивления C_x осколка принимались 0,5 и 1,0. При расчёте вторым способом (рисунок 3) C_x принимался в диапазоне от 0,1 до 1,0.

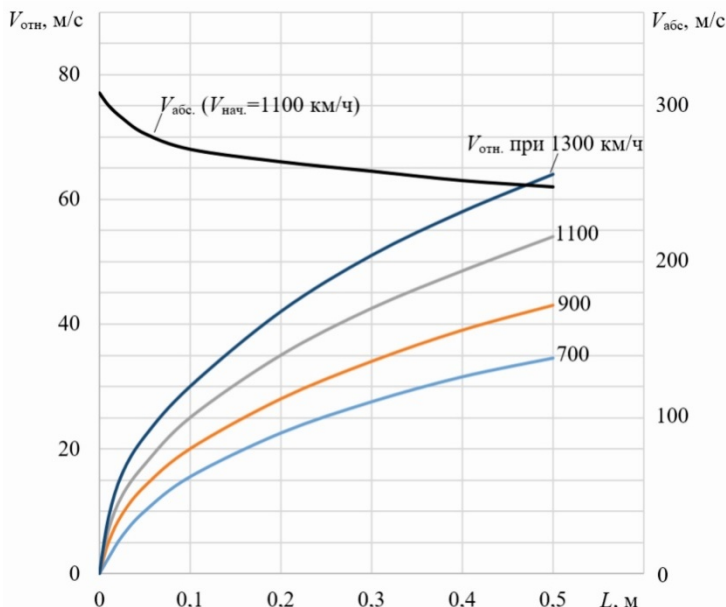


Рисунок 5 – Результаты расчёта скорости осколка в невозмущённом потоке

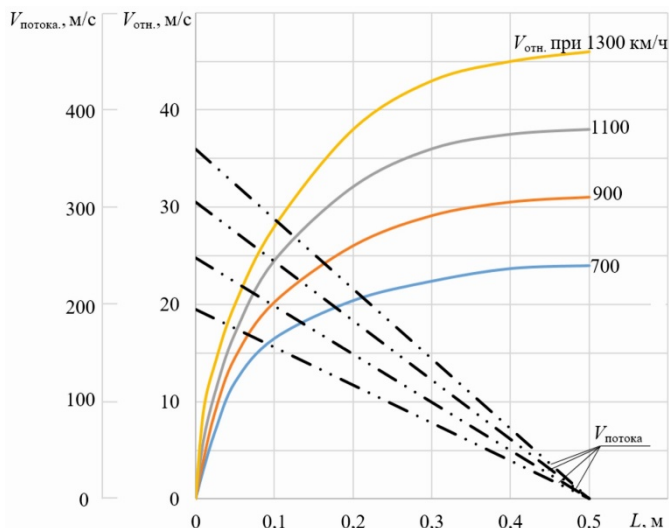


Рисунок 6 – Результаты расчёта скорости осколка, выполненного первым способом, для случая движения осколка в затормаживающемся потоке

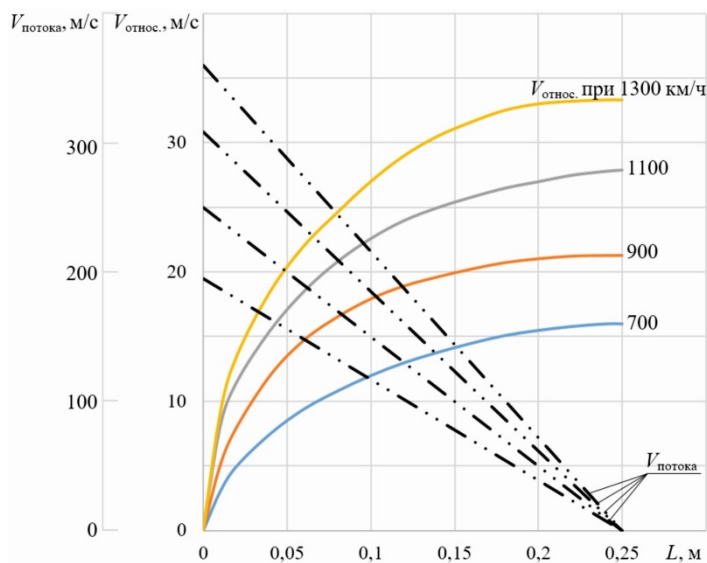


Рисунок 7 – Результаты расчёта скорости осколка, выполненного вторым способом, для случая движения осколка в затормаживающемся потоке

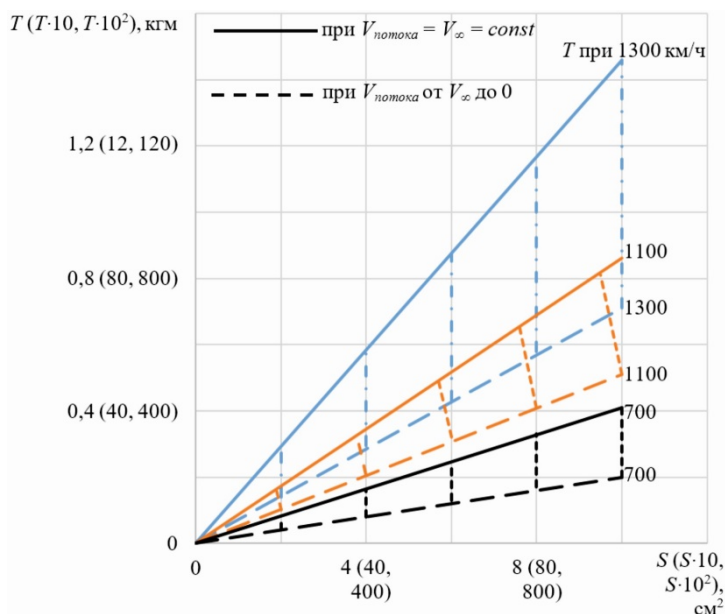


Рисунок 8 – Результаты расчёта уровней кинетической энергии осколков разной площади при различных скоростях полёта

В результате выполненных расчётов параметров движения осколков остекления (рисунки 5-7) и их кинетической энергии (рисунок 8) для различных коэффициентов лобового сопротивления C_x были получены близкие количест-

венные величины этих соотношений для разных потоков и разных способов вычисления [2].

В первом расчётном случае были получены максимальные значения относительных скоростей движения осколков и их кинетической энергии. Во втором случае были получены минимальные значения скоростей и энергии осколков в момент контакта с лётчиком. Наиболее вероятно, что реальная энергия осколка находится в пределах двух значений. Кроме того, можно отметить, что осколки, имеющие неправильную форму, не обладают аэродинамической устойчивостью в полёте и не сохраняют постоянной ориентации в потоке. Наибольшую опасность для лётчика представляют осколки, двигающиеся в затормаживающемся потоке, так как поток вместе с осколками «упирается» в лётчика. Невозмущенный поток не касается лётчика и осколки, которые в нём оказываются, пролетают мимо него.

В результате выполненных расчётов, с учётом принятых при этом допущений, ЛИИ им. М.М. Громова была рекомендована простая формула (1) для количественной оценки кинетической энергии осколков остекления фонаря кабины самолёта, образующихся при разрушении системой разрушения [2].

$$T = K \times S \times C_x \times L \times q, \quad (1)$$

где K – постоянный коэффициент (для рекомендуемой величины $C_x = 0,5$) равный 0,36;

S – площадь осколка, выраженная в m^2 ;

L – путь, проходимый осколком до преграды, выраженный в м;

q – скоростной напор, соответствующий скорости полёта самолёта, выраженный в kg/m^2 .

Так, например, было получено, что при скорости полёта около 500 км/ч величина кинетической энергии среднего осколка (принятого в расчётах площадью $S = 100 \text{ см}^2$) составляет от 1 до 1,5 кгм, на скорости 700 км/ч – от 2 до 3 кгм, на $V = 900 \text{ км/ч}$ – от 3,5 до 5 кгм.

П р и м е ч а н и е – величины кинетической энергии осколка площадью $S = 100 \text{ см}^2$ представлены в статье «Анализ отличительных особенностей...», «Информационно-технологический вестник» № 3 (25).

Осколки с такими уровнями кинетической энергии могут представлять опасность для лётчика и защитного снаряжения. Полученные значения кинетической энергии осколков оказываются достаточно высокими уже на умеренных скоростях полёта (500-700 км/ч). В связи с чем, было рекомендовано организовывать процесс катапультирования и разрушения остекления организовывать так, чтобы в максимальной степени исключить возможность контакта осколков с лётчиком.

Опыт экспериментальных работ с комплексом средств аварийного покидания самолёта Як-130 в основном подтвердил теоретические результаты оценки безопасности лётчика при применении данных СОАВ.

На первоначальном этапе проектирования СОАВ самолёта Як-130 форма ДУЗ хоть и имела сложную геометрию, чтобы при разрушении формировались

более мелкие осколки, но контур ДУЗ был один. Первые эксперименты показали, что образующиеся осколки могут иметь различную площадь, в том числе и достаточно значительную (рисунок 9).

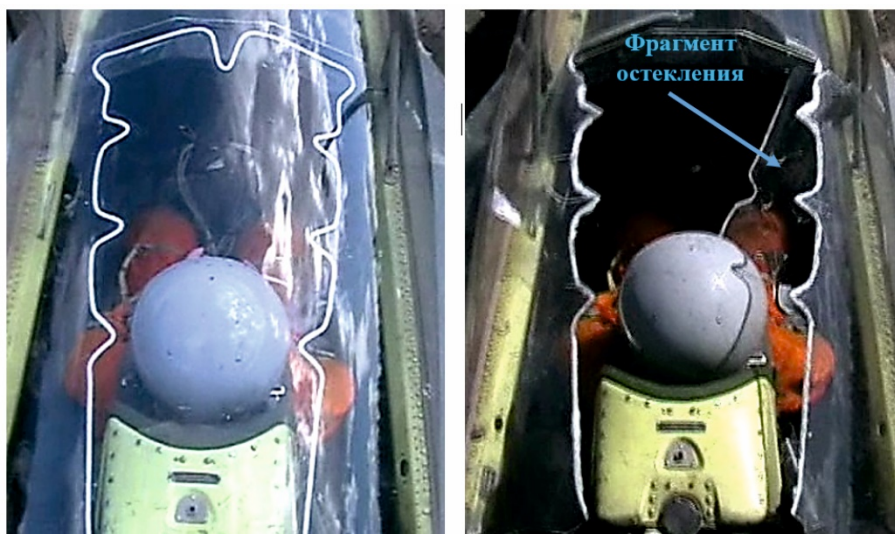


Рисунок 9 – Остекление фонаря кабины с ДУЗ до и после проведения эксперимента

В первых предварительных экспериментах с комплексом средств аварийного покидания самолёта Як-130 (КСАП-130) на скоростях более 500 км/ч довольно часто имели место разрушение светофильтра защитного шлема, повреждения защитного снаряжения.

После ряда доработок, геометрия укладки ДУЗ на остеклении фонаря приобрела более сложную форму и получила двойной контур.

В результате при разрушении остекления формировались более мелкие по размеру осколки остекления, и они удалялись на безопасное расстояние от лётчика энергией направленного взрыва. Достигнуто это было, в том числе, и за счёт большего количества взрывчатого вещества в ДУЗ на единицу площади остекления.

Увеличение количества взрывчатого вещества неминуемо привело к увеличению акустических нагрузок на членов экипажа.

Для оценки безопасности воздействия на членов экипажа акустических нагрузок (избыточного взрывного воздушного давления), возникающих при срабатывании системы разрушения остекления фонаря СР-130, было выполнено большое количество экспериментов на скоростях 0 км/ч и 950 км/ч [3]. Для измерения акустических импульсных нагрузок в экспериментах применялись манекены, оснащённые датчиками измерения акустических импульсных нагрузок в области глаз и в ушах.

При проведении экспериментов манекены одевались в штатное защитное снаряжение лётчика – высотный морской спасательный комплект типа ВМСК-4, защитный шлем типа ЗШ-7АП, кислородная маска КМ-35. Светофильтры за-

щитных шлемов в различных экспериментах находились либо в открытом, либо в закрытом положении. Открытым положением светофильтра имитировался отказ системы автоматического закрытия светофильтра. Тем самым определялись максимальные уровни акустических воздействий на глаза лётчика. Пример проведения эксперимента представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Пример эксперимента по оценке избыточного давления, действующего на уши манекена при срабатывании СР-130

Оценка допустимости уровней акустических воздействий производилась с учётом результатов научно-исследовательской работы «Оценка безопасности действия на летчика взрывного избыточного воздушного давления, возникающего при работе системы разрушения остекления фонаря кабин летчиков СР-130», выполненной ФГУП ГНИИИ ВМ МО РФ.

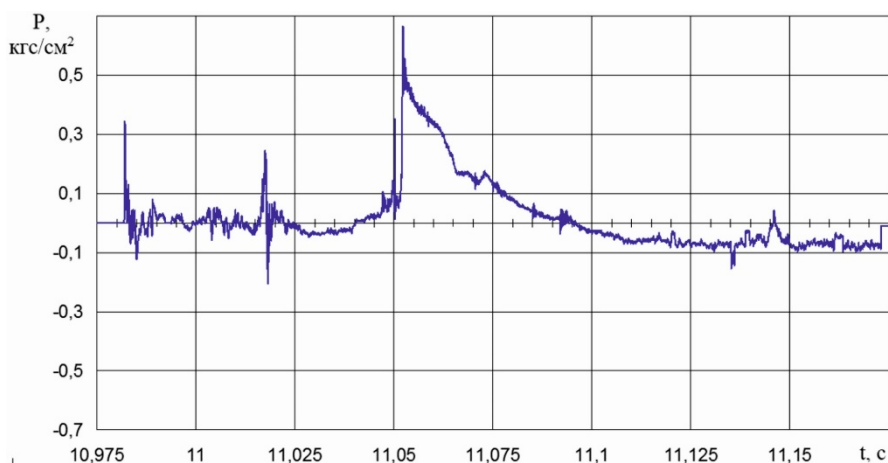


Рисунок 11 – Пример результатов измерений избыточного давления, действующего на глаза манекена при срабатывании СР-130

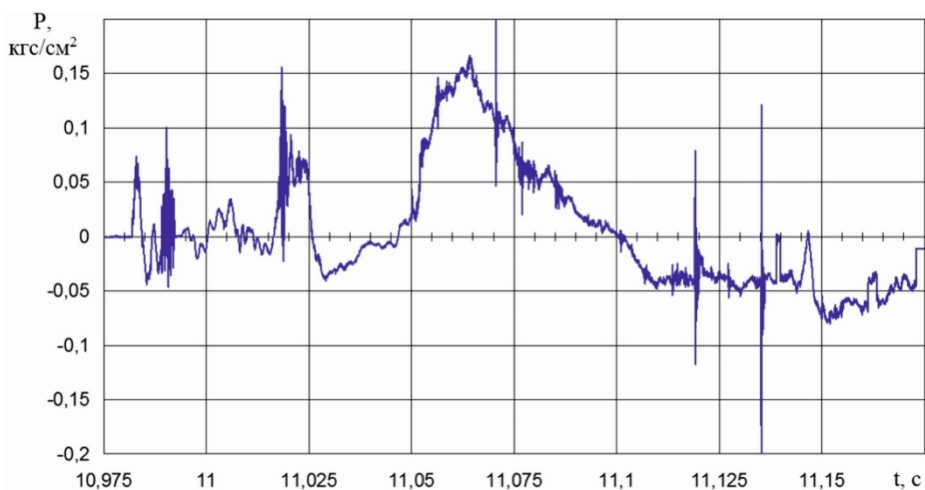


Рисунок 12 – Пример результатов измерений избыточного давления, действующего на уши манекена при срабатывании СР-130

Результаты экспериментов с закрытым светофильтром показали, что:

- при срабатывании СР-130 в первой кабине и второй кабине пиковое акустическое давление на глаза не превышает $P=0,58$ кгс/см²;
- при срабатывании СР-130 в первой и второй кабинах пиковое акустическое давление на уши не превышает $P=0,20$ кгс/см².

В эксперименте с открытым светофильтром, имитирующем нештатную ситуацию, пиковое акустическое давление на глаза манекена составило $P=0,8$ кгс/см², что несколько выше болевого порога, но не приводит к повреждению органа зрения.

Примеры результатов измерений избыточного давления [3] представлены на рисунках 11-12.

Допустимые значения акустических давлений составляют: на глаза – $0,60$ кгс/см², не более, а на уши – $0,35$ кгс/см², не более, общей продолжительностью $0,005$ с, не более. Таким образом, по результатам экспериментов было установлено, что акустические импульсные нагрузки, действующие на уши и глаза лётчика при срабатывании СР-130, находятся в допустимых по физиологическим нормам пределах, и обеспечивают безопасность покидания самолёта членами экипажа.

Выводы

Таким образом, при выполнении оценки безопасности членов экипажа при применении СОАВ, выполненных на основе ДУЗ, было выполнено значительное количество теоретических и экспериментальных работ. На первоначальном этапе, благодаря теоретическим работам ЛИИ им. М.М. Громова и ФГУП ГНИИИ ВМ МО РФ были получены предварительные результаты оценки безопасности членов экипажа, позволившие определиться с дальнейшими работами по доработке и испытаний разрабатываемых систем, на основе ДУЗ. В дальнейшем опыт экспериментальных работ с комплексом средств аварийного

покидания самолёта Як-130 в основном подтвердил теоретические результаты оценки безопасности лётчика при применении данных СОАВ.

Результаты экспериментальных работ по оценке безопасности членов экипажа показали, что:

- уже на скоростях полёта более 500 риск повреждения членов экипажа и их защитного снаряжения может быть достаточно высок, если не будет организовано разрушение остекления фонаря на достаточно мелкие осколки;

- при отработке СОАВ самолёта Як-130 всё-таки была достигнута рациональность конструкции, в целом обеспечивающая безопасность членов экипажа в заданном диапазоне как при воздействии осколков остекления, так и при воздействии акустических нагрузок.

Литература

1. Сосунов М. В., Алферов М. В., Усачёв Д. В. Анализ отличительных особенностей, преимуществ, недостатков систем образования аварийных выходов, выполненных на основе пиротехнических средств и детонирующих удлинённых зарядов // Информационно-технологический вестник. 2020 г. № 25. С. 13-23.
2. Африканов Е.А., Виноградов Н.Н. Расчётная оценка кинетической энергии осколков остекления фонаря кабины, образующихся при разрушении остекления фонаря с целью образования аварийного выхода для кресла с лётчиком при катапультировании // Отчёт. ГНЦ РФ «ЛИИ имени М.М. Громова». 2003 год. 25с.
3. Алфёров М.В., Сосунов М.В. Оценка влияния воздействующих факторов на технические характеристики систем образования аварийных выходов, выполненных на основе детонирующих удлинённых зарядов // Отчёт. Войсковая часть 15650-16. 2020 год. 38с.

УДК 621.396.96:621.26

Точность измерения информационного параметра сигнала в авиационных и ракетно-космических радиосистемах при наличии аддитивных и мультипликативных помех с низким уровнем.

Часть 2 (Примеры измерения частоты и времени прихода полезного сигнала)

В.М. Артюшенко, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой информационные технологии
и управляющие системы,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,

В.И. Воловач, доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Информационный и электронный сервис»,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования, Поволжский государственный университет
сервиса, г. Тольятти

Произведена оценка влияния флуктуационных стационарных мультипликативных помех, действующих одновременно с аддитивными помехами, на точность измерения неэнергетических параметров информационных сигналов. Показано, что мультипликативная помеха низкого уровня оказывает более сильное влияние на точность измерения времени прихода, чем на точность измерения частоты полезного сигнала. Осуществлена количественная оценка влияния мультипликативной помехи на точность измерения неэнергетических параметров полезного сигнала.

Радиотехническое приемное устройство, аддитивные и мультипликативные помехи, «низкий» уровень помех, условная вероятность правильного измерения информационного параметра.

Accuracy of measurement of the signal information parameter in aviation and space-rocket radio systems in the presence of additive and multiplicative interference with a low level.

Part 2 (Examples of frequency and arrival time measurements useful signal)

V.M. Artyushenko, doctor of Technical Sciences, Professor,
head of the Department of information technologies and control systems,
State Budgetary Educational Institution of Higher Education
of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,

V.I. Volovach, doctor of technical Sciences, associate Professor
head of the Department «Information and electronic service»,
State budgetary educational institution of higher education
Volga region state University of service, Tolyatti

The influence of fluctuating stationary multiplicative interference acting simultaneously with additive interference on the accuracy of measurement of non-energy parameters of information signals is estimated. It is shown that low-level multiplicative interference has a stronger effect on the accuracy of the arrival time measurement than on the accuracy of the useful signal frequency measurement. A quantitative assessment of the effect of multiplicative interference on the accuracy of measurement of non-energy parameters of the useful signal is carried out.

Radio-technical receiving device, additive and multiplicative interference, «low» level of interference, conditional probability of correct measurement of the information parameter.

Проиллюстрируем полученные в [1] общие выражения, на примерах измерения частоты и времени прихода.

Точность измерения частоты полезного сигнала. При измерении частоты ω имеем

$$W(\omega, \Omega) \exp\{j\beta(\omega, \Omega)\} = \frac{1}{2} \sqrt{E} \int_0^{T_H} U_0^2(t) \exp\{j(\omega + \Omega)t\} dt = \sqrt{E} \dot{\rho}(\omega + \Omega), \quad \omega = l - l_0. \quad (27)$$

В большинстве случаев огибающая сигнала $U_0(t)$ – функция четная. Тогда, при соответствующем выборе начала отсчета

$$\beta(\omega) = \beta(\omega, \Omega) = 0,$$

при условии, что сигнал полностью лежит внутри интервала наблюдения,

$$\frac{d^2}{d\omega^2} W(\omega) |_{\omega=0} = -\frac{\sqrt{E}}{2} \int_{-\infty}^{\infty} t^2 U_0^2(t) dt = -\bar{t}^2 \sqrt{E}, \quad (28)$$

где \bar{t}^2 – среднеквадратическая длительность полезного сигнала [3].

Определим входящую в выражение для дисперсии оценки параметров функцию

$$\frac{d}{d\omega} W(\omega, \Omega) |_{\omega=0} = \frac{1}{2} \sqrt{E} \frac{d}{d\omega} \times \left[\int_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t) \cos^2(\omega + \Omega)t dt \right]_{\omega=0} = \sqrt{E} G'_{\text{ор}}(\Omega), \quad (29)$$

где $G_{\text{ор}}(\Omega) = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} U^2(t) \cos \omega t dt$ – нормированный спектр квадрата огибающей неискаженного сигнала [$G_{\text{ор}}(\Omega) = |\dot{\rho}(0, \omega)|$], $G'_{\text{ор}}(\Omega)$ – производная $G_{\text{ор}}(\Omega)$ по ω .

Поскольку в рассматриваемом случае $\beta(\omega) = \beta(\omega, \Omega) = 0$, дисперсия ошибок измерения частоты, обусловленных МП, определяется выражением (20).

С учетом выражений (13) [1], (28), (29) полная дисперсия ошибок измерения частоты равна

$$\sigma_{\omega}^2 = \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 t^2} \left\{ 1 + \frac{q^2}{4\pi t^2} \int_{-\infty}^{\infty} [G'_{ог}(\Omega)]^2 [G_V(\Omega) + G_D(\Omega)] d\Omega \right\}. \quad (30)$$

Из выражения (30) следует, что степень влияния МП на точность измерения частоты полностью определяется спектром квадрата огибающей сигнала и спектральными характеристиками ФПМ. Это влияние тем больше, чем ниже уровень АП, то есть чем больше величина q^2 .

Выражение (30) может быть существенно упрощено в двух предельных случаях – при медленных и быстрых МП. В случае медленных МП входящая в (30) функция $G'_{ог}(\Omega)$ изменяется значительно медленнее, чем функции $G_V(\Omega)$ и $G_D(\Omega)$, поэтому в области, где $G_V(\Omega)$ и $G_D(\Omega)$ существенно отличаются от нуля, функцию $G'_{ог}(\Omega)$ можно представить тремя первыми членами разложения в ряд Тейлора. Учитывая при этом, что для сигналов с четными огибающими $G'_{ог}(0) = 0$, получим

$$[G'_{ог}(\Omega)]^2 \approx \Omega^2 [G''_{ог}(0)]^2. \quad (31)$$

С учетом (28), (29) $[G''_{ог}(0)]^2 = (\bar{t}^2)^2$.

Подставляя (31) в (30), имеем

$$\begin{aligned} \sigma_{\omega}^2 &= \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 t^2} + \sigma_{\omega}^2 = \frac{1}{\alpha_0^2 4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 [G_V(\Omega) + G_D(\Omega)] d\Omega = \\ &= \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 t^2} - \frac{1}{2\alpha_0^2} [B''_V(0) + D''_V(0)], \end{aligned} \quad (32)$$

где $B''_V(0) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_V(\Omega) d\Omega$ – вторая производная от функции корреляции флуктуаций ФПМ при $\tau = 0$. Аналогичным образом определяется $D''_V(0)$.

В случае быстрый МП спектральные плотности $G_V(\Omega)$ и $G_D(\Omega)$ в области, где $[G''_{ог}(0)]^2$ существенно отличается от нуля, можно считать постоянными и равными $G_V(0)$, $G_D(0)$ соответственно. Тогда

$$\sigma_{\omega}^2 = \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 t^2} \left\{ 1 + \frac{q^2}{4\pi t^2} [G_V(0) + G_D(0)] \int_{-\infty}^{\infty} [G'_{ог}(\Omega)]^2 d\Omega \right\}. \quad (33)$$

Рассмотрим подробнее интеграл, входящий в выражение (33). С учетом (29) имеем

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} [G'_{ог}(\Omega)]^2 d\Omega &= \frac{1}{4} \frac{\partial}{\partial \omega_1} \frac{\partial}{\partial \omega_2} \iint_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t_1) U_0^2(t_2) \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \text{Re} \{ \exp j[(\omega_1 - \Omega)t_1 + (\omega_2 - \Omega)t_2] + \\ &+ \exp j[(\omega_1 - \Omega)t_1 + (\omega_2 - \Omega)t_2] dt_1 dt_2 d\Omega. \end{aligned} \quad (34)$$

Произведя интегрирование по Ω и учитывая известное соотношение для функции

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\{j\omega\tau\} d\omega = \delta(\tau), \quad (35)$$

после интегрирования по dt_2 , получим

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} [G'_{ог}(\Omega)]^2 d\Omega &= \frac{\pi}{2} \frac{\partial}{\partial \omega_1} \frac{\partial}{\partial \omega_2} \text{Re} \{ \int_{-\infty}^{\infty} [U_0^4(t) + \\ &+ U_0^2(t) U_0^2(-t)] \exp\{jt(\omega_1 - \omega_2)\} dt \}. \end{aligned} \quad (36)$$

Для сигналов с четными огибающими при соответствующем выборе начала отсчета $U_0(t) = U_0(-t)$, тогда

$$\int_{-\infty}^{\infty} [G'_{ог}(\Omega)]^2 d\Omega = \pi \int_{-\infty}^{\infty} t^2 U_0^4(t) dt. \quad (37)$$

При прямоугольной огибающей сигнала длительностью T амплитуда опорного сигнала $U_0(t)$ равна $\sqrt{2/T}$. Она определяется из равенства

$$\frac{1}{2} \int_{-T/2}^{T/2} U_0^2(t) dt.$$

В этом случае

$$\int_{-\infty}^{\infty} t^2 U_0^4(t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\infty}^{\infty} t^2 U_0^2(t) dt = \frac{4}{T} \bar{t}^2$$

и выражение для дисперсии ошибок измерения частоты (33) приобретает вид

$$\sigma_{\omega}^2 \approx \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 \bar{t}^2} \left\{ 1 + \frac{q^2}{T} [G_V(0) + G_D(0)] \right\}. \quad (38)$$

Точность измерения времени прихода. При измерении времени прихода τ ($\tau = l - l_0$) имеем

$$W(\tau, \Omega) \exp\{j\beta(\tau, \Omega)\} = \frac{\sqrt{E}}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{U}_0(t) U_0^*(t - \tau) \exp\{j\Omega t\} dt,$$

где $\dot{U}_0(t) = U_0(t) \exp\{j\Phi(t)\}$ – комплексная огибающая опорного сигнала приемного устройства, оптимального при измерении параметра на фоне белого шума.

Найдем характеристики функции $W(\tau, \Omega)$, $\beta(\tau, \Omega)$, входящие в общее выражение для дисперсии ошибок измерения параметра

$$\frac{d^2}{d\tau^2} W(\tau) \Big|_{\tau=0} = -\sqrt{E} \bar{\Omega}^2,$$

$$W(0, \Omega) = \frac{\sqrt{E}}{2} \int_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t) \cos \Omega t dt = \sqrt{E} G_{or}(\Omega), \quad (40)$$

где $\bar{\Omega}^2 = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 |F_c(\Omega)|^2 d\Omega$ – среднеквадратическая ширина спектра зондирующего сигнала $F_c(\Omega)$ [2].

Определим далее $\frac{d}{d\tau} W(\tau) \Big|_{\tau=0}$. Имеем

$$W(\tau, \Omega) = \frac{\sqrt{E}}{2} \sqrt{A + B}, \quad (41)$$

$$A = \left[\operatorname{Re} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \dot{U}_0(t) U_0^*(t - \tau) \exp\{j\Omega t\} dt \right\} \right]^2;$$

$$B = \left[\operatorname{Im} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \dot{U}_0(t) U_0^*(t - \tau) \exp\{j\Omega t\} dt \right\} \right]^2;$$

$$\frac{d}{d\tau} W(\tau) \Big|_{\tau=0} = -\sqrt{E} \frac{\operatorname{Re}\{\dots\} \frac{d}{d\tau} \operatorname{Re}\{\dots\} + \operatorname{Im}\{\dots\} \frac{d}{d\tau} \operatorname{Im}\{\dots\}}{2\sqrt{[\operatorname{Re}\{\dots\}]^2 + [\operatorname{Im}\{\dots\}]^2}} \Big|_{\tau=0}.$$

Для сигналов с четной огибающей при условии, что они целиком лежат внутри интервала наблюдения, и соответствующем выборе начала отсчета

$$\frac{d}{d\tau} \operatorname{Re}\{\dots\} \Big|_{\tau=0} = \int_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t) \Phi'(t) \sin \Omega t dt; \quad \operatorname{Im}\{\dots\} \Big|_{\tau=0} = 0. \quad (42)$$

С учетом (42) имеем

$$\frac{d}{d\tau} W(\tau) \Big|_{\tau=0} = \frac{\sqrt{E}}{2} \int_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t) \Phi'(t) \sin \Omega t dt = \sqrt{E} \gamma(\Omega). \quad (43)$$

В [2] указывается, что для сигналов с четной функцией $\Phi(t)$ справедливо соотношение

$$\beta(\tau, \Omega) = \tau \Omega / 2.$$

Дисперсия ошибок измерения времени прихода, обусловленных МП, для таких сигналов определяется из выражения (22), а полная ошибка измерения

времени прихода равна

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 \Omega^2} \left\{ 1 + \frac{q^2}{4\pi\Omega^2} \int_{-\infty}^{\infty} G_V(0) \left[\frac{\Omega^2}{4} G_{\text{ор}}^2(\Omega) + \gamma^2(\Omega) \right] d\Omega - \frac{q^2}{4\pi\Omega^2} \int_{-\infty}^{\infty} G_D(0) \left[\frac{\Omega^2}{4} G_{\text{ор}}^2(\Omega) - \gamma^2(\Omega) \right] d\Omega \right\}. \quad (44)$$

Из (44) видно, что составляющая дисперсии ошибок измерения времени прихода сигнала, обусловленная наличием МП, зависит как от огибающей сигнала, через функцию $G_{\text{ор}}(\Omega)$, так и от его фазовой структуры, через функцию $\gamma(\Omega)$.

Для немодулированных импульсных сигналов, у которых $\Phi(t) = 0$ и $\gamma(\Omega) = 0$, из (44) имеем

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 \Omega^2} \left\{ 1 + \frac{q^2}{16\pi\Omega^2} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_{\text{ор}}^2(\Omega) \times [G_V(\Omega) - G_D(\Omega)] d\Omega \right\}. \quad (44a)$$

Сравнение последнего выражения с (30) показывает, что спектральные характеристики МП $G_V(\Omega)$ и $G_D(\Omega)$ входят в эти формулы в виде разности и суммы соответственно.

Анализ, который нетрудно провести показывает, что при нормально распределенных амплитудно-фазовых искажений и нормальных чисто фазовых искажениях функция $G_D(\Omega)$ меньше нуля.

С учетом сказанного из сравнения (30) с последним соотношением можно сделать вывод о более сильном влиянии МП низкого уровня на точность измерения времени прихода, чем на точность измерения частоты.

По-видимому, это связано с тем, что при низком уровне флуктуационных МП сигнал, искаженный помехой, является нестационарным. При этом сигнал, искаженный стационарной флуктуационной МП, становится близким к стационарному, и структура сравниваемых нами выражений в силу того, что $G_V(\Omega) \gg G_D(\Omega)$, становится близкой, а влияние МП на точность измерения частоты и времени прихода оказывается практически одинаковым.

Преобразуем (44) для медленных и быстрых МП. При медленных МП выражения в квадратных скобках можно разложить в окрестностях точки $\Omega = 0$ в степенной ряд. Ограничимся двумя членами этого разложения. После преобразований, аналогичных преобразованиям, проведенным при определении дисперсии ошибок измерения частоты при медленных МП, получим

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 \Omega^2} \left\{ 1 - \frac{q^2 B_V''(0)}{8\Omega^2} (1 + 4[\gamma'(0)]^2) + \frac{q^2 D_V''(0)}{8\Omega^2} (1 - 4[\gamma'(0)]^2) \right\}. \quad (45)$$

При быстрых МП полагаем спектральную плотность ФПМ постоянной на интервале, где функции $\Omega^2 G_{\text{ор}}^2(\Omega)$ и $\gamma^2(\Omega)$ существенно отличны от нуля. В этом случае в (44) появляются следующие интегралы, которые необходимо вычислить:

$$I_1 = \frac{1}{16\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_{\text{ор}}^2(\Omega) d\Omega;$$

$$I_2 = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \gamma^2(\Omega) d\Omega.$$

С учетом выражения (29), определяющего функцию $G_{ор}(\Omega)$ для I_1 и I_2 имеем

$$I_1 = \frac{1}{128\pi} \operatorname{Re} \left\{ \iiint_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 U_0^2(t_1) U_0^2(t_2) [\exp\{j\Omega(t_1 - t_2)\} + \exp\{j\Omega(t_1 + t_2)\}] dt_1 dt_2 d\Omega \right\}.$$

Принимая во внимание соотношения

$$\Omega^2 \exp\{j\Omega(t_1 - t_2)\} = -\frac{d^2}{dt_1^2} \exp\{j\Omega(t_1 - t_2)\};$$

$$\frac{1}{2\pi} \frac{d^2}{dt_1^2} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\{j\Omega(t_1 - t_2)\} d\Omega = \frac{d^2}{dt_1^2} \delta(t_1 - t_2);$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{d^2}{dt^2} \delta(t) dt = \frac{d^2}{dt^2} f(t)|_{t=0},$$

для сигналов с четными огибающими получим

$$I_1 = -\frac{1}{32} \int_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t) [U_0^2(t)]'' dt.$$

Учитывая (43), для I_2 получим

$$I_2 = \frac{1}{32\pi} \operatorname{Re} \iiint_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t_1) U_0^2(t_2) \Phi'(t_1) \Phi'(t_2) \times \\ \times [\exp\{j\Omega(t_1 - t_2)\} - \exp\{j\Omega(t_1 + t_2)\}] dt_1 dt_2 d\Omega.$$

Для сигналов с четными огибающими, у которых $\Phi(t) = \Phi(-t)$ и $\Phi'(t) = -\Phi'(-t)$, из последнего выражения следует

$$I_2 = \frac{1}{8} \int_{-\infty}^{\infty} U_0^4(t) [\Phi'(t)]^2 dt.$$

Подставляя I_1 и I_2 в выражение (44), в случае быстрых МП получим следующее выражение для дисперсии ошибок измерения времени прихода:

$$\sigma_\tau^2 = \frac{1}{\alpha_0^2 q^2 \Omega^2} \left\{ 1 + \frac{q^2 G_V(0)}{8\Omega^2} \int_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t) (U_0^2(t) [\Phi'(t)]^2 - \right. \\ \left. - \frac{1}{4} [U_0(t)]'') dt + \frac{q^2 G_D(0)}{8\Omega^2} \times \right. \\ \left. \times \int_{-\infty}^{\infty} U_0^2(t) \left(U_0^2(t) [\Phi'(t)]^2 + \frac{1}{4} [U_0(t)]'' \right) dt. \right. \quad (46)$$

Приближенные формулы (45), (46) для дисперсии ошибок измерения времени прихода включают простейшие характеристики МП – вторые производные корреляционных функций $B_V(\tau)$, $G_V(\tau)$ при $\tau = 0$, пропорциональные ширине спектра ФПМ, и спектральные плотности ФПМ на нулевой частоте: $G_V(0)$ и $G_D(0)$. Вместе с тем, во многих практических случаях они позволяют для каждого конкретного сигнала просто оценить степень влияния МП на точность измерения времени запаздывания. Рассмотрим конкретные примеры.

Количественная оценка точности измерения частоты и времени прихода при малых чисто фазовых искажениях принимаемых сигналов. Считаем, что фазовые искажения нормальным случайным процессом с нулевым средним и функцией корреляции $B_\varphi = \sigma_\varphi^2 r_\varphi(\tau)$, где $r_\varphi(\tau)$ – коэффициент корреляции.

Спектральные характеристики ФПМ $G_V(\Omega)$ и $G_D(\Omega)$ являются преобразованиями Фурье от соответствующих корреляционных функций $B_V(\tau)$, $G_V(\tau)$:

$$B_V(\tau) = \theta_2^\varphi(1, -1) - |\theta_1^\varphi(1)|^2 \approx \sigma_\varphi^2(1 - \sigma_\varphi^2) r_\varphi(\tau) + \frac{1}{2} \sigma_\varphi^4 r_\varphi(\tau);$$

$$G_V(\tau) \approx -\sigma_\varphi^2(1 - \sigma_\varphi^2)r_\varphi(\tau) + \frac{1}{2}\sigma_\varphi^4 r_\varphi(\tau), \quad (47)$$

$$\alpha_0^2 \approx 1 - \sigma_\varphi^2 + \frac{1}{2}\sigma_\varphi^4,$$

$\theta_2^\varphi(1, -1), \theta_1^\varphi(1)$ – соответственно, двумерная и одномерная характеристическая функция изменений фазы $\varphi(t)$; σ_φ^2 – дисперсия фазы.

Дисперсия измерения частоты и времени прихода радиоимпульса с колоколообразной огибающей и постоянной частотой заполнения. Принимаемый радиоимпульс с комплексной огибающей

$$\dot{U}(t) = \exp\left[-\frac{\pi}{T^2}t^2 + j\omega t\right]$$

считается целиком лежащим внутри интервала наблюдения, тогда при соответствующем выборе начала отсчета имеем

$$W(\omega, \Omega) = \sqrt{E} \exp\left[-\frac{(\omega - \Omega)^2 T^2}{8\pi}\right];$$

$$\beta(\omega, \Omega) = 0; 2E = \frac{T}{\sqrt{2}}; \quad (48)$$

$$W(\tau, \Omega) = \sqrt{E} \exp\left[-\frac{\pi\tau^2}{T^2} - \frac{\Omega^2 T^2}{8\pi}\right]; \beta(\tau, \Omega) = -\frac{\Omega\tau}{2}.$$

Из (48) видно, что при оценке времени прихода колоколообразного радиоимпульса $W(\omega, \Omega) = p(\tau)r(\Omega)$, то есть для определения дисперсии ошибок в данном случае можно использовать простую формулу (21) [1].

Подставляя (48) в (44а), имеем

$$\sigma_{\omega.a}^2 = \frac{4\pi}{\alpha_0^2 T^2 q^2}; \sigma_{\omega.a}^2 = \frac{1}{4\pi\alpha_0^2} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_\Sigma(\Omega) \exp\left\{-\frac{\Omega^2 T^2}{4\pi}\right\} d\Omega, \quad (49)$$

$$\sigma_{\tau.a}^2 = \frac{T^2}{\pi\alpha_0^2 q^2}; \sigma_{\tau.a}^2 = \frac{T^4}{16\pi^2\alpha_0^2} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_p(\Omega) \exp\left\{-\frac{\Omega^2 T^2}{4\pi}\right\} d\Omega,$$

где

$$q^2 = T/N_0\sqrt{2}; G_\Sigma(\Omega) = G_V(\Omega) + G_D(\Omega); G_p(\Omega) = G_V(\Omega) - G_D(\Omega).$$

С учетом (47)

$$G_\Sigma(\Omega) \approx \sigma_\varphi^4 G_{\varphi^2}(\Omega); G_p(\Omega) = 2\sigma_\varphi^2(1 - \sigma_\varphi^2)G_\varphi(\Omega), \quad (50)$$

где $G_\varphi(\Omega), G_{\varphi^2}(\Omega)$ – преобразования Фурье от, соответственно, $r_\varphi(\tau), r_\varphi^2(\tau)$.

Подставляя (50) в (49), окончательно, для случая малых фазовых искажений сигнала, имеем

$$\sigma_\omega^2 = \sigma_{\omega.a}^2 + \sigma_{\omega.m}^2 = \frac{\sigma_{\omega,0}^2}{\alpha_0^2} \left[1 + \frac{T^2 q^2 \sigma_\varphi^4}{16\pi^2} \times \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_{\varphi^2}(\Omega) \exp\left\{-\frac{\Omega^2 T^2}{4\pi}\right\} d\Omega\right] = \sigma_{\omega,0}^2 \eta_{\omega.m}; \quad (51)$$

$$\sigma_\tau^2 = \sigma_{\tau.a}^2 + \sigma_{\tau.m}^2 = \frac{\sigma_{\tau,0}^2}{\alpha_0^2} \left[1 + \frac{T^2 q^2 \sigma_\varphi^2}{8\pi^2} (1 - \sigma_\varphi^2) \times \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_\varphi(\Omega) \exp\left\{-\frac{\Omega^2 T^2}{4\pi}\right\} d\Omega\right] = \sigma_{\tau,0}^2 \eta_{\tau.m}. \quad (52)$$

Коэффициенты $\eta_{\omega.m}$ и $\eta_{\tau.m}$ всегда больше единицы, они показывают, во сколько раз увеличилась дисперсия ошибок измерения за счет действия МП по сравнению со случаем их отсутствия.

Пусть коэффициент корреляции фазовых искажений имеет колоколообразную форму $r_\varphi(\tau) = \exp\{-\mu^2\tau^2\}$, тогда

$$G_{\varphi}(\Omega) = \frac{2\pi}{\Delta\Omega_{\varphi}} \exp\left\{-\frac{\pi\Omega^2}{\Delta\Omega_{\varphi}^2}\right\}, \quad (53)$$

$$G_{\varphi^2}(\Omega) = \frac{2\pi}{\Delta\Omega_{\varphi}\sqrt{2}} \exp\left\{-\frac{\pi\Omega^2}{2\Delta\Omega_{\varphi}^2}\right\},$$

где $\Delta\Omega_{\varphi}$ – эквивалентная ширина энергетического спектра $\varphi(t)$.

С учетом (48), (51), (52) имеем следующие выражения для коэффициентов $\eta_{\omega.м}$, $\eta_{\tau.м}$:

$$\eta_{\omega.м} = \left(1 - \sigma_{\varphi}^2 + \frac{1}{2}\sigma_{\varphi}^4\right)^{-1} \left[1 + \frac{\sigma_{\varphi}^4 \xi_{\varphi}^4 q^2}{2(2\xi_{\varphi}^2 + 1)^{3/2}}\right], \quad (54)$$

$$\eta_{\tau.м} = \left(1 - \sigma_{\varphi}^2 + \frac{1}{2}\sigma_{\varphi}^4\right)^{-1} \left[1 + \frac{1}{2}\sigma_{\varphi}^2(1 - \sigma_{\varphi}^2) \frac{\xi_{\varphi}^2 q^2}{(1 + \xi_{\varphi}^2)^{3/2}}\right],$$

где $\xi_{\varphi} = T\Delta\Omega_{\varphi}/2\pi$.

Ухудшение точности измерения частоты и времени прихода, коэффициенты $\eta_{\omega.м}$ и $\eta_{\tau.м}$, при прочих равных условиях оказывается максимальным, если $\xi_{\varphi} = 1$, $\xi_{\varphi} = \sqrt{2}$ соответственно.

Подставляя указанные значения параметра ξ_{φ} в (54), получим

$$\eta_{\omega.м.макс} = \left(1 - \sigma_{\varphi}^2 + \frac{1}{2}\sigma_{\varphi}^4\right)^{-1} (1 + 0,096q^2\sigma_{\varphi}^4),$$

$$\eta_{\tau.м.макс} = \left(1 - \sigma_{\varphi}^2 + \frac{1}{2}\sigma_{\varphi}^4\right)^{-1} [1 + 0,19\sigma_{\varphi}^2(1 - \sigma_{\varphi}^2)q^2]. \quad (55)$$

Введенное выше условие применимости полученных результатов (26) [1], для МП в рассматриваемом примере при

$\alpha_0^2 \gg 1/q^2$ имеет вид

$$\alpha_0^2 \gg \sigma_{\varphi}^4 \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{-\frac{\Omega^2 T^2}{4\pi}\right\} G_{\varphi^2}(\Omega) d\Omega, \quad (56)$$

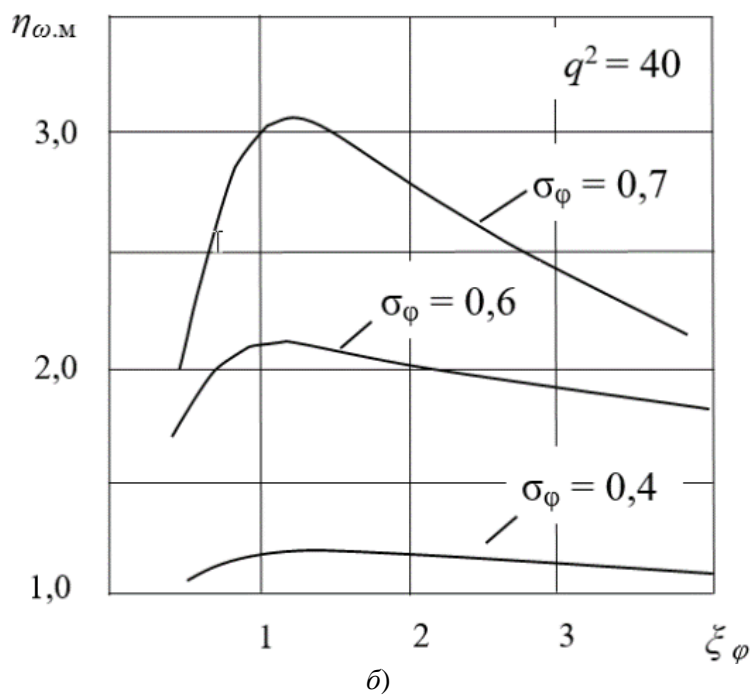
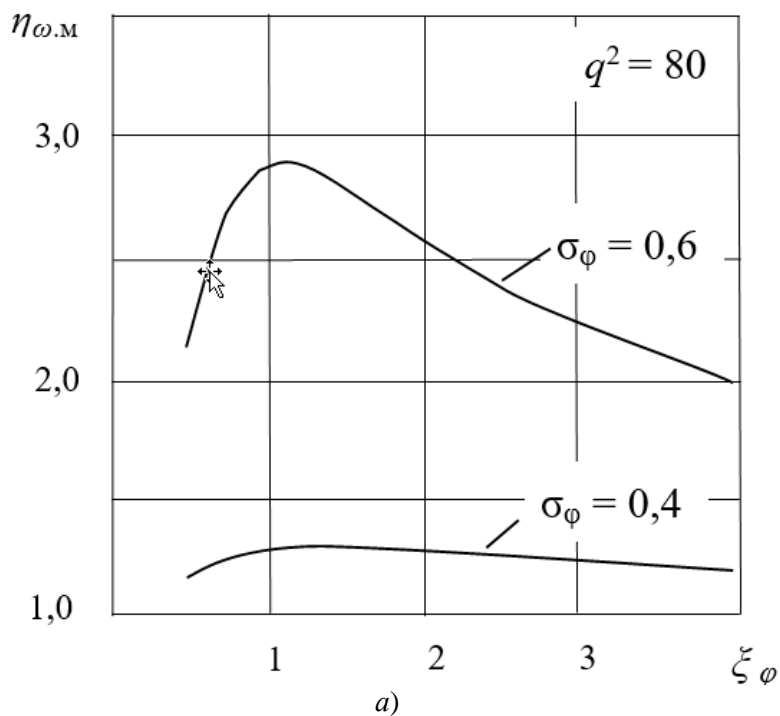
или

$$2\sqrt{2\xi_{\varphi}^2 + 1} \gg \frac{\sigma_{\varphi}^4}{1 - \sigma_{\varphi}^2 + \frac{1}{2}\sigma_{\varphi}^4}.$$

На рисунках 1, 2 представлены зависимости $\eta_{\omega.м}(\xi_{\varphi})$, $\eta_{\tau.м}(\xi_{\varphi})$ при $\sigma_{\varphi} = \text{const}$, построенные с учетом выражения (56).

Следует отметить две интересные особенности полученных результатов. Первое – малые фазовые ошибки в большей степени влияют на точность измерения времени запаздывания, чем на точность измерения частоты принимаемого сигнала. Второе – максимальные значения ошибок $\eta_{\omega.м.макс}$ и $\eta_{\tau.м.макс}$ достигаются при разных значениях интервала корреляции фазовых искажений.

Как уже отмечалось ранее при анализе общих выражений для σ_{ω}^2 и σ_{τ}^2 (33), (44), при больших и достаточно быстрых фазовых искажениях имеет место неравенство $G_V(\Omega) \gg G_D(\Omega)$. При этом в рассматриваемом примере функции $\eta_{\omega.м}$ и $\eta_{\tau.м}$ совпадают, то есть сигнал, искаженный МП, становится близким к стандартному случайному процессу.



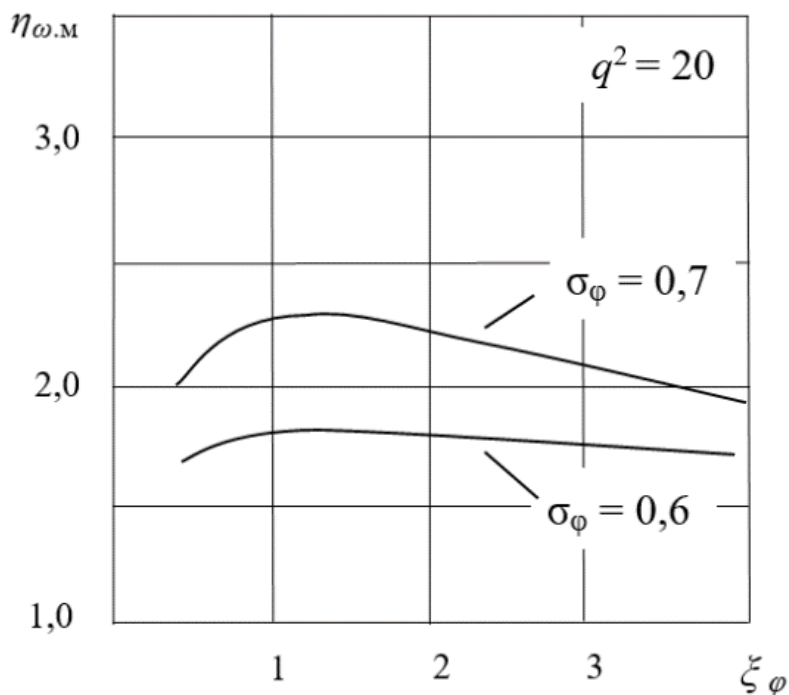
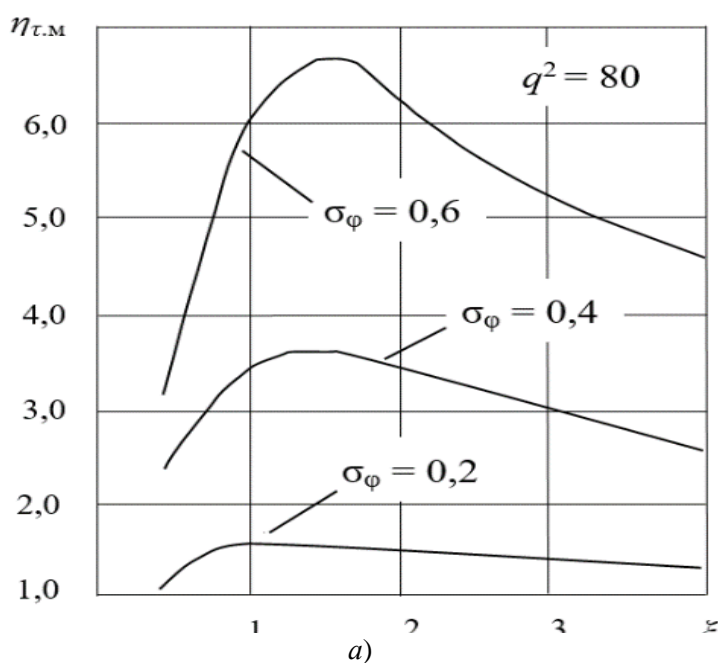


Рисунок 1 – Зависимости $\eta_{\omega,м} = f(\xi_\varphi)$, где: а – $q^2 = 80$; б – $q^2 = 40$; в – $q^2 = 20$



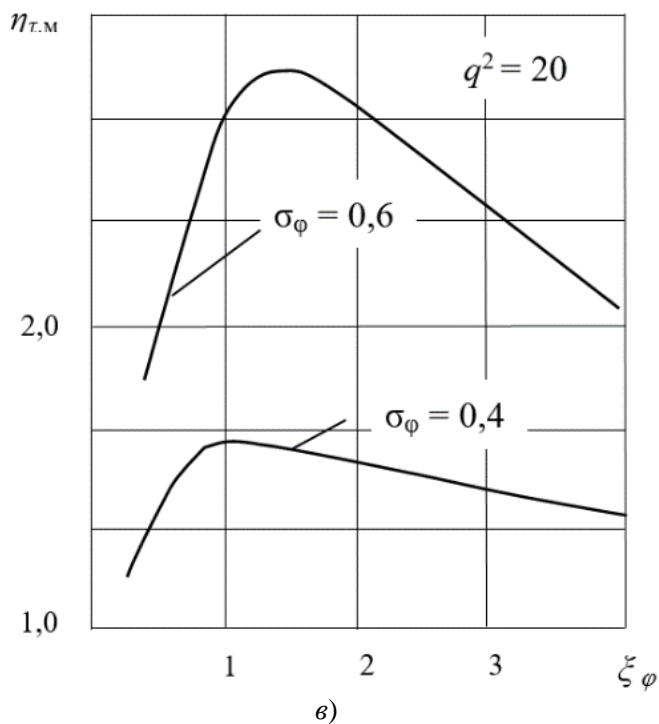
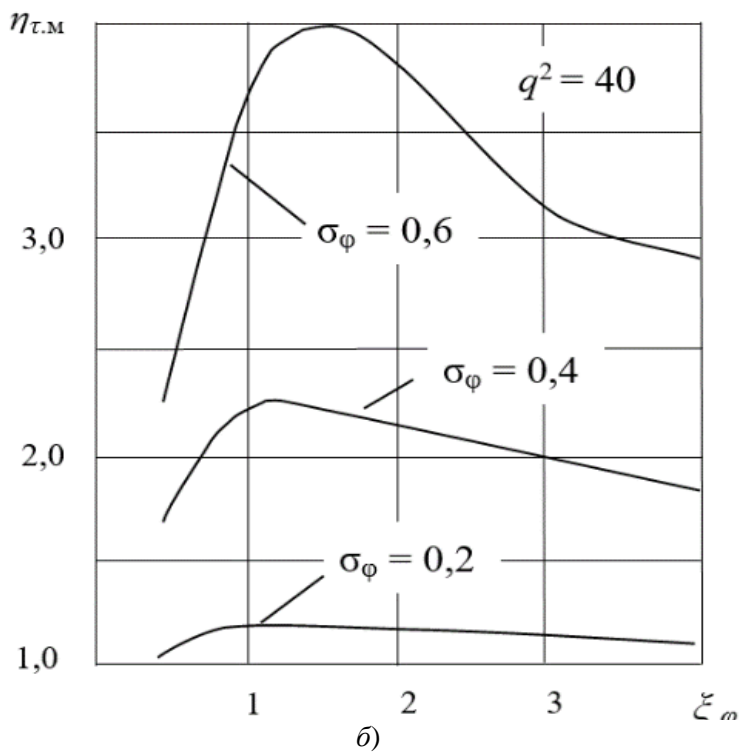


Рисунок 2 – Зависимости $\eta_{т.м} = f(\xi_\phi)$, где: а - $q^2 = 80$; б - $q^2 = 40$; в - $q^2 = 20$

Точность измерения времени прихода частотно-модулированного радиоимпульса. При измерении времени прихода частотно-модулированного (ЧМ) радиоимпульса с колоколообразной огибающей

$$\dot{U}(t) = \exp \left\{ -\frac{\pi t^2}{T^2} - j \frac{\Delta\Omega_d}{2T} t^2 \right\},$$

где $T = \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{U}(t)| dt$ – эквивалентная длительность сигнала; $\Delta\Omega_d$ – девиация частоты за время T , входящие в выражение (44) функции имеют вид

$$q^2 = \frac{T}{N_0\sqrt{2}}; \quad \Omega^2 = \frac{\pi(1+Q_y^2)}{T^2}; \quad G_{ог}(\Omega) = \exp \left\{ -\frac{\Omega^2 T^2}{8\pi} \right\};$$

$$\gamma(\Omega) = \frac{Q_y \Omega}{2} \exp \left\{ -\frac{\Omega^2 T^2}{8\pi} \right\}, \quad (57)$$

где $Q_y = T\Delta\Omega_d/2\pi$ – коэффициент укорочения импульса оптимальным фильтром.

С учетом (57) дисперсия ошибок измерения времени запаздывания (44) равна

$$\sigma_{\tau, ЧМ}^2 = \frac{\sigma_{\tau, 0, ЧМ}^2}{\alpha_0^2} \left\{ 1 + \frac{q^2 T^2}{16\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_V(\Omega) \exp \left\{ -\frac{\Omega^2 T^2}{4\pi} \right\} d\Omega - \right.$$

$$\left. - \frac{q^2 T^2}{16\pi^2} \frac{1-Q_y^2}{1+Q_y^2} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 G_D(\Omega) \exp \left\{ -\frac{\Omega^2 T^2}{4\pi} \right\} d\Omega \right\} = \sigma_{\tau, 0, ЧМ}^2 \eta_{\tau, м. ЧМ}, \quad (58)$$

где $\sigma_{\tau, 0, ЧМ}^2 = \frac{TN_0\sqrt{2}}{\pi(1+Q_y^2)}$ – дисперсия ошибок измерения в отсутствии МП.

Сравнивая (52) с (49), видим, что при $Q_y = 0$, как и следовало ожидать, выражение для дисперсии ошибок измерения времени прихода ЧМ радиоимпульса переходит в выражение для дисперсии ошибок измерения времени прихода немодулированного радиоимпульса с колоколообразной огибающей.

При $Q_y \gg 1$, что является типичным для реальных систем, в которых используются ЧМ сигналы, выражение (58) совпадает с точностью до постоянного множителя с выражением для дисперсии ошибок измерения частоты радиоимпульса с колоколообразной огибающей (49).

Соответственно в этом случае при колоколообразной корреляционной функции фазовых искажений $\eta_{\tau, м. ЧМ} = \eta_{\omega, м.}$, $\eta_{\tau, м. ЧМ, max} = \eta_{\omega, м. max}$ (см. выражения (54), (55) и рисунок 2).

Совпадение выражений (58) и (45) с точностью до постоянного множителя при $Q_y \gg 1$ с физической точки зрения объясняется тем, что в функции автокорреляции ЧМ сигнала существует линейная связь между сдвигом по задержке τ и частоте Ω , так что ошибки измерения времени прихода при известной частоте пропорциональны ошибкам измерения частоты при известном времени прихода.

Выводы. Таким образом, рассмотрены и проанализированы примеры точности измерения информационного параметра сигнала в авиационных и ракетно-космических радиосистемах при наличии аддитивных и мультипликативных помех с низким уровнем.

Показано, что степень влияния мультипликативных помех на точность измерения частоты полностью определяется спектром квадрата огибающей сигнала и спектральными характеристиками функции помеховой модуляции. При-

чем, это влияние тем больше, чем ниже уровень аддитивных помех. Показано, что дисперсия ошибок измерения времени прихода сигнала, обусловленная наличием мультипликативных помех, зависит как от огибающей сигнала, так и от его фазовой структуры.

Получены количественные оценки точности измерения частоты и времени прихода за счет действия мультипликативных помех по сравнению со случаем их отсутствия.

Показано, что при больших и достаточно быстрых фазовых искажениях сигнал, искаженный мультипликативной помехой, становится близким к стандартному случайному процессу.

Литература

1. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Точность измерения информационного параметра сигнала в авиационных и ракетно-космических радиосистемах при наличии аддитивных и мультипликативных помех с низким уровнем. Часть 1. // Информационно-технологический вестник. 2020. №3 (25). С.24-34.
2. Фалькович С.Е. Прием радиолокационных сигналов на фоне флуктуационных помех // М: Советское радио. 1961. 310 с.
3. Хелстром К. Статистическая теория обнаружения сигналов // М.: Изд-во иностранной литературы. 1963. 432 с.

УДК 621.39

Проблема повышения эффективности специализированных авиационных и ракетно-космических систем связи в условиях увеличения потоков речевых сообщений

В.С. Бабин, аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем,

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Современный этап развития авиационных и ракетно-космических систем специальной связи характеризуется увеличением объемов речевых информационных сообщений. Речь придает эмоциональный окрас общению, а также позволяет выразить личные качества говорящего, чего гораздо сложнее добиться путем обмена видеозаписями или изображениями. Данные аспекты подтверждают, что, во-первых, растет спрос на голосовую связь, а, во-вторых, возникает проблема повышения эффективности ССС. Возможным направлением решения таковой проблемы целесообразно считать минимизацию затрат частотно-временных ресурсов, в основе которой лежит совершенствование методов обработки данных.

Системный анализ, методы и алгоритмы, повышение эффективности, специализированные системы связи.

The problem of improving the efficiency of specialized aviation and space-rocket communication systems in the context of increasing flows of speech messages

V.S. Babin, post-graduate student of the Department of information technologies and control system,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The current stage of development of aviation and rocket and space special communication systems is characterized by an increase in the volume of speech information messages. Speech gives an emotional color to communication, and also allows you to Express the personal qualities of the speaker, it is much more difficult to achieve by exchanging videos or images. These aspects confirm that, firstly, the de-

mand for voice communication is growing, and, secondly, there is a problem of improving the efficiency of the CCC. It is advisable to consider minimizing the cost of time-frequency resources, which is based on improving data processing methods, as a possible way to solve this problem.

System analysis, methods and algorithms, improving efficiency, specialized communication systems.

Современный этап развития авиационных и ракетно-космических систем специальной связи (далее – ССС) характеризуется увеличением объемов передаваемых речевых сообщений. Речь придает эмоциональный окрас общению, а также позволяет выражать личные качества говорящего, чего гораздо сложнее добиться путем обмена видеозаписями или изображениями.

Данные аспекты характеризуют, во-первых, рост спроса на голосовую связь, а, во-вторых, возникает проблема повышения эффективности ССС. Возможным направлением решения таковой проблемы целесообразно считать минимизацию затрат частотно-временных ресурсов, в основе которой лежит совершенствование методов обработки данных.

Важно отметить, что такие факторы как техническая составляющая и физические свойства систем обмена данными служат ограничителями возможностей роста ширины частотной полосы и времени передачи информации в ССС. Данная проблема активно исследуется и носит системный характер [3, 4].

Существующие на данный момент и применяемые на практике технологии обработки речевых сигналов, не в полной мере соответствуют ожидаемым результатам, то есть современный уровень эффективности использования авиационных и ракетно-космических систем специальной связи является недостаточным (Табл. 1).

Данные аспекты позволяют сделать вывод о недостаточной степени проработки указанной проблемы.

Таким образом, проблема повышения эффективности авиационных и ракетно-космических специализированных систем связи в условиях увеличения потоков речевых сообщений актуальной проблемой, обуславливающей цель – повысить эффективность функционирования специализированных авиационных и ракетно-космических систем связи на основе разработки и реализации новых методов минимизации затрат их частотно-временных ресурсов.

Для достижения поставленной цели необходимо проанализировать совокупность требований к эффективности авиационных и ракетно-космических ССС, а также выявить наиболее оптимальные методы и алгоритмы обработки речевой информации.

ССС – система связи, организованная в интересах обеспечения деятельности органов государственной власти, безопасности и обороны государства, а также органов, обеспечивающих правопорядок [1, 2].

Таблица 1 – Недостатки современного уровня эффективности использования авиационных и ракетно-космических систем специальной связи

<p>разделение канальных сигналов в системах передачи речевой информации с частотным уплотнением на основе применения фильтров с конечной импульсной характеристикой (далее – КИХ-фильтров), из-за не прямоугольности их амплитудно-частотной характеристики (далее – АЧХ) не оптимально в смысле достижения минимума «просачивания» энергии из соседних каналов, что приводит к необходимости расширения межканальной полосы частот для достижения приемлемого уровня их взаимного влияния, а это не позволяет достичь максимального использования выделенных частотных ресурсов</p>	<p>современные методы формирования канальных сигналов с частотным уплотнением не позволяют эффективно использовать частотно-временные ресурсы ССС, так как не обеспечивают максимальной концентрации энергии в выделенной полосе частот при заданной длительности сеанса связи</p>
<p>в системах связи с подвижными объектами эффективность использования выделенного частотного и временного ресурсов также снижается и за счет того, что при большой неопределенности частоты, и изменений времени прихода принимаемых сигналов для снижения взаимных помех приходится вводить защитные интервалы по частоте и времени</p>	<p>при передаче речевых данных в режиме кодового разделения ресурсов каналов связи требуются большие временные затраты на подстройку частоты несущих колебаний при реализации информационного обмена с подвижными объектами, а также не удается минимизировать выделенные частотные ресурсы</p>

В соответствии с общей классификацией систем ССС целесообразно относить к типу ненаправленных управляемых человеко-машинных систем. Такие системы могут быть представлены в виде иерархической структуры.

К ключевым подходам изучения сложных организационно-технических систем следует относить, прежде всего, принцип декомпозиции.

Данный принцип подразумевает разбиение исходной системы на совокупность элементов, отвечающих за конкретные цели (рис. 1).

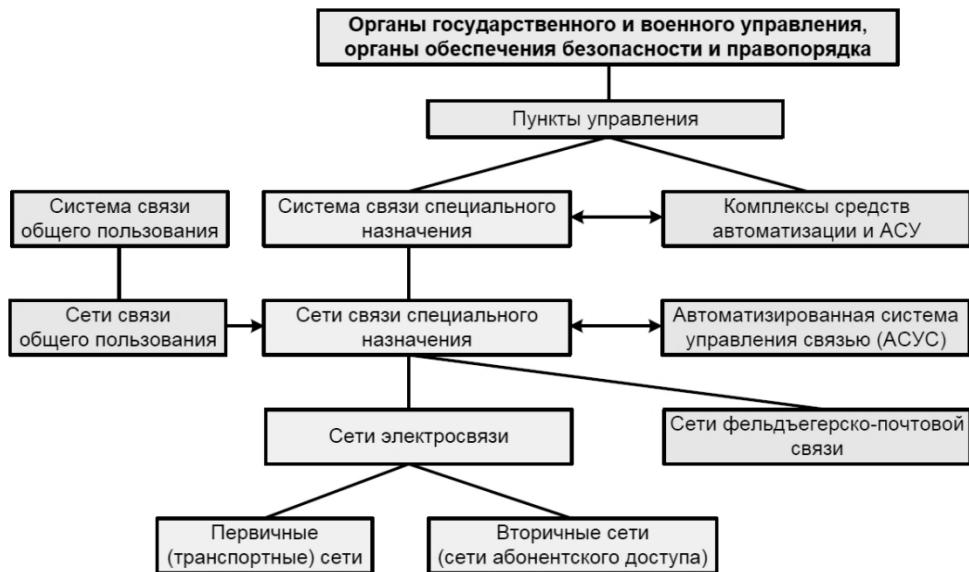


Рисунок 1 – Вариант декомпозиции ССС

Раскрывая рисунок 1 далее на рисунке 2 представлена классификация первичных и вторичных элементов сетей ССС.

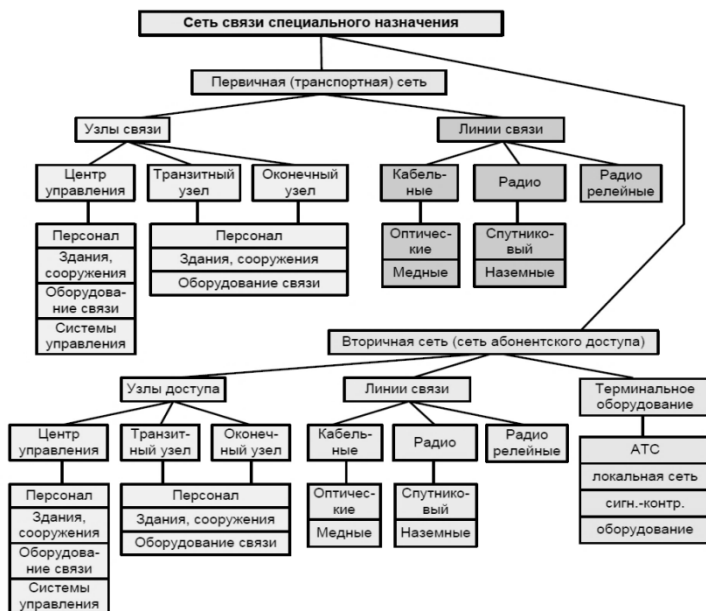


Рисунок 2 – Классификация элементов ССС

Важно отметить, что состав первичных и вторичных сетей ССС может включать и выделенные сети.

Применение ССС охватывает как системы государственного (а также военного) управления, так и системы, которые обеспечивают безопасность и порядок. Все это в совокупности формирует следующие основные требования к таким системам (рис. 3).

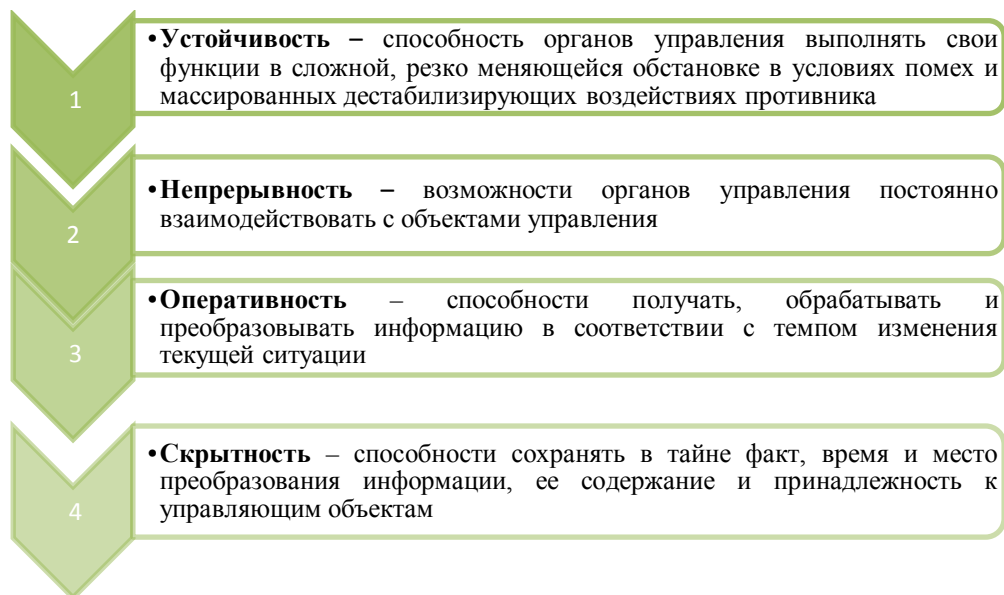


Рисунок 3 – Ключевые показатели функционирования ССС

Для обеспечения вышеперечисленных требований, необходимо удовлетворить также ряд требований к процессу обмена информацией между объектами и пунктами управления (рис. 4).

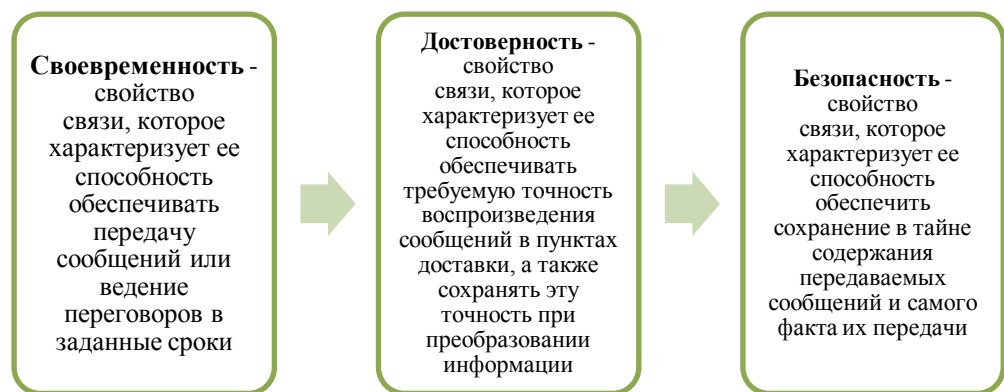


Рисунок 4 – Требования к процессу переноса информации

Помимо прочего, в свою очередь ССС, должна соответствовать определенным требованиям к ее свойствам. Данная взаимосвязь отражена в графическом виде на рисунке 5.

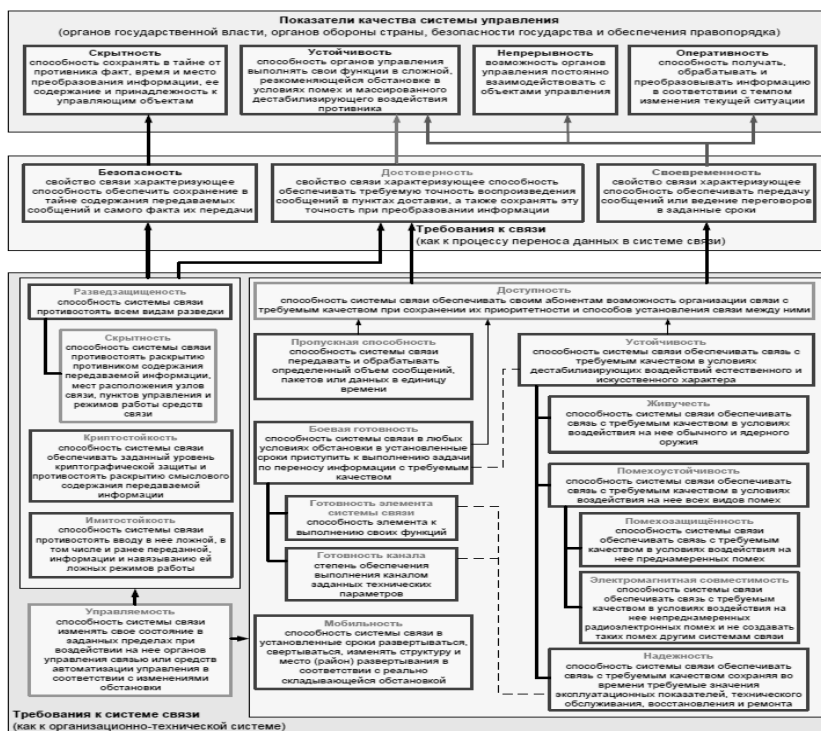


Рисунок 5 – Требования к ССС

Ключевая отличительная особенность ССС от систем связи общего пользования – ориентированность на работоспособность не только в мирное и военное время, но и в условиях постоянного информационного противоборства, то есть при наличии деструктивных воздействий со стороны потенциального противника [5, 6, 7].

Устойчивость сети электросвязи – способность сети электросвязи выполнять свои функции при выходе из строя части ее элементов в результате воздействия дестабилизирующих факторов.

Дестабилизирующие факторы – воздействия на системы специальной связи, физического или технологического процесса внутреннего или внешнего характера, приводящие к перебоям в работе или полному отказу составных элементов системы специальной связи.

Классификация дестабилизирующих воздействий на ССС представлена на рисунке 6.

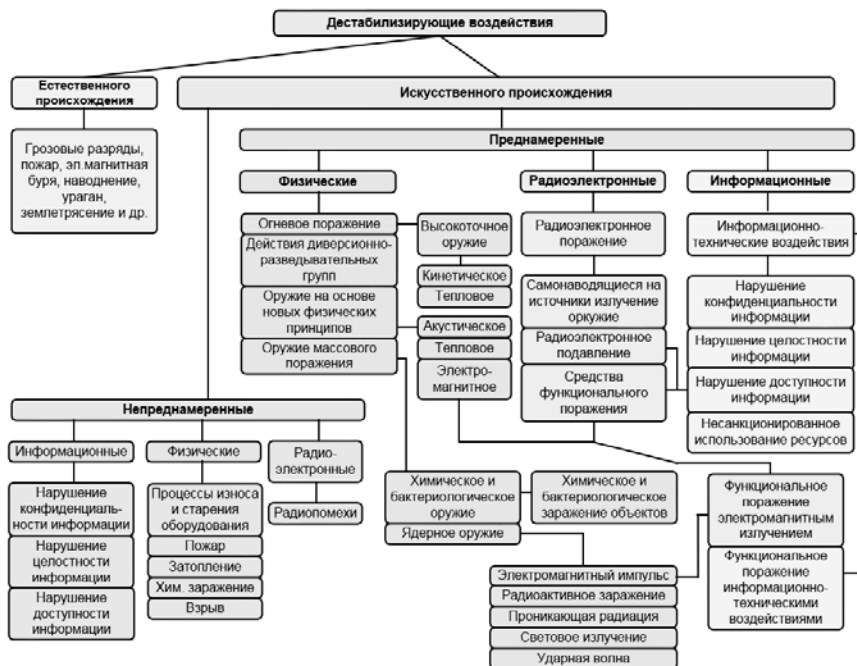


Рисунок 6 – Классификация дестабилизирующих факторов

Таким образом, на современном этапе становления и развития общества в условиях постоянного роста удаленного способа взаимодействия между пользователями ССС вопросы повышения эффективности авиационных и ракетно-космических специализированных систем связи в условиях увеличения потоков речевых сообщений приобретают все большую значимость. В связи с этим, обостряется важность и практическая значимость разработки и совершенствования ССС при условии обеспечения заданных показателей скорости и качества передачи.

Литература

1. Федеральный закон «О связи» от 07.07.2003 № 126-ФЗ.
2. Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 № 149-ФЗ.
3. Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А. Теория систем и системный анализ // М.: Дашков и К. 2016.
4. Корнев Г.Н., Яковлев В.Б. Системный анализ // М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М. 2016.
5. Макаренко С.И. Описательная модель сети связи специального назначения // Журнал «Системы управления, связи и безопасности». № 2. 2017.
6. Михайлов Р.Л., Макаренко С.И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на нее дестабилизирующих факторов // Журнал «Радиотехнические и телекоммуникационные системы». № 4. (12). 2013.
7. Михайлов Р.Л., Владимиров Е.С. Методика обоснования показателя устойчивости связи // Журнал «I-methods». № 3. 2015.

УДК 629.7.017.1

Анализ отказов различных систем космических аппаратов

А.А. Брусков, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с анализом отказов различных систем космических аппаратов. Рассмотрен вопрос создания условий для анализа отказов в нескольких состояниях космического аппарата. Проведен сравнительный анализ надежности систем космических аппаратов. Показано, что результаты анализа отказов в нескольких состояниях могут быть использованы для дальнейшего детального изучения «физики аномалий и отказов» отдельных подсистем космического аппарата.

Анализ отказов, непараметрический анализ многопараметрических отказов подсистем, сравнительный анализ надежности, многофазные отказы космических аппаратов, анализ аномалий, параметрические модели Вейбулла, оценка Каплана-Мейера.

Analysis of failures of various spacecraft systems

A.A. Bruskov, post-graduate student,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education
of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

Issues related to the analysis of failures of various spacecraft systems are considered and analyzed. The issue of creating conditions for analyzing failures in several States of the spacecraft is considered. A comparative analysis of the reliability of spacecraft systems is carried out. It is shown that the results of the analysis of failures in several States can be used for further detailed study of the « physics of anomalies and failures» of individual subsystems of the spacecraft.

Failure analysis, nonparametric analysis of multiparametric subsystem failures, comparative reliability analysis, multiphase spacecraft failures, analysis of anomalies, parametric Weibull models, Kaplan-Meyer estimation.

Многие инженерные системы, включая космические аппараты, могут испытывать отказы различной степени тяжести и, таким образом, переходить из полностью работоспособного состояния в различные состояния частичной де-

градации или полного отказа систем. База данных, используемая для статистического анализа в настоящей работе, выделяет четыре класса аномалий и отказов для каждой подсистемы космического аппарата: три деградированных состояния и одно состояние полного отказа:

- Класс I: отказ систем, приводящий к выходу космических аппаратов из строя. Это фактически означает полный отказ космического аппарата из-за отказа подсистемы или системы;

- Класс II: крупная неремонтопригодная неисправность, которая влияет на работу космического аппарата или его подсистем на постоянной основе;

- Класс III: крупная неисправность, приводящая к потере работы космического аппарата или его систем на постоянной основе;

- Класс IV: незначительная/временная ремонтпригодная неисправность, которая не оказывает существенного постоянного воздействия на работу космического аппарата или его систем.

Были собраны все аномалии и отказы, их распределение по различным классам показаны на рисунке 1.



Рисунок 1 – Распределение аномалий и отказов по степени тяжести для космических аппаратов, успешно запущенных в период с января 1990 года по октябрь 2020 года

Частичные отказы различной степени тяжести составляют значительную часть аномальных событий, с которыми космический аппарат сталкивается на орбите, и поэтому их анализ дает дополнительную и важную информацию для понимания поведения и склонности космических аппаратов к отказу их подсистем. Данные, представленные на рисунке 1, не следует чрезмерно интерпретировать за пределами смысла, который они передают. А именно, что сосредоточение внимания исключительно на надежности космических аппаратов, определяемой как вероятность нахождения в рабочем состоянии, упускает важную

часть по деградации систем и поведению при отказе космических аппаратов. Это приводит к следующим вопросам: «Как можно проанализировать ухудшение функциональности элемента?» и «Как со временем ухудшается функциональность конкретных подсистем космического аппарата?».

Создание условий для анализа отказов в нескольких состояниях космического аппарата. Чтобы произвести исследование отказов подсистем космических аппаратов необходимо идти в новом направлении за пределы бинарной концепции надежности до анализа аномалий и отказов в нескольких состояниях или происхождению отказов различной степени тяжести, как показано на рисунке 2. Анализ отказов в нескольких состояниях вводит «деградированные состояния» или частичные отказы и, таким образом, обеспечивает более глубокое понимание через более точный просмотр поведения деградации элемента и его прогрессии к полному отказу.

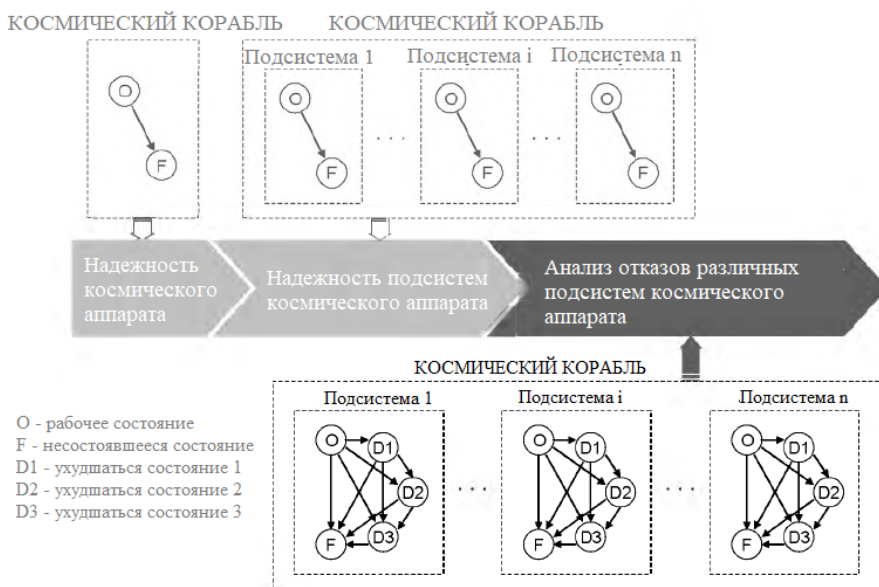


Рисунок 2 – Прогрессия в статистическом анализе отказов космических аппаратов и подсистем космических аппаратов

Диаграмма состояния отказа для каждой подсистемы показана на рисунке 3. Состояние 1 (отказ класса I) в стохастическом моделировании называется поглощающим состоянием: оно не может быть восстановлено, и поэтому из него не исходят исходящие переходы. На рисунке 3 не показаны переходы из частично отказавшего состояния в более высокому функциональному состоянию (т.е. нет направленной дуги от S_i к $S_{(i+1)}$ для $i \neq 1$). На самом деле в этом «исцеляющем» направлении происходит очень мало переходов (3,6%), как следует из базы данных.

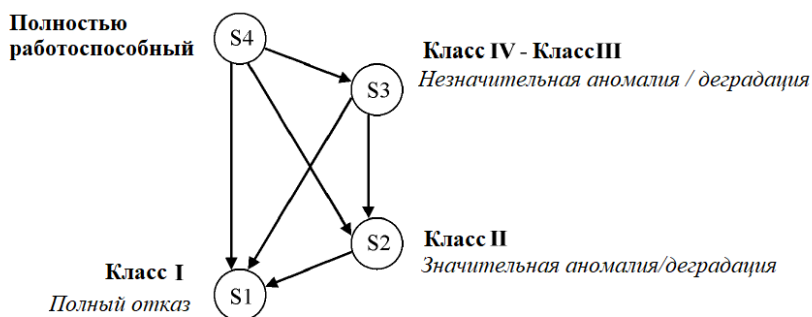


Рисунок 3 – Переходная диаграмма отказоустойчивости подсистем космического аппарата

Рассмотрим следующие обозначения:

T_{ij} – переход между состояниями i и j в состоянии

P_{ij} – условная вероятность перехода из состояния i в состояние j

Например, переход подсистемы из полностью работоспособного состояния (S4) в крупную аномалию (S2) обозначается как T_{42} , а вероятность перехода между этими двумя состояниями равна P_{42} . Как вычислить эти вероятности перехода рассмотрим далее.

Множественные отказы и анализ состояний: теоретические разработки и применения к подсистемам космических аппаратов.

Непараметрический анализ многопараметрических отказов подсистем. Здесь данные об отказах и аномалиях из всех ранее определенных состояний используются для вычисления вероятности перехода из одного состояния в другое для всех подсистем космического аппарата. Для каждой подсистемы и каждого перехода состояния (ij) собираются следующие данные:

- 1) дата его прибытия в состояние i ;
- 2) дата его выхода из состояния i в состояние j , если этот переход произошел;
- 3) «лимитированное время», если переход состояния (ij) не произошел.

Особое внимание необходимо уделять лимитам. Кроме того, помимо процедуры обработки данных с правой выборкой в бинарном случае анализа надежности отказы с несколькими состояниями вносят дополнительную тонкость в определение выборочных данных и их обработку. Набор данных по-прежнему подвергается случайной выборке с шахматной записью, что означает следующее:

- подсистемы в выборке активируются (дата прибытия в состояние i или дата запуска для $i = 4$) в разные моменты времени, но всегда время активации известны.
- даты отправления из состояния i в состояние j являются стохастическими (как и выборка).

Выборка происходит потому, что космический аппарат удаляется из вы-

борки до того, как произойдет T_{ij} , или потому, что конец окна наблюдения достигнут (октябрь 2020 года) без того, чтобы подсистема испытывала переход T_{ij} . Кроме того, при анализе отказов в нескольких состояниях при изучении T_{ij} для данной подсистемы выборка также происходит, когда подсистема переходит в состояние k , отличное от состояния j . В этом случае $T_{ik} \cdot ck \neq j$ считается выборка для вычисления T_{ij} . Например, при изучении T_{43} , то есть перехода подсистемы из полностью работоспособного состояния в состояние малой аномалии/деградации, T_{43} подвергается выборке со стороны T_{42} и T_{41} , переходов в состояние 2 и состояние 1 (большая аномалия/деградация и полный отказ).

Соответственно, оценка Каплана-Мейера должна быть адаптирована для оценки условной вероятности P_{ij} перехода из состояния i в состояние j в контексте множественных сбоев с их четкой выборкой. Чтобы проиллюстрировать этот момент, рассмотрим диаграмму перехода, показанную на рисунке 4. ниже рассматривается оценка вероятности перехода из состояния i в состояние j , P_{ij} . Это, по сути, условная вероятность, которая означает, что если элемент находится в состоянии i , то P_{ij} , скорее всего, перейдет в состояние j к моменту t . Напомним, что выборка в бинарном анализе надежности подразумевает, что элемент был удален из наблюдения (по различным причинам) до возникновения сбоя. При анализе отказов в нескольких состояниях любой переход в другое состояние, отличное от интересующего, например, из состояния i в состояние j , также считается отбором. Например, на рисунке 4 переходы из состояния i в состояние r или s ($r \neq j$ и $s \neq j$) рассматриваются как выборочные для вычисления P_{ij} .

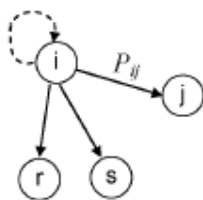


Рисунок 4 – Переходная диаграмма P_{ij}

Оценка \hat{P}_{ij} от P_{ij} записывается в виде:

$$P_{ij}(t) = 1 - \prod_{\substack{\text{все } k \\ \text{такие, что } t_{ij,k} \leq t}} \widehat{P}_{ij,k} = \prod_{\substack{\text{все } k \\ \text{такие, что } t_{ij,k} \leq t}} \frac{n_{ij,k} - 1}{n_{ij,k}} \quad (1)$$

где:

$t_{ij,k}$ – время до k -го вылета из состояния i в состояние j (расположено в порядке возрастания)

$n_{ij,k}$ – количество единиц в состоянии i непосредственно перед $t_{ij,k}$

= n – [количество отобранных единиц непосредственно перед $t_{ij,k}$]

– [количество единиц, перешедших в состояние j непосредственно перед

$t_{ij,k}]$

Имея исходную информацию, анализ множественных отказов подсистем космических аппаратов теперь может быть применен к данным об аномалиях на орбите и отказах 1584 космических аппаратов в выборке для получения непараметрических оценок \hat{P}_{ij} от P_{ij} .

Сколько существует непараметрических вычислений \hat{P}_{ij} ? Комбинаторика задачи множественных отказов включает в себя следующее: анализ нескольких состояний охватывает 11 подсистем космического аппарата и 4 состояния для каждой подсистемы (плюс одна неизвестная категория).

Поэтому теоретически для каждой подсистемы мы должны вычислить $4^2 = 16$ вероятностей перехода. Однако это число сокращается по следующим двум причинам:

-вероятность P_{ij} является зависимой переменной от всех P_{ij} ($i \neq j$) и не требует специального непараметрического вычисления. Следствием этого является то, что мы остаемся с $4^2 - 4 = 13$ (т. е. вероятностями перехода P_{ij} для оценки)

-при дополнительном допущении отсутствия перехода в направлении восстановления работоспособности переходы из частично несостоявшегося состояния в более высокое функциональное состояние устраняются, и $12 - (3 + 2 + 1) = 6$ вероятности перехода \hat{P}_{ij} оставлены для оценки для каждой подсистемы, как показано на рисунке 3.

С 11 подсистемами и 6 возможными переходами состояний для каждой подсистемы, подлежащей вычислению, существует 66 непараметрических вероятностей для оценки (исключая неизвестную категорию). Кроме того, для оценки 95% доверительного интервала требуются два (непараметрических) расчета для каждой вероятности перехода. В результате необходимо провести 198 непараметрических расчетов для полной характеристики отказоустойчивого поведения спутников в выборке с учетом количества подсистем и выявленных классов отказов. Такое увеличение вероятностей переходов, по сути, является одной из главных трудностей в статистической обработке отказов с несколькими состояниями по сравнению с простым (бинарным) анализом надежности и справедливо описывается в литературе как «проклятие измерения». Однако, как будет показано в скором времени, выводы, полученные в результате анализа отказов в нескольких состояниях, соответствуют этой дополнительной сложности.

На рисунке 5 приведен пример непараметрических вычислений. Показаны шесть вероятностей перехода подсистемы гироскопа / датчика / двигателя-маховика. На рисунке 5 показано следующее: например, после четырех лет пребывания на орбите вероятность перехода гиросистемы из состояния 4 в состояние 3 составляет примерно 4,8% (незначительная аномалия; кроме того, P_{43} упадет между 3,5% и 6,0% с 95% -ной уверенностью), 1,3% – из состояния 4 в состояние 2 (большая аномалия) и 0,3% – из состояния 4 в состояние 1 (полный отказ). Вероятности переходов P_{41} , P_{31} и P_{21} обеспечивают более тонкое разрешение в механизмах, приводящих к полной потере космического аппарата, в отличие от традиционных анализов надежности, которые объединяют эти перехо-

ды.

Несколько переходов между состояниями для различных подсистем отсутствуют в анализируемом здесь наборе данных. Например, для топливной системы/двигателя нет перехода, произошедшего между незначительной аномалией (состояние 3) и полным отказом (состояние 1) в наборе данных. В результате этот переход не подлежит статистическому анализу. Другие переходы также не встречаются в наборе данных, что сокращает общее число переходов до 48 и в общей сложности 144 непараметрических вычисления (исключая неизвестную категорию). Отсутствующие переходы можно увидеть в таблице.1 и таблице 2, отмеченных как «NA». Далее приводятся параметрические соответствия для всех этих вероятностей перехода.

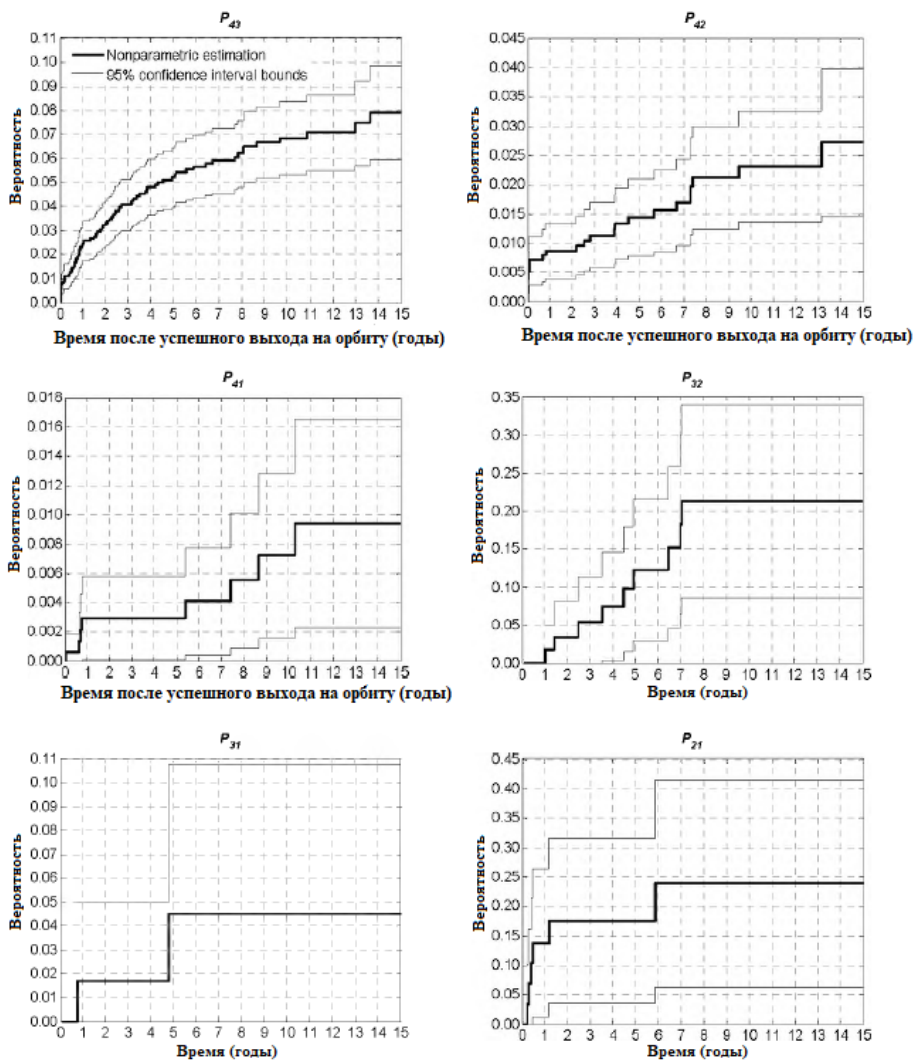


Рисунок 5 – Вероятности перехода для гироскопа

Параметрические модели Вейбулла. Поскольку интерес здесь представляет совокупная вероятность отказа (переход в деградированное состояние), параметры формы и масштаба ниже рассчитываются с помощью процедуры MLE и приведены в таблице 1 и таблице 2:

$$P_{ij}(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

Таблица 1 – Параметры Вейбулла для подсистем космических аппаратов P_{ij} (β -измеряется в относительных единицах, θ -задано в годах)

Гироскоп / Датчик / Двигатель-маховик			Топливная система/Двигатель			Антенна/Развертывание антенн		
P_{ij}	β	θ	P_{ij}	β	θ	P_{ij}	β	θ
P_{43}	0.4731	2758	P_{43}	0.3827	171879	P_{43}	0.0019 *	
P_{42}	0.3685	336231	P_{42}	0.4763	8591	P_{42}	0.2468	436409190
P_{41}	0.5635	65547	P_{41}	0.3114	29975357	P_{41}	NA	
P_{32}	1.1950	33	P_{32}	0.6052	46	P_{32}	NA	
P_{31}	0.7551	546	P_{31}	NA		P_{31}	NA	
P_{21}	0.4653	134	P_{21}	0.2632	589300	P_{21}	NA	
ЦВМ			Механизмы / Конструкции / СОТР			Полезная нагрузка / бортовые данные / компьютер / транспондер		
P_{ij}	β	θ	P_{ij}	β	θ	P_{ij}	β	θ
P_{43}	0.6585	3562	P_{43}	0.3840	4952368	P_{43}	0.4474	4065
P_{42}	NA		P_{42}	0.0060 *		P_{42}	0.4691	3170
P_{41}	NA		P_{41}	0.3572	19794952	P_{41}	0.6701	19171 ¹
P_{32}	0.5487	1056	P_{32}	NA		P_{32}	0.6647	8 ³
P_{31}	0.7231	45	P_{31}	NA		P_{31}	NA	
P_{21}	1 *		P_{21}	NA		P_{21}	0.2513	69439610 ¹

* Из-за постоянной формы непараметрической кривой подгонка Вейбулла в этих случаях не имеет смысла. Эти значения представляют собой вероятности перехода в течение 15 лет.

На рисунке 6 показаны непараметрические кривые (с 95% доверительным интервалом) для \hat{P}_{43} подсистемы гироскопа и \hat{P}_{42} топливной системы/двигателя, наложенные на соответствующие им смещение Вейбулла. Рисунок 6 дает визуальное подтверждение того, что распределения Вейбулла с параметрами MLE, приведенными в таблице 1, хорошо подходят для \hat{P}_{43} подсистемы гироскопа и \hat{P}_{42} топливной системы/двигателя. Аналогичные результаты получены и для других вероятностей перехода подсистем космического аппарата с использованием параметров Вейбулла, приведенных в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 2 – Параметры Вейбулла для подсистем космического аппарата P_{ij}
(β – измеряется в относительных единицах, Θ -задано в годах)

Аккумуляторный элемент			Распределение электроэнергии			Развертывание солнечных батарей			
P_{ij}	β	Θ	P_{ij}	β	Θ	P_{ij}	β	Θ	
P_{43}	0.385 5	99468 25	P_{43}	0.366 3	13753 674	P_{43}	0.0015 *		
P_{42}	0.413 4	357357	P_{42}	0.352 6	11893 973	P_{42}	0.0040 *		
P_{41}	0.923 9	4431	P_{41}	0.521 5	144569	P_{41}	0.0013 *		
P_{32}	NA		P_{32}	1.132 9	38	P_{32}	NA		
P_{31}	NA		P_{31}	NA			P_{31}	NA	
P_{21}	0.235 3	1936	P_{21}	0.461 8	376	P_{21}	NA		
Работа солнечной батареи			Телеметрия, слежение и управление			Неизвестные			
P_{ij}	β	Θ	P_{ij}	β	Θ	P_{ij}	β	Θ	
P_{43}	0.321 6	32370 79	P_{43}	0.366 8	205920	P_{43}	NA		
P_{42}	0.472 4	4313	P_{42}	0.524 9	19577	P_{42}	0.376 6	0.3766	
P_{41}	0.252 7	3.45E 10	P_{41}	0.309 8	29482 835	P_{41}	0.402 0	0.4020	
P_{32}	0.726 8	16	P_{32}	0.227 3	390440	P_{32}	NA		
P_{31}	0.593 5	646	P_{31}	NA			P_{31}	NA	
P_{21}	0.430 7	4501	P_{21}	0.337 4	87	P_{21}	NA		

* Развертывание солнечной батареи – это одноразовое действие, и подгонка Вейбулла в данном случае не имеет смысла. Эти значения представляют собой вероятности перехода в течение 15 лет.

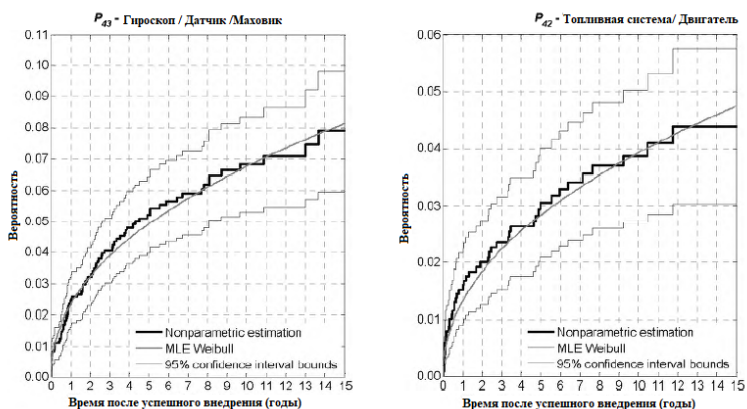


Рисунок 6 – Примеры непараметрических вероятностей перехода и смещения Вейбулла

Учитывая относительную сложность моделей подсистем, было разработано несколько тестов для проверки того, что параметрические модели были правильно выведены и что они отражают фактические данные на орбите. Вывод валидации заключается в том, что параметрические модели являются адекватными и исчерпывающими.

Обсуждение неопределенности и разброса доверительных интервалов. Для анализа надежности или множественного анализа неопределенность, возникающая в результате выбора данных (или отсутствия полного набора данных), фиксируется доверительными интервалами. Действительно, оценка Каплана-Мейера (для надежности или адаптированная для вероятностей перехода) дает максимально правдоподобную оценку, но не информирует о дисперсии вокруг этой оценки. Как следствие, необходимо построить доверительные интервалы для отображения неопределенности, связанной с наилучшей оценкой, и их анализ дает интересные наблюдения. Заметим, что разброс доверительных интервалов увеличивается со временем, как это видно, например, на рисунке 5 (вероятности перехода между состояниями для подсистемы гироскопа). В случае множественного анализа вероятность перехода между полностью работоспособным состоянием и состоянием малой аномалии, P_{43} , для гиросистемы рассеивается на интервале 1,6 процентного пункта после 1 года на орбите, в то время как она рассеивается на интервале 3,9 процентного пункта после 15 лет на орбите. Это является прямым результатом уменьшения размера выборки со временем, поскольку все больше космических аппаратов выходят из строя или удаляются из выборки. Разброс доверительных интервалов остается небольшим и показывает, что эти результаты надежности и множественных отказов являются точными.

Еще одно наблюдение о неопределенности в многопозиционном анализе можно увидеть на рисунке 5: в случае системы гироскопа разброс доверительных интервалов больше для P_{32} , P_{31} и P_{21} , чем для любых вероятностей перехода из полностью рабочего состояния S4 (P_{43} , P_{42} и P_{41}). Например, максимальное распространение доверительного интервала составляет около 11 процентных пунктов для P_{31} , в то время как максимальное распространение для P_{42} составляет около 2,5 процентных пунктов. Это является прямым следствием разницы в размере выборки для получения вероятностей перехода: для переходов из S4 выборка состоит из всех 1584 космических аппаратов в выборке, в то время как выборка для переходов из S3 и S2 сводятся к тем космическим аппаратам среди 1584 космических аппаратов, которые эффективно перешли в эти состояния после исходной выборки. В случае гироскопа 62 космических аппарата перешли в состояние малой деградации (S3), а 30-в состояние большой деградации (S2). Аналогичная тенденция наблюдается и для всех рассматриваемых в данной работе систем космических аппаратов. Влияние этой неопределенности на вероятности пребывания в деградированных состояниях уменьшается из-за малого числа космических аппаратов, которые подвергаются этим переходам. Уменьшение неопределенности (уменьшение разброса доверительных интервалов) может быть достигнуто путем сбора более точных и полных данных о деградации и отказе подсистем космических аппаратов для этих состояний с улучшенным мониторингом состояния работоспособности космических аппаратов или

проведением ускоренных испытаний жизненного цикла.

Результаты множественных и дальнейших симуляции в этой работе ограничиваются наилучшими оценками этих вероятностей. Распространение их неопределенности на конечные результаты может принести дополнительную информацию о деградации и отказе различных рассматриваемых космических систем и может стать плодотворным путем для будущих улучшений.

Сравнительный анализ надежности и многофазные отказы космических аппаратов.

Пример топливной системы и двигателя. В этой статье приведены полные результаты множественных отказов, полученные в результате моделирования, для конкретной подсистемы космического аппарата: топливной системы и двигателя. Эта подсистема была выбрана потому, что ее анализ отказов в нескольких состояниях четко определяет ключевые идеи, которые не могут быть захвачены традиционным (бинарным) анализом надежности.

Топливная система является основной причиной отказов космических аппаратов, особенно в первые годы их службы. Например, за первый год на орбите 20% всех отказов космических аппаратов происходят из-за двигателей и топливных систем. За первые 10 лет на орбите 13% всех отказов космических аппаратов происходит из-за этих же систем. На рисунке 7 слева показана кривая надежности и вероятность нахождения в состоянии 4, то есть вероятность полной работоспособности топливной системы и двигателя. Кривая надежности, или функция выжившего, представляет вероятность того, что подсистема не находится в отказавшем состоянии 1. Справа на рисунке 7 показаны различные вероятности нахождения в деградированных состояниях от состояния 1 до состояния 3.

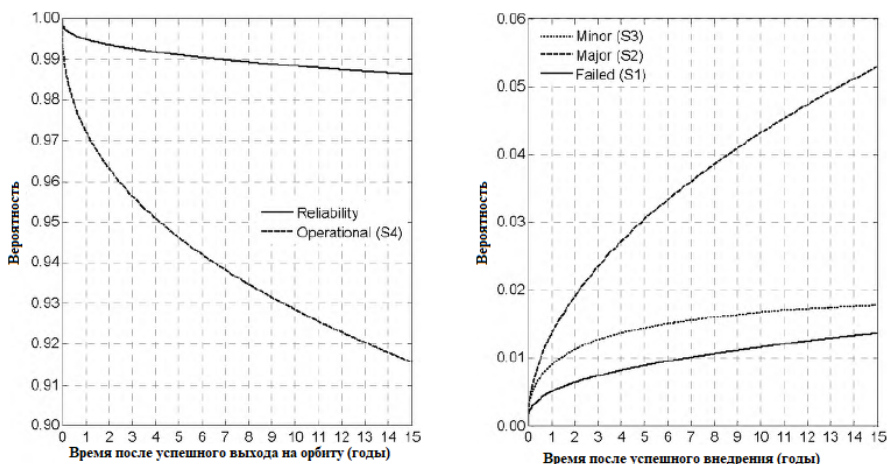


Рисунок 7 – (слева) Надежность и вероятность полной работоспособности и (справа) вероятности ухудшения состояния систем двигателя / топлива

На рисунке 7 показано важное различие, которое проводится при анализе отказов в нескольких состояниях, но которое не может быть зафиксировано тра-

диционным (бинарным) анализом надежности, а именно различие между состоянием полной работы и состоянием неполного отказа. Чтобы прояснить этот момент, рассмотрим следующее: две левые кривые на рисунке 7 разделены отчетливым и растущим разрывом, с разницей примерно в 7 процентных пунктов при $t = 15$ лет. Верхняя кривая надежности показывает, что подсистема надежна на 98,5% через 15 лет, то есть вероятность того, что подсистема будет работоспособна (не сломана) 98,5%, в то время как анализ отказов в нескольких состояниях (нижняя кривая) показывает, что подсистема будет полностью работоспособна только на 91,5% через 15 лет.

Различие между этими двумя вероятностями системы, занимающей различные состояния (полностью работоспособные и не полные состояния отказа), заключается, конечно, в частичных отказах, которые вводятся и исследуются при анализе отказов в нескольких состояниях. Вероятности занятия любого из состояний отказа в течение 15 лет показаны справа на рисунке 7 и читаются следующим образом. Например, при $t = 10$ лет существует вероятность 1,7%, что подсистема находится в состоянии малой аномалии (S3), 4,4%, что подсистема находится в состоянии большой аномалии (S2)—эти состояния и вероятности не видны традиционному анализу надежности - и 1,1%, вероятность что подсистема полностью вышла из строя (S1). Эта последняя вероятность фактически является дополнением надежности подсистемы (кривая отказа справа на рисунке 7 является дополнением кривой надежности слева на рисунке 7).

Наиболее интересной особенностью анализа множественных отказов этой подсистемы является динамика деградированных состояний и особенно вероятность нахождения в основном аномальном состоянии (S2). Вероятность нахождения в состоянии малой аномалии невелика (менее 2%), тогда как вероятность нахождения в состоянии большой аномалии значительно выше, непрерывно увеличиваясь с годами и в конечном итоге достигая примерно 5% через 15 лет. Быстрое увеличение вероятности перехода в состояние 3 (крупная аномалия) в первые годы можно назвать «тяжелой деградацией» двигателя/ топливной системы, как множественный аналог концепции младенческой смертности в традиционном анализе надежности.

Таким образом, когда двигатель/ топливная система (частично) выходит из строя, она, скорее всего, «выйдет из строя сильно», то есть с переходом в основное аномальное/деградационное состояние (S2).

Двигатель/ топливная система ранее была идентифицирована как одна из главных виновниц сбоев космических аппаратов. Настоящий анализ отказов в нескольких состояниях также показывает, что эта подсистема испытывает значительные ухудшения в своей функциональности на орбите. Это дает дополнительные указания производителям космических аппаратов и поставщикам оборудования сосредоточить свое внимание на совершенствовании двигателя/ топливной системы и, в более общем плане, на подсистемах, которые либо приводят к отказам космических аппаратов, либо имеют высокую склонность к серьезным разрушениям.

Выводы. В этой статье представлен анализ отказов подсистем космических аппаратов в нескольких состояниях. Анализ отказов в нескольких состоя-

ниях вводит «деградированные состояния» или частичные отказы и дает дополнительную информацию о поведении отказа и деградации элемента. В этой работе была создана формальная теоретическая основа для проведения анализа отказов в различных состояниях и применена для сбора информации о деградации подсистем космических аппаратов. Показано, что полученные модели адекватно отражают характеристики отказов подсистем в различных состояниях. Таким образом, результаты анализа отказов в нескольких состояниях могут быть использованы для дальнейшего детального изучения «физики аномалий и отказов» отдельных подсистем космического аппарата и направления технических усилий на выявление режимов отказов подсистем и их устранение.

Литература

1. Ветошкин А.Г. Обеспечение надежности и безопасности в техносфере: учебное пособие // Издательство «Лань». 236 стр. 2020.
2. Волков Л.И., Шишкевич А.М. Надежность летательных аппаратов // М.: Высшая школа. 1975. 296 с.
3. Кринецкий Е.И., Александровская Л.Н. Летние испытания систем управления летательными аппаратами // М.: Машиностроение. 1975. 193 с.
4. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций // М.: Наука. 1968. 464 с.

УДК [521.322+531.391.5]:[629.78::528]

Обоснование модели программного движения для систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли

Д.Ю. Виноградов, аспирант кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

В статье рассматривается вопрос об автономном управлении космическими аппаратами (КА) в составе космических систем дистанционного зондирования Земли. Описана аналитическая модель программного движения КА, близкая к реальному движению, которая позволяет разработать и реализовать технологию автономного решения задач управления положением КА в заданной окрестности программного движения. Описаны свойства класса динамически устойчивых орбит.

Космическая система дистанционного зондирования Земли, автономное управление, модель программного движения, динамически устойчивая орбита.

Justification of the program motion model for space-based Earth observation systems

D.Yu. Vinogradov, post-graduate student of information technology and management systems department,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The article deals with the issue of autonomous control of spacecraft (SC) as part of space Earth observation systems. An analytical model of the SC program motion close to the real motion is described, which allows developing and implementing a technology for autonomous control of the SC position in a given neighborhood of the program motion. Properties of a class of dynamically stable orbits are described.

Earth observation systems, autonomous control, program motion model, dynamically stable orbit.

Одним из способов обеспечения управления многочисленными группировками малых космических аппаратов (КА) является перенос решения задач навигации и управления движением из наземного комплекса управления (НКУ) в бортовой комплекс управления (БКУ) и сокращение количества операций

управления и сеансов связи и измерений. Особенно это становится актуальным при создании в перспективе космических систем (КС) наблюдения поверхности Земли, формируемых групповыми запусками и состоящих из большого числа КА, когда одновременное управление всеми КА орбитальной группировки (ОГ) КС из НКУ будет затруднено или просто невозможно из-за большого объема операций управления [3].

Основой автономного и независимого управления полетом КА любой системы является применение принципа удержания КА относительно заранее заданного номинального (программного) движения [2]. Для реализации автономного управления ОГ из N КА необходимо, чтобы были определены на некоторый момент времени t_0 :

- основные параметры орбит КА системы – большая полуось a_0 , эксцентриситет e_0 , наклонение i_0 и аргумент перигея ω_0 в восходящем узле;
- орбитальная структура системы КА (пространственное распределение КА в системе по долготе восходящего узла Ω_{j0} и средней аномалии M_{j0})
 $j: \Omega_{j0}, M_{j0}$, где $j = 1, \dots, N$;
- модель и параметры программного движения КА.

Возможные варианты формирования орбитальных структур систем КА представлены в таблицах 1 (кинематически правильная структура) и 2 (произвольная структура). В таблицах 1 и 2 введены обозначения: $N_{КА}$ – число КА в орбитальной плоскости ($N_{КА} = 4$); M_j – распределение КА по средней аномалии в первой орбитальной плоскости $j = 1, \dots, N_{КА}$; ΔM_2 и ΔM_3 – сдвиг КА по средней аномалии в смежных плоскостях; $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ – абсолютные долготы восходящих узлов трех орбитальных плоскостей соответственно.

Таблица 1 – Кинематически правильная структура системы КА

Ω_1, M_j	M_1	M_2	M_3	M_4
$\Omega_2, M_j + \Delta M_2$	$M_1 + \Delta M_2$	$M_2 + \Delta M_2$	$M_3 + \Delta M_2$	$M_4 + \Delta M_2$
$\Omega_3, M_j + \Delta M_3$	$M_1 + \Delta M_3$	$M_2 + \Delta M_3$	$M_3 + \Delta M_3$	$M_4 + \Delta M_3$

Таблица 2 – Произвольная структура системы КА

Ω_j, M_j	Ω_1, M_1	Ω_2, M_2	Ω_3, M_3	Ω_4, M_4
$\Omega_{j+N_{КА}}, M_{j+N_{КА}}$	Ω_5, M_5	Ω_6, M_6	Ω_7, M_7	Ω_8, M_8
$\Omega_{j+2N_{КА}}, M_{j+2N_{КА}}$	Ω_9, M_9	Ω_{10}, M_{10}	Ω_{11}, M_{11}	Ω_{12}, M_{12}

При проектировании КС предъявляется требование устойчивости к от-

дельным элементам орбит [5]. При этом под устойчивостью орбиты в общем случае понимается соответствие отдельных её элементов условиям выполнения целевой задачи космической системы в течение заданного интервала времени при воздействии максимального множества возмущений.

Рассмотрим выбор основных параметров орбиты КА. Системы наблюдения земной поверхности, как правило, используют устойчивые околокруговые орбиты. Период обращения выбирается исходя из условия обеспечения заданной кратности замыкания трассы или заданного суточного смещения трассы. При этом при заданных значениях большой полуоси a_0 и наклонении орбиты i_0 можно подобрать такие значения эксцентриситета e_0 и аргумента перигея ω_0 , при которых обеспечивается динамическая устойчивость параметров орбиты – значения всех четырех основных параметров в восходящем узле орбиты остаются постоянными во времени [1]. Орбиты данного класса характеризуются постоянным значением драконического периода обращения и соответственно постоянной скоростью прецессии восходящего узла орбиты. Построенная на таких орбитах орбитальная структура (ОС) космической системы сохраняет свою устойчивость неограниченное время.

Определение элементов e_0 и ω_0 осуществляется за счёт осреднения их значений в восходящем узле орбиты. Осреднение происходит на интервале полёта, равном периоду долгопериодического возмущения e_0 и ω_0 . Данный подход основан на результатах работы [16], в которой приведён аналитический алгоритм повиткового прогнозирования элементов орбиты с учётом возмущений от шести зональных гармоник модели гравитационного поля Земли (ГПЗ). Авторами работы [4] при анализе характера долгопериодических возмущений было замечено, что в восходящих узлах орбиты элементы $e_1 = e \cos \omega$ и $e_2 = e \sin \omega$ совершают гармонические колебания относительно средних величин e_1^{cp} и e_2^{cp}

$$\left. \begin{aligned} e_1^{cp} &= -\frac{A}{B+C} \\ e_2^{cp} &= \frac{D}{B-C} \end{aligned} \right\},$$

не зависящих от начальных значений e_1^0 и e_2^0 , и определяемых величинами большой полуоси a_0 , наклонения i_0 и коэффициентами зональных гармоник. Формулы для расчёта величин A, B, C, D даны в [4].

При начальных значениях $e_1^0 = e_1^{cp}$ и $e_2^0 = e_2^{cp}$ амплитуды гармонических колебаний в восходящем узле орбиты обращаются в нули. В этом случае величины e_1 и e_2 в восходящих узлах орбиты остаются постоянными в течение длительных интервалов времени. Значит, можно говорить о том, что средние величины e_1^{cp} и e_2^{cp} долгопериодических возмущений соответствуют условиям

динамической устойчивости орбиты. В связи с этим данный вывод распространяется на общий случай, когда необходимо учитывать возмущения от заданного числа зональных гармоник модели ГПЗ.

Средние значения определяются как

$$e_{1,2}^{cp} = \frac{1}{2} (e_{1,2}^{\max} + e_{1,2}^{\min}),$$

где $e_{1,2}^{\max}$ и $e_{1,2}^{\min}$ – соответственно максимальное и минимальное значения элементов орбиты на интервале полёта, равном периоду долгопериодического возмущения.

Для примера профили высот относительно общеземного эллипсоида для простой и динамически устойчивой околокруговой орбиты представлены на рисунках 1 и 2.

Из сравнения профилей видно, что динамически устойчивая орбита (ДУО) характеризуется постоянством во времени профиля высоты, что удобно для планирования целевых работ. Одновременно это обеспечивает упрощение модели программного движения.

Отметим, что постоянно действующее малое возмущение, направленное вдоль орбиты, не приводит к искажению профиля высоты динамически устойчивой околокруговой орбиты. К таким малым возмущениям можно отнести влияние силы сопротивления воздуха при движении КА в атмосфере.

На рисунках 3-8 представлена эволюция параметров ДУО, спрогнозированная в модели ГПЗ, учитывающей 32 зональных гармоники, с начальными значениями параметров:

$$a_0 = 7107,213 \text{ км}; e_0 = 0,001258; i_0 = 98,28^\circ; \Omega_0 = 0^\circ; \omega_0 = 68,78^\circ.$$

Этим же начальным параметрам соответствуют профиль высоты, изображенный на рисунке 2.

Количество орбитальных плоскостей, положение плоскостей и количество КА в каждой плоскости выбираются из условия обеспечения требуемой продолжительности зон наблюдения и допустимых перерывов в наблюдении. Скорость изменения средней аномалии M определяется большой полуосью, а скорость прецессии восходящего узла Ω – наклоном орбиты.

Выбор модели программного движения КА основывается на учете основных тенденций орбитального движения КА и исключении короткопериодических и деструктивных составляющих возмущений. Обычно в практике проектных баллистических расчетов используются модели с учетом центральной силы притяжения Земли и заданного числа зональных гармоник модели ГПЗ количество которых не менее 16, что обусловлено желанием обеспечить приемлемую близость программного движения каждого КА системы фактическому движению. С этой точки зрения, чаще всего, выбирается модель программного движения, учитывающая влияние 32-х зональных гармоник, а в качестве фактического движения рассматривается движение КА в полной модели ГПЗ степени и порядка 32.

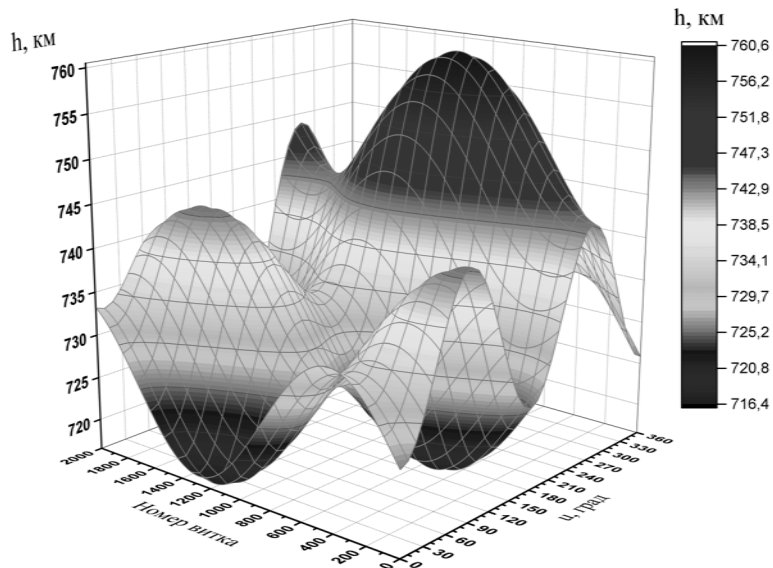


Рисунок 1 – Профиль высоты простой околокруговой орбиты

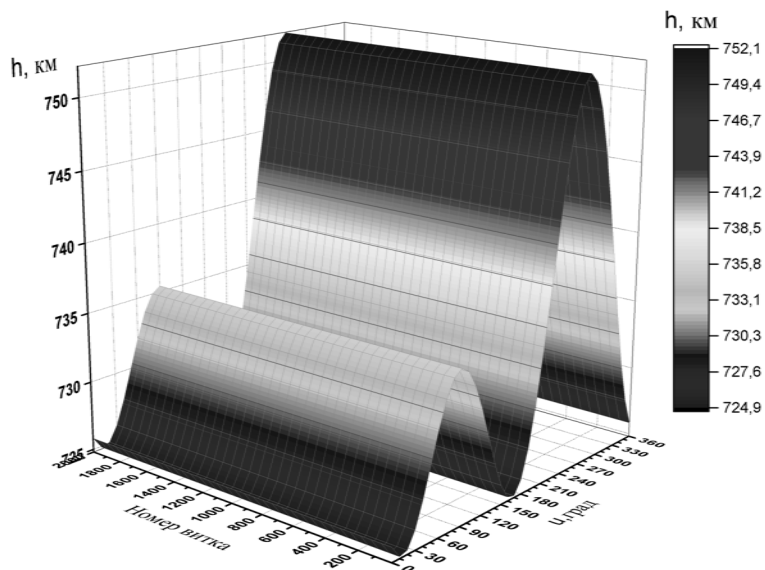


Рисунок 2 – Профиль высоты ДУО

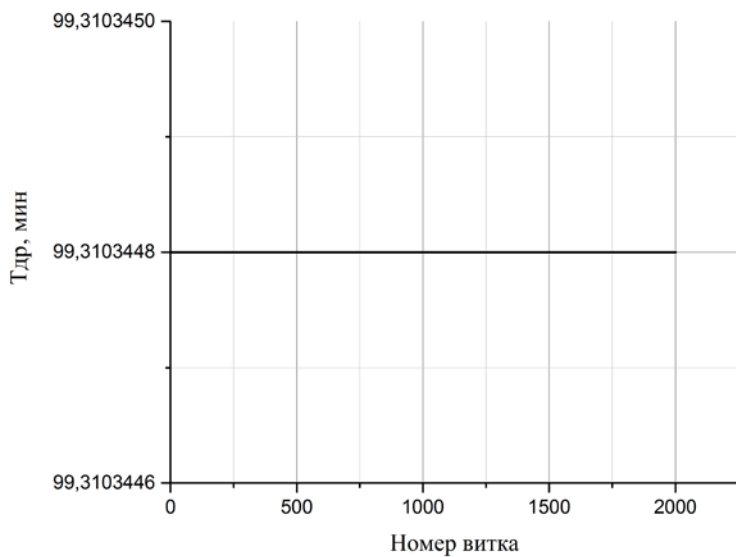


Рисунок 3 – Эволюция драконического периода ДУО

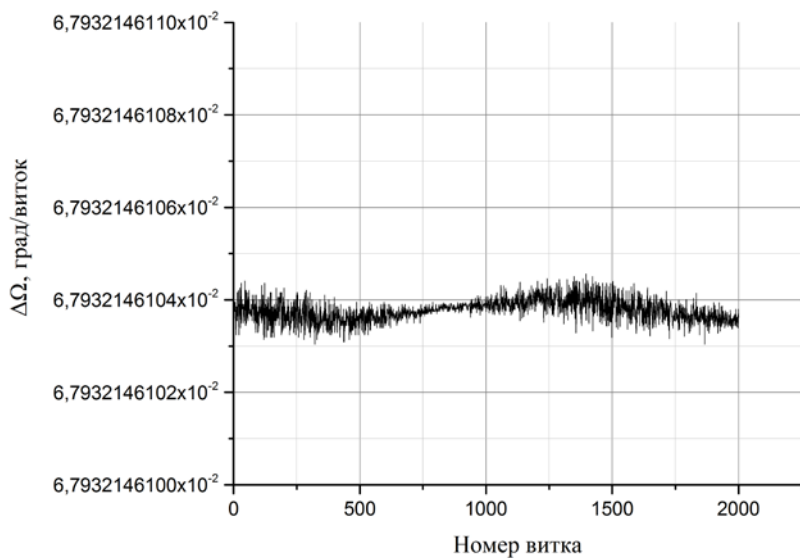


Рисунок 4 – Эволюция прецессии линии узлов ДУО

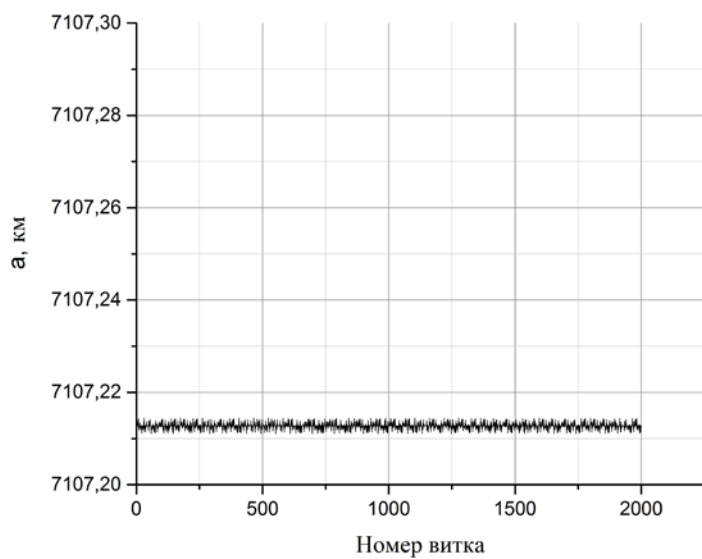


Рисунок 5 – Эволюция большой полуоси ДУО

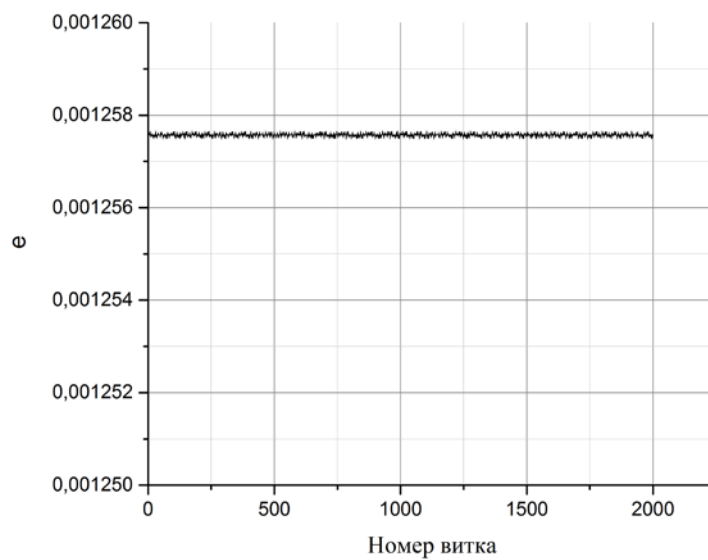


Рисунок 6 – Эволюция эксцентриситета ДУО

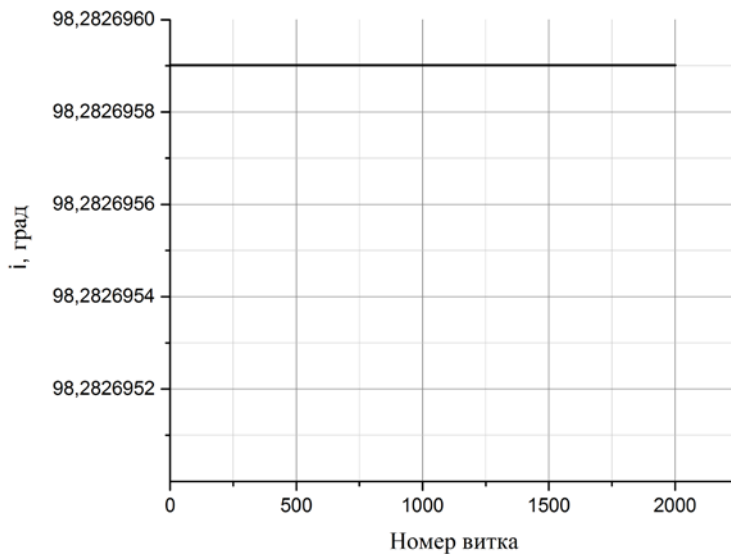


Рисунок 7 – Эволюция наклона плоскости ДУО

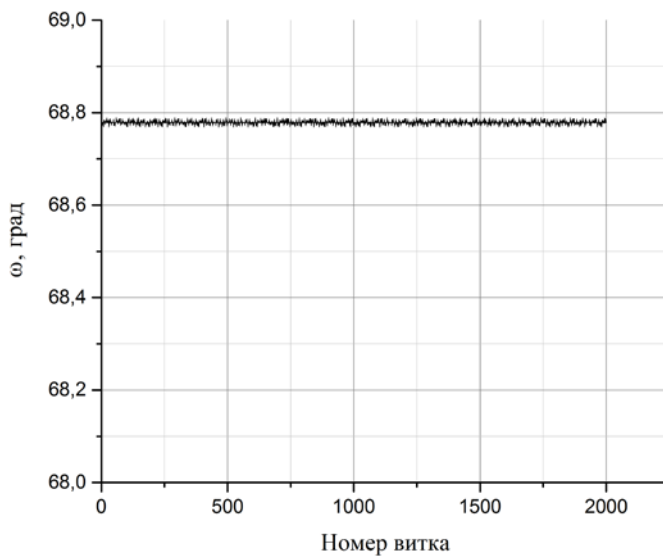


Рисунок 8– Эволюция аргумента перигея ДУО

В результате этого и с учетом выбора параметров ДУО модель программного движения может быть представлена в аналитическом виде:

$$\begin{aligned} a_j &= a_0, e_j = e_0, i_j = i_0, \omega_j = \omega_0, \\ \Omega_j &= \Omega_{j0} + \dot{\Omega}(t - t_0), \\ M_j &= M_{j0} + \dot{M}(t - t_0). \end{aligned} \quad (1)$$

Конкретные значения скорости прецессии долготы восходящего узла $\dot{\Omega}$ и средней аномалии \dot{M} (параметры модели) рассчитываются по эволюции Ω и M в выбранной модели зональных гармоник на интервале 10-30 суток и далее используются как константы в аналитической модели прогноза номинального движения, эквивалентной по точности численной модели зональных гармоник на длительных интервалах времени.

В результате сформированная таким образом аналитическая модель движения системы КА (1) обеспечивает возможность оперативного вычисления орбитальных параметров любого КА системы и параметров структуры системы КА в целом на любой заданный момент времени и является номинальной моделью программного движения КА, в окрестности которого должно находиться фактическое движение КА системы.

Таким образом, наличие модели программного движения КА, близкой к реальному движению и допускающей аналитическое прогнозирование, позволяет разработать и реализовать технологию автономного решения задач формирования (приведения) и поддержания (удержания) положения КА в заданной окрестности программного движения. Такая технология существенно упростит процесс навигационно-баллистического обеспечения (НБО) управления полетом для систем КА, поскольку формирование и поддержание ОС системы осуществляется путем проведения независимых коррекций орбит каждого КА.

Технология формирования и поддержания ОС системы КА относительно модели программного движения может быть использована как в НКУ (в баллистических центрах и центрах управления полетом), так и на борту КА при автономном режиме функционирования с учетом данных аппаратуры спутниковой навигации.

Стоит отметить, что благодаря названной технологии ряд задач НБО может быть перенесен из НКУ в бортовой комплекс управления КА, что позволит снизить нагрузку на НКУ, повысить автономность решения задач управления движением КА и решить задачу управления большими группировками КА. За НКУ останутся лишь функции контроля БКУ и планирования целевого применения КА.

Литература

1. Артюшенко В.М., Виноградов Д.Ю. Анализ геометрически устойчивых орбит космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Информационно-технологический Вестник. 2018. № 1(15). С. 12-22.
2. Давыдов Е.А., Кисленко К.В., Суевалов В.В. Методы автономного поддержания параметров баллистической структуры перспективных систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Материалы

Научно-практической конференции с международным участием «Космонавтика XXI века». ЦНИИМАШ. 2016.

3. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года // М.: Российское космическое агентство. 2006. 72 с.
4. Кугаенко Б.В., Эльясберг П.Е. Эволюция почти круговых орбит ИСЗ под влиянием зональных гармоник // Космические исследования. 1968. Т. VI. С. 186-202.
5. Назаренко А.И., Скребушевский Б.С. Эволюция и устойчивость спутниковых систем // М.: Машиностроение. 1981. 284 с.

УДК 629.043

Технология непрерывного контроля психофизиологического состояния летного экипажа для прогнозирования нерегламентированных действий пилотов гражданской авиации

К.А. Иванова, специалист,
Д.Н. Левин, кандидат технических наук, доцент,
М.В. Шкурин, ст. преподаватель,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», (МАИ), г. Москва

В статье описывается разработка технологии непрерывного контроля психофизиологического состояния летного экипажа гражданской авиации как инструмента, направленного на прогнозирование нерегламентированных действий пилотов, выявление их резервных психофизиологических возможностей в известной или прогнозируемой особой ситуации при выполнении полётного задания.

Рассматривается значение внедрения психофизиологического и психолингвистического тестирования в организационную структуру кадрового обеспечения авиационного предприятия с целью оптимизации и автоматизации существующего комплекса по подготовке, обучению и переобучению пилотов гражданской авиации для обеспечения безопасности полетов.

Психолингвистические характеристики, психофизиологические показатели, летный экипаж.

The continuing control process technology of the flight crew's psychophysiological state for forecasting and predicting the unregulated actions of commercial pilots

K.A. Ivanova, specialist,
D.N. Levin, candidate of technical sciences, assistant professor,
M.V. Shkurin, senior lecturer,
Moscow Aviation Institute (National Research University), MAI, Moscow

The paper deals with the development, structure and implementation of continuing control process technology of the flight crew's psychophysiological state of the civil aviation as a tool aimed at forecasting and for predicting the unregulated actions of the pilots, revealing their reserve psychophysiological capabilities in known or predicted inflight abnormal circumstances during a flight mission.

The creation and implementation of continuing control process technology (CCPT) means the introduction a system of the programs' psychophysiological and psycholinguistic tests in the organizational structure of the aviation enterprise per-

sonnel support and the forecast base for flight safety to optimize and automate the existing complex for training, education and retraining of the commercial pilots to ensure flight safety.

Psycholinguistic characteristics, psychophysiological indicators, flight crew.

Введение

Реализация научно-обоснованного системного подхода по изучению вопросов подготовки и обучению летного экипажа процедурам работы в особых ситуациях в рамках управления безопасностью полетов является одним из ключевых направлений работы в современной авиационной отрасли. Последние события показали, что авиационная отрасль не готова к таким явлениям как пандемия. Последствия вынужденного длительного пребывания на земле основной части воздушного флота авиакомпаний мира сказываются на работе летных экипажей как в стандартных полетных условиях, так и при возникновении особых ситуаций. Одним из примеров может служить авиакатастрофа А320 под Карачи авиакомпании PIA 22.05.2020 г.

Любая особая ситуация в полете требует не только четкого выполнения процедур, установленных специальной литературой, но и понимания того, что любое решение, принятое экипажем на любом этапе выполнения полетного задания, должно быть осознанным и адекватным, с прогнозированием последующих действий [16, С.858–864], [25].

Теоретические и практические исследования, включающих в себя такие методы исследования как многофакторный анализ, методы математического и системного анализа, теории вероятностей и математической статистики, теория принятия решений в условиях неопределенности [2, 6, 10, 11, 1, 14, 3, 9, С.324–352, 20, 24, 22, 23, 15, 21, 18, 7, 8, 13], проводимые по направлению подготовки, обучения и переобучения летного экипажа, не приносят достаточного результата в вопросе уменьшения доли человеческого фактора при отказах сложных технических систем [2, 21, 17].

Разработчики новых систем, конструкций, рекомендаций или процедур, соответствующих потребностям авиационной отрасли, имеют, как правило, неполную информацию о работе летного экипажа. В результате этого при обучении, подготовке и переподготовке летного экипажа могут возникать ситуации, отличительной чертой которых являются:

- дефицит знаний, отсутствие возможности определения порядка процедуры и ее выполнения;
- отсутствие возможности определения рисков и их последствий при выполнении новых процедур;
- отсутствие возможности спрогнозировать последствия выполненных ранее процедур по предупреждению аварийных ситуаций.

Это приводит либо к ошибочным действиям летных экипажей, либо к осознанным или неосознанным нарушениям требований безопасности полетов, результатом которых могут быть аварийные и катастрофические последствия.

Постановка задачи

Причины, влияющие на возникновение ситуаций, в которых допускаются ошибки и действия ЛЭ, приводящие к аварийным последствиям, можно разделить на три категории:

1) недостаточное количество и качество методик оценки формирования профессиональных качеств летного экипажа в области авиационных происшествий по вине человеческого фактора;

2) отсутствие единой и непрерывной системы мониторинга и непрерывного контроля психофизиологических состояний членов ЛЭ в зависимости от фактора риска безопасности полетов;

3) недостаточное внимание оценке уровня специалистов, осуществляющих надзор за безопасностью полетов, в части психофизиологического состояния ЛЭ при выполнении полетного задания в известной или прогнозируемой особой ситуации.

Таким образом, несмотря на сложившуюся систему профессионального отбора летных экипажей и постоянное совершенствование технологий по обеспечению безопасности полетов, очевидна необходимость в постоянном мониторинге психофизиологического состояния пилотов и эргономическом совершенствовании рабочих мест ЛЭ [6, 10, 12, 4]. В современных условиях мониторинг можно осуществить с помощью:

- разработки и усовершенствования методик оценки профессиональных качеств ЛЭ;

- создания единой и непрерывной системы мониторинга психофизиологических состояний пилотов на базе АП;

- формирования объективной и достоверной системы оценки специалистов, отвечающих за обучение, подготовку и переподготовку ЛЭ.

Таким образом, повышение эффективности управления безопасностью полетов необходимо осуществлять посредством анализа психофизиологического состояния пилотов в рамках обучения и подготовки для прогнозирования их действий в критических ситуациях.

Методы решения

Для повышения эффективности системы управления безопасностью полетов целесообразна разработка комплекса технологий непрерывного контроля психофизиологического состояния экипажа на базе авиационного предприятия. Это позволит осуществлять прогноз нерегламентированных действий пилотов в особой ситуации.

В процессе разработки используются нормативно-законодательная база и актуальные процедуры кадрового отбора и обеспечения авиапредприятий; методологические подходы формирования профессиональных качеств ЛЭ и специалистов, отвечающих за их обучение, подготовку и переподготовку с учетом риска авиационных происшествий по вине человеческого фактора.

Методы анкетирования, сравнительного анализа и методы планирования [14, 3, 5] позволяют проанализировать существующие и обосновать разработку новых механизмов контроля психофизиологического состояния летного экипажа в зависимости от факторов риска и критериев эффективности безопасности по-

летов.

Анализ факторов, влияющих на эффективность системы контроля кадрового обеспечения [19] необходимо проводить с помощью методов системного анализа, линейного программирования, теории вероятностей и математической статистики.

Разработка математических моделей для построения эффективной системы использования технических средств обучения (ТСО) и подготовки ЛЭ проводится в рамках известных или прогнозируемых ситуаций с учетом психофизиологических особенностей каждого пилота, а также в зависимости от рационального размещения ТСО в авиационных учебных центрах.

Применение указанных методов предоставляет возможности для создания комплекса технологий, позволяющих решать задачи с помощью реализации научно обоснованного системного подхода при подготовке и обучении ЛЭ процедурам работы в прогнозируемых ситуациях.

Описание результатов

Решение вопросов выявления нерегламентированных действий ЛЭ в период обучения, подготовки и переобучения возможно только при осуществлении полноценных исследований кадровой политики авиационной отрасли в целом. Это позволит создать комплекс мер для непрерывного контроля психофизиологических состояний пилотов на базе отдельного АП.

Технология непрерывного контроля является основным компонентом создаваемого комплекса программ в рамках организации обучения летного персонала при введении в эксплуатацию самолетов нового поколения отечественного и зарубежного производства. Под реализацией технологии понимается внедрение системы программ психофизиологического и психолингвистического тестирования в организационную структуру кадрового обеспечения авиационного предприятия и прогнозной базы по обеспечению безопасности полетов. В основе технологии лежит совокупность данных психофизиологических показателей и психолингвистических единиц исследуемых летных экипажей с определенным множеством характеристик и сгруппированных по их функциональному назначению в иерархические модули. Цель введения технологии – оптимизация и автоматизация существующих мер по обеспечению безопасности полетов.

Анализ действующих систем обучения и переподготовки показывает, что основные вопросы совершенствования подготовки ЛЭ в основном связаны с проблемами методологического, организационного и нормативного характера. Для повышения эффективности системы актуальна разработка и внедрение технологии непрерывного контроля психофизиологического состояния ЛЭ, основанная на данных, полученных в ходе психофизиологического и психолингвистического тестирования (ПСФТ и ПСЛТ). Такая технология включает в себя три основных компонента, оказывающих наибольшее влияние на результаты всего процесса профессиональной подготовки ЛС:

- 1) Исходная информация по структуре и составу ВС в реестрах АП;
- 2) Экономические параметры процессов подготовки, обучения и переподготовки ЛЭ;
- 3) Материально-технические параметры процессов подготовки, обуче-

ния и переобучения ЛЭ.

Структурно технологию непрерывного контроля психофизиологического состояния ЛЭ и прогнозирования их действий (регламентированных или нерегламентированных) при выполнении полетного задания можно разделить на пять блоков (рис.1):

Блок 1 – ПСФТ ЛЭ.

Блок 2 – ПСЛТ ЛЭ.

Блок 3 – база данных ВС АП;

Блок 4 – экономические и материально-технические параметры обучения ЛЭ;

Блок 5 – формирование универсального параметра оценки возможного нерегламентированного действия ЛЭ в особой ситуации.

Основная часть теоретических исследований и практических методов, представленная в научной литературе, ориентирована на исследование оценки итоговых результатов подготовки ЛЭ и не учитывает психофизиологические и психолингвистические факторы.

С помощью детерминированных или стохастических потоковых моделей описывается переход системы подготовки и переобучения ЛЭ из одного состояния в другое в зависимости от времени и уровня подготовленности. В частности, детерминированные модели – этапы обучения, стохастические модели – оценка уровня подготовки определенного пилота на каждом этапе подготовки с учётом индивидуальных характеристик, включающих в себя психофизиологические показатели (ПСФП) и психолингвистические единицы (ПСЛЕ).

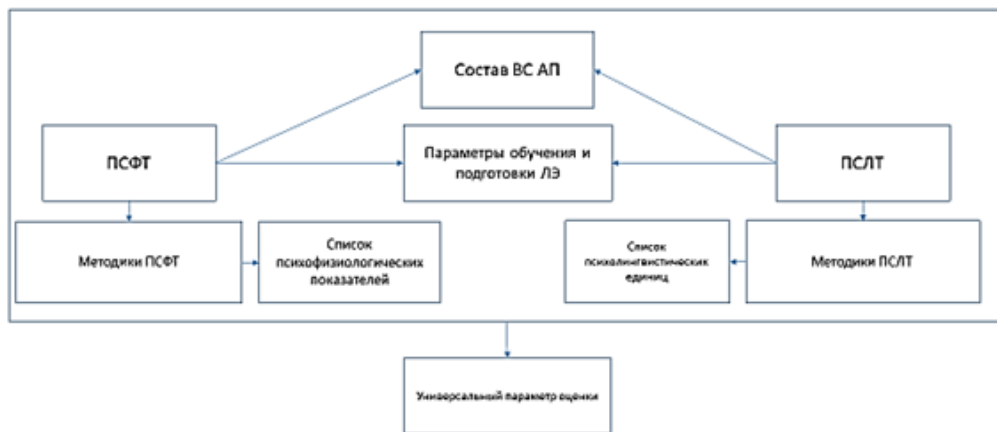


Рисунок 1 – Структура технологии непрерывного контроля психофизиологического состояния летных экипажей

Оценка возможности проявления нерегламентированных действий ЛЭ и их последствий основана на анализе показателей ПСФТ и ПСЛТ в системе подготовки и переобучения членов ЛЭ. Базовые расчеты осуществляются на основе показателей и критериев для принимаемых решений. Совокупность выбранных показателей позволяет создавать иерархию модулей на основе пограничных со-

стояний или контура множеств показателей, а также проследить и описать информационные потоки между модулями.

Создание системы иерархии критериев, характерных для каждого пилота и показателей, выявленных в ходе непрерывного контроля психофизиологического состояния ЛЭ на каждом из этапов, зависит от следующих факторов:

- требования эксплуатации воздушных судов разных поколений;
- категории и допуски пилотов;
- требования обеспечения безопасности полетов и т.д.

Информация о ВС в реестрах АП является одним из ключевых элементов технологии. Установление стандартов и правил в сфере эксплуатации ВС нового поколения напрямую связано с контролем соблюдения норм правового регулирования и управления безопасностью полетов. Для соответствия стандартам и рекомендациям ИКАО необходимо осуществлять качественную оценку всей системы подготовки ЛЭ на каждом этапе с учетом ПСФТ и ПСЛТ для непрерывного контроля психофизиологического состояния и возможности прогнозирования действий пилотов при введении в эксплуатацию ВС нового поколения. Современные ВС имеют высокий уровень автоматизированного управления, что в свою очередь вносит ряд изменений в подготовку и обучение ЛЭ – подбор необходимых модулей обучения с учетом уровня подготовки пилота.

Системный подход, учитывающий показатели ПСФТ и ПСЛТ, в процессе обучения и подготовки ЛЭ предполагает не только структурирование профессиональных компетенций ЛЭ, но также разработку и реализацию процедур и моделей непрерывного контроля психофизиологического состояния пилотов как одного из направлений совершенствования системы профессиональной подготовки и обучения.

Экономические и материально-технические аспекты подготовки и переобучения ЛЭ являются частью стратегического фактора развития АП, и включают в себя такие элементы как взаимосвязь между целями и задачами компании с интересами каждого сотрудника.

Теоретическое обоснование технологии непрерывного контроля психофизиологического состояния пилотов заключается в следующем:

- иерархия программ подготовки и переподготовки ЛЭ определяется с учетом особенностей эксплуатации ВС нового поколения и результатов ПСФТ и ПСЛТ на каждом этапе обучения для каждого пилота;

- определяются информационные потоки в данной иерархии (математические основы формирования матриц логической связанности и очередности программ);

- выявляется универсальный параметр оценки возможных действий ЛЭ в известной или прогнозируемой ситуации;

- система промежуточного тестового контроля позволяет учитывать размерность пространства формируемых предыдущих отчетов и программ и систем контроля.

Универсальный параметр оценки возможных действий ЛЭ в известной или прогнозируемой ситуации может быть исследован с помощью метода Дельфи:

$$x_j^i = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{(i-1)}$$

где x_j^i – универсальный параметр оценки возможных действий i -го ЛЭ; m – число пилотов в авиационном предприятии; j – идентификационный номер пилота; i – номер проведенного исследования (экспертиза); x_{ij} – результаты параметра оценки возможных действий j -го пилота в составе i -го ЛЭ в ходе проведения i -номера исследования (экспертизы). Начальный параметр оценки возможных действий для всех исследований принимается равным

$$k_j^0 = \frac{1}{m}$$

Информационные потоки представляют собой структуры, данные которых необходимо классифицировать в соответствии с определенными качественными и количественными характеристиками, так называемыми «идеальными показателями». Под информационным потоком между блоками понимается поток сообщений, имеющий устную или письменную (бумажные и электронные носители) форму речи, аудио записи, технические средства записи и передачи сообщений, измеряющийся в единице информации (е.и., одно сообщение равно одной е.и.). Универсальный параметр оценки возможного нерегламентированного действия устанавливается в ходе анализа и учета всех данных ПСФТ и ПСЛТ, непосредственно или косвенно связанных с известной или прогнозируемой ситуацией на каждом из этапов обучения и подготовки пилота. Искомый параметр должен содержать:

- информацию обо всех принятых решениях во всех подобных известных ситуациях, имеющих место как на авиационных тренажерах, так и во время реального полета;
- информацию о состоянии ВС;
- информацию обо всех этапах обучения и подготовки ЛЭ с учетом всех изменений в ходе их проведения.

Для определения эффективности использования информационного потока применяется интегральная оценка. Возможности применения ТНК психофизиологического состояния ЛЭ на основе системы иерархии модулей и информационных потоков имеют функциональную зависимость конечного параметра от критериев, влияющих на ее значение. При построении ТНК психофизиологического состояния пилота учитываются информационные потоки, влияющие на значения универсального параметра итоговой оценки вероятности действий ЛЭ. Формирование универсального параметра оценки возможного нерегламентированного действия ЛЭ является не итоговым, а «динамическим» показателем и «условно постоянным», т.к. характеристики носителей информационных потоков (новое оборудование, новые слова в профессиональной лексике, новый тип ВС, и т.д.) подвержены изменениям. На рисунке 2 представлена схема формирования универсального параметра оценки возможного нерегламентированного действия ЛЭ в особой ситуации.

С целью исключения [18] потенциальной ошибки и уменьшения трудо-

емкости анализа структуры и выведения универсального параметра оценки возможного нерегламентированного действия ЛЭ будем использовать свойства матрицы отношений очередности $P = (p_{ij})$ и логической связности периодов (модулей) обучения и переобучения $L = (l_{ij})$.

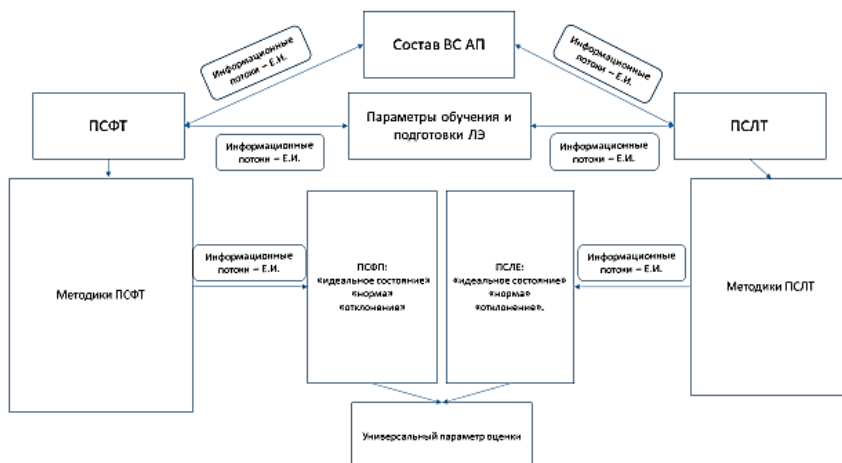


Рисунок 2 – Схема распределения информационных потоков и формирование универсального параметра оценки

Исходя из того, что в целом технология непрерывного контроля психофизиологического состояния пилота позволяет совершенствовать структуру и иерархию не только системы профессиональных компетенций ЛЭ, но и сам процесс обучения и переподготовки, любое контрольное тестирование должно проводиться в качестве «динамического контроля», а не статических и итоговых показателей. Вся система обучения и подготовки непрерывна и циклична, даже в случае прекращения профессиональной деятельности, крайнее тестирование или результаты ПСПТ и ПСПТ должны носить характер «динамических исследований» и являться элементами общей системы непрерывного контроля. Элемент матрицы структурной связности $S = (s_{ij})$ равен произведению соответствующих элементов матриц $P = (p_{ij})$ и $L = (l_{ij})$:

$$s_{ij} = p_{ij}l_{ij} (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n})$$

где n = количество периодов (модулей) обучения и переобучения ЛЭ

Выводы

Технология непрерывного контроля психофизиологического состояния пилотов гражданской авиации, предназначенная для своевременного выявления возможных нерегламентированных действий летного экипажа в известной или прогнозируемой ситуации, является эффективным инструментом по совершенствованию структуры кадрового обеспечения авиационного предприятия и прогнозной базы в области управления безопасностью полета.

Создание и реализация технологии непрерывного контроля психофизиологического состояния летного экипажа позволяет:

- осуществлять контроль психофизиологического состояния ЛЭ в процессе отработки особой ситуации и соотнести полученные показатели с произошедшими аварийными происшествиями для дальнейшего сравнения и анализа, а также для совершенствования методики подготовки;
- выявлять резервные психофизиологические возможности пилотов в известной или прогнозируемой ситуации при выполнении полетного задания;
- определить универсальный параметр оценки возможного нерегламентированного действия летного экипажа с учетом психофизиологических показателей и психолингвистических единиц;
- формировать совокупность данных психофизиологических и психолингвистических показателей;
- провести коррекцию индивидуального психофизиологического поведения пилота и его функционального состояния в особых ситуациях;
- совершенствовать существующие методы оценки профессиональных качеств летного экипажа;
- выявить резервные психофизиологические возможности пилотов гражданской авиации;
- сформировать список психолингвистических единиц и психофизиологических показателей, характерных для каждого пилота;
- разрабатывать структуру процессов для выявления неблагоприятных психофизиологических состояний пилотов при обучении и переподготовке.

Практические решения по технологии непрерывного контроля психофизиологического состояния ЛЭ как части структуры кадрового обеспечения АП и комплекса прогнозной базы по обеспечению безопасности полетов в рамках прогностического подхода к деятельности ЛЭ являются частью процесса автоматизации и оптимизации методов по отбору пилотов на этапе формирования ЛЭ и на этапе расчета оптимальных действий для конкретного пилота.

Литература

1. Baumeister A.A., Kellas G. Reaction time and mental retardation. In N.R. Ellis (Ed.), International review of research in mental retardation. Vol. 3. New York: Academic Press. 1968.
2. Bor R., Eriksen C., Oakes, M. & Scragg, P (Eds.) (2017). Pilots mental health assessment and support: A practitioner's guide. Oxon: Routledge.
3. Chernorizov A.M., Isaychev S.A., Zinchenko Yu. P., Znamenskaya I.A., Zakharov P.N., Khakhalin A.V., Gradoboeva O.N., Galatenko V.V. Psychophysiological methods for the diagnostics of human functional states: New approaches and perspectives. Psychology in Russia: State of the Art 9(4):23-36. January 2016.
4. Donald Harris. Engineering Psychology and cognitive ergonomics. Coventry University. Publisher: Springer. July 2019.
5. Dr. Salim A. Saleh. Analysis of computer aided process-planning techniques. Tikrit Journal of English Sciences. Vol. 16. No. 1, March 2009. pp. 74-92.

6. Freed A.M. Human interactions in man-machine systems. Human Factors. The Journal of the Factors and Ergonomics Society. January. 1963.
7. Jirgl Miroslav, Boril Jan, Jalovecky Rudolf «The identification possibilities of the measured parameters of an aircraft model and pilot behavior model on the flight simulator», Conference: 2015 International Conference on Military Technologies (ICMT). 2015. May.
8. Kacer Jiri, «Modelling of the pilot behavior», Conference: 2017 International Conference on Military Technologies (ICMT). 2017. May.
9. Lee W. (Col) Gregg. Engineering psychology. In. B. von Haller Gilmer, McGraw-Hill series in psychology. Industrial psychology. pp. 324-352.
10. Levin D.N., Grif M.G. Formalization of ergonomic indicators during research data-control field of the aircraft cockpit. Modern Safety Technologies in Transportation (MOSATT) Modern Safety Technologies in Transportation (MOSATT). 2019. 94-97 Nov. 2019.
11. Ligjing Wang, Yanlong Wang, Yingchun Chen, Xing Pan. Methodology for assessing dependencies between factors influencing airline pilot performance reliability: A case of taxiing tasks. Journal of Air Transport Management. October 2020. Vol. 89.
12. Luis Miguel Munoz, Ergonomics in the Industry 4.0: Virtual and Augmented Reality. Journal of Ergonomics 08(05). January. 2018.
13. M. van der Vlugt, P.A. Wieringa, «Training aircrews to recover from human error: a proposal for a training outline», 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No.04CH37583). 10-13 Oct. 2004. The Hague. Netherlands.
14. Polin Lai, Andrew Potter, Malcolm James Beynon. The development of benchmarking techniques in airport performance evaluation research. Transportation Journal. 51(3). pp. 305-337.
15. Randall J. Mumaw. Analysis of alerting system failures in commercial aviation accidents. Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting. September 28. 2017.
16. W. Zhu, C. Liu, Y. Liu. Scenario model for emergency decision-making. Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University. 09, 2018. pp. 858-864.
17. Yuan Cao, Zhibo Yuan, Wentao Wu, The Preliminary application of Observer XT in the Study of Crew Error, Conference: 2019 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS). July 2019.
18. Айдаркин Д.В. Разработка и применение автоматизированных систем для профессиональной подготовки летного состава гражданской авиации: монография // Ульяновск: УВАУ ГА (И). 2014. 111 С.
19. Коваленко О.В., Коваленко А.Е. Совершенствование управления материально-техническим обеспечением предприятия // Международный научный журнал «Интернаука», Серия: «Экономические науки». 2019. № 11.
20. Колетвинов Д.С., Мельникова А.А., Борзилов К.В. Обзор научных методов сбора и обработки // Молодой ученый. 2020. № 3 (293). С. 157-159.
21. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д. Акустические характеристики речевого сигнала как показатель функционального состояния человека. УСПЕХИ ФИЗИО-

ЛОГИЧЕСКИХ НАУК // Издательство: Российская академия наук (Моск-ва).
Том 45. № 1, 2014. С. 57-95.

22. Макарова В.В. Особенности профессионального психологического отбора летного состава гражданской авиации. ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ ПСИХОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА. Сборник научных статей // Под редакцией А.В. Кокурина, В.И. Екимовой, Е.А. Орловой // Москва. 2017. Издательство: ООО «РУСАЙНС».
23. Пономаренко В.А. Наука о человеке в авиации XXI столетия. АВИАКОСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА // Издательство: Институт медико-биологических проблем РАН (Москва). Том 40. № 6. 2006 г. С. 54-59.
24. Смоляров А.М. Системы отображения информации и инженерная психология. Учеб. Пособие // Москва: Высш. Школа. 1982. 272 с. ил.
25. Справочник по инженерной психологии. Под ред. Б.Ф. Ломова // Москва Машиностроение. 1982. 368 с. ил.

УДК 629.78; 629.7.08

Особенности учёта системы ограничений по использованию ресурсов при распределении средств управления космическими аппаратами

Б.А. Кучеров, кандидат технических наук, преподаватель,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Проведен анализ особенностей учёта системы ограничений по использованию средств управления космическими аппаратами (КА) при их распределении. Показано влияние различных видов ограничений на возможность включения в план распределения средств поступивших заявок на использование средств управления КА без изменения их характеристик. Представлена математическая постановка задачи учета ограничений по использованию отдельных средств управления при РСУ КА. Приведена классификация конфликтных ситуаций, вызванных ограничениями по использованию средств управления КА.

Сеанс связи, орган планирования, средства управления, ограничения.

The features of taking into account system of restrictions on using resources during ground stations scheduling

B.A. Kucherov, candidate of engineering sciences, teacher,
State Budgetary Educational Institution of Higher Education
of the Moscow Region
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The features of taking into account system of restrictions on using ground stations during their scheduling are analyzed. The influence of various types of restrictions on possibilities of including received requests on using ground stations into schedule are shown. The mathematical formulation of taking into account restrictions on using separate ground stations during their scheduling is presented. The classification of conflict situations caused by restrictions on using ground stations is given.

Communication session, planning department, ground stations, restrictions.

В настоящее время к управлению группировками космических аппаратов (КА), являющемуся сложным организационно-техническим процессом, предъявляются новые требования, обусловленные такими факторами, как наращивание орбитальных группировок КА различного назначения, расширение спектра решаемых ими задач, возрастание требований со стороны потребителей целевой

информации таких группировок, развитие наземной космической инфраструктуры. Для соответствия новым требованиям необходимо решение целого ряда различных задач, в частности задач распределения различных ресурсов [1-5]. К числу таких задач относится распределение средств управления (PCY) КА, предназначенных для передачи командно-программной информации, приёма телеметрической информации и решения ряда других задач [4-8]. При решении задачи PCY КА необходимо учитывать целую систему ограничений по использованию средств управления КА (см. рис. 1 [5, 9]), которая включает в себя ограничения, накладываемые как на одновременное использование различных средств управления, так и на использование отдельных средств. Кроме того, ограничения могут быть обусловлены характеристиками центров управления полетами (ЦУП) КА, отражающих их возможности по проведению сеансов связи [5, 9].

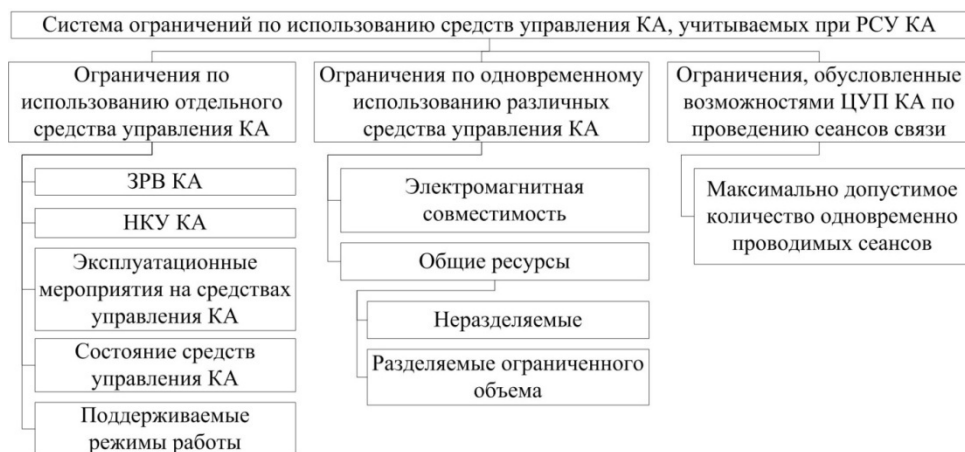


Рисунок 1 – Система ограничений по использованию средств управления КА, учитываемых при PCY КА

Для дальнейшего использования при анализе задачи учета системы ограничений при PCY КА представим заявки на использование средств управления КА в следующем виде [10]:

$$REQ = \{req_k\} : req_k = \{sat_i, gs_j, t_k^{begin}, t_k^{end}, t_k^{prep}, WM_k, p_k\}, \quad (1)$$

$$k = \overline{1, req_num}, i \in [1, sat_num], j \in [1, gs_num]$$

где sat_i – КА, для обеспечения управления которым запрашивается использование средства управления gs_j ; gs_j – средство управления, запрашиваемое для проведения сеанса связи с КА sat_i ; t_k^{begin} и t_k^{end} – соответственно запрашиваемые времена начала и окончания использования средства gs_j ; t_k^{prep} – запрашиваемое время подготовки к использованию средства управления gs_j , во время которого распределяемое средство считается также занятым; WM_k – множество запрашиваемых режимов работы средства управления gs_j ; p_k – приоритет запроса на

использование средства управления; req_num – количество заявок (потребностей в ресурсах); sat_num – количество КА в составе группировки; gs_num – количество средств управления КА в составе НАКУ КА [10].

План распределения средств (ПРС) средств управления КА представим в следующем виде:

$$SHD = \{req_conf_k\} : req_conf_k = \begin{cases} 2 & \text{если } req_k \text{ включен в ПРС} \\ & \text{без изменения своих характеристик;} \\ 1 & \text{если } req_k \text{ включен в ПРС} \\ & \text{с изменением своих характеристик;} \\ 0 & \text{если } req_k \text{ не включен в ПРС.} \end{cases} \quad (2)$$

Под изменением характеристик заявки будем понимать изменение одного или нескольких её параметров, за исключением КА (sat_i) и её приоритета (p_k):

– перенос запрашиваемого сеанса связи на другое средство управления:

$$gs_{req_k} \rightarrow gs'_{req_k} \quad (3)$$

– изменение времени проведения запрашиваемого сеанса связи:

$$\{t_k^{begin}, t_k^{end}\} \rightarrow \{t_k'^{begin}, t_k'^{end}\} \quad (4)$$

– изменение времени подготовки к проведению запрашиваемого сеанса связи:

$$t_k^{prep} \rightarrow t_k'^{prep} \quad (5)$$

– изменение перечня запрашиваемых режимов работы средства управления:

$$WM_k \rightarrow WM'_k \quad (6)$$

Заметим, что изменение характеристик заявок должно осуществляться также с учётом ограничений на использование средств управления КА.

Одним из этапов разработки ПРС является выявление конфликтных ситуаций (КС) при планировании распределения средств, вызванных противоречиями между заявками на использование средств управления КА и ограничениями по использованию таких средств:

$$CNF = F(REQ, RESTR) \quad (7)$$

где CNF – множество конфликтных ситуаций; $RESTR$ – множество ограничений по использованию средств управления КА.

Конфликтные ситуации могут быть вызваны как противоречием между заявкой на использование средства управления и ограничением на его использования, так и противоречием между двумя заявками, обусловленным ограничениями по использованию средств управления:

$$CNF = \{CNF_{restr}, CNF_{req}\}; CNF_{restr} = \{req_k, restr_q\}; CNF_{req} = \{req_{k_1}, req_{k_2}, restr_q\} \quad (8)$$

$$k = [1, req_num], k_1 = [1, req_num], k_2 = [1, req_num], q \in [1, restr_num]$$

где CNF_{restr} – множество конфликтных ситуаций, каждая из которых обусловлена противоречием между заявкой на использование средства управления и ограничениями на его использования (например, КС из-за запроса на использование

неработоспособного средства управления); CNF_{req} – множество конфликтных ситуаций, каждая из которых вызвана противоречием между двумя заявками, обусловленным ограничениями по использованию средств управления КА (например, КС между двумя заявками на использование одного и того же средства управления в один и тот же временной интервал для обеспечения управления разными КА); $restr_num$ – количество ограничений на использование средств управления КА.

Конфликтные ситуации, относящиеся к множеству CNF_{restr} , будем называть конфликтными ситуациями 1-ого вида, а КС, относящиеся к множеству CNF_{req} , – КС 2-ого вида. Стоит отметить, что одна заявка на использование средств управления КА может участвовать в нескольких конфликтных ситуациях как одного, так и разных видов.

В случае, если заявка участвует в КС 1-ого вида, то она не может быть включена в план без изменения её характеристик:

$$req_k \in CNF_{restr} \Rightarrow req_conf_k \leq 1 \quad (9)$$

Если конфликтная ситуация образована двумя заявками (т.е., относится к 2-ому виду), то не более одной из таких заявок может быть включено в ПРС без изменения её характеристик:

$$(req_{k_1} \in cnf_{req_1}) \wedge (req_{k_2} \in cnf_{req_2}) \Rightarrow (req_conf_{k_1} + req_conf_{k_2}) \leq 3 \quad (10)$$

К причинам таких КС можно отнести: ограничение по числу КА, с которыми одновременно может осуществляться взаимодействие (как правило, возможна работа только с одним КА в один момент времени) [9, 10]; ограничения по одновременной работе различных средств управления КА [5, 9]; ограничения по одновременному проведению нескольких сеансов связи с различными КА из одного ЦУП КА, обусловленные его характеристиками (например, проведение сеансов связи максимум с двумя КА одновременно) [6, 9].

Рассмотрим подробнее как различные виды ограничений на использование средств управления КА влияют на возможность включения заявок в ПРС.

Средства, не входящих в состав НКУ КА, не могут быть использованы для управления КА. В связи с этим, заявки на использование таких средств не могут быть включены в ПРС. Учитывая это, проверку вхождения заявленных средств в состав НКУ КА можно представить в следующем виде:

$$gs_{req_k} \notin GCC_{sat_{req_k}} \Rightarrow req_conf_k = 0 \quad (11)$$

где $GCC_{sat_{req_k}}$ – состав НКУ по КА, для которого составлена k -ая заявка.

Аналогично можно представить проверку поддержки заявленных режимов работы запрошенными средствами управления КА:

$$WM_k \cap WM_{gs_{req_k}} = \emptyset \Rightarrow req_conf_k = 0 \quad (12)$$

$$(WM_k \cap WM_{gs_{req_k}} \neq \emptyset) \wedge (WM_k \cap WM_{gs_{req_k}} \neq WM_k) \Rightarrow req_conf_k \leq 1 \quad (13)$$

$$WM_k \cap WM_{gs_{req_k}} = WM_k \Rightarrow req_conf_k \leq 2 \quad (14)$$

где $WM_{gs_{req_k}}$ – множество режимов работы, поддерживаемых средством, использование которого запрошено в k -ой заявке.

Как видно из выражения (14), для обеспечения возможности включения в ПРС заявки без изменения её характеристик требуется, чтобы все заявленные режимы работы поддерживались запрошенным средством управления КА. Заметим, что данное условие является необходимым, но не достаточным (например, по некоторым из поддерживаемых режимов работы могут существовать временные ограничения по их выполнению ввиду неисправности средства управления). Если часть из запрошенных режимов не поддерживается (см. (13)), то такая заявка может быть включена в ПРС с изменением её характеристик (исключением неподдерживаемых режимов работы). Как и в предыдущем случае, данное условие является необходимым, но не достаточным для включения такой заявки в план. Если запрошенным средством управления КА не поддерживается ни один из запрошенных режимов работы (см. (12)), то такая заявка не может быть включена в ПРС.

Данные ограничения также учитываются при разработке вариантов разрешения конфликтных ситуаций, т.к. при изменении характеристик конфликтующей заявки она может быть перенесена только на те средства управления, которые входят в состав НКУ КА и поддерживают запрошенные режимы работы.

Другим ограничением, противоречие заявки с которым приводит к невозможности её включения в ПРС, являются зоны радиовидимости средств управления КА – недопустимо планирование проведения сеанса связи без наличия соответствующей ему зоны радиовидимости (исключением является заявка на использование средства управления для проведения тренировки, когда не требуется установление радиосвязи с космическим аппаратом):

$$\left(\{sat_{req_k}, gs_{req_k}, t_{req_k}^{begin}, t_{req_k}^{end}\} \notin VW \right) \wedge \left(wm_{training} \notin WM_{req_k} \right) \Rightarrow req_conf_k \leq 1 \quad (15)$$

где VW – множество ЗРВ КА; $wm_{training}$ – режим работы, соответствующий проведению тренировки (когда не требуется вхождение в радиосвязь с КА).

Проведение на средстве управления эксплуатационных мероприятий также может привести к невозможности включить в ПРС заявку без изменения её характеристик (например, без изменения времени её проведения и/или используемого средства управления):

$$\left(\{t_{req_k}^{begin} - t_{req_k}^{prep}, t_{req_k}^{end}\} \cap \{t_{so_i}^{begin}, t_{so_i}^{end}\} \neq \emptyset \right) \wedge \left(gs_{req_k} = gs_{so_i} \right) \Rightarrow req_conf_k \leq 1, \quad (16)$$

$$i \in [1, so_num]$$

где $t_{so_i}^{begin}$ и $t_{so_i}^{end}$ – соответственно время начала и время окончания i -ого эксплуатационного мероприятия; so_num – количество эксплуатационных мероприятий на средствах управления КА; gs_{so_i} – средство управления, которое является объектом проведения i -ого эксплуатационного мероприятия.

Состояние средств управления, отличное от штатного, также может привести к невозможности включения в ПРС поступившей заявки без изменения её характеристик. Так, неработоспособность средства управления приведет к необ-

ходимости изменения характеристик поступившей заявки на его использования или исключения её из ПРС:

$$\begin{aligned} & \left(\{t_{req_k}^{begin} - t_{req_k}^{prep}, t_{req_k}^{end}\} \cap \{t_{st_{ij}}^{begin}, t_{st_{ij}}^{end}\} \neq \emptyset \right) \wedge \\ & \wedge \left(gs_{req_k} = gs_{st_{ij}} \right) \wedge \left(state_{st_{ij}} = not_func \right) \Rightarrow req_conf_k \leq l, \end{aligned} \quad (17)$$

$$l \in [1, st_num_{gs_j}], j \in [1, gs_num]$$

где $t_{st_{ij}}^{begin}$ и $t_{st_{ij}}^{end}$ – соответственно время начала и окончания l -ого временного интервала, на котором состояние средства gs_j не меняется; $st_num_{gs_j}$ – количество временных интервалов, на которых не меняется состояние средства управления gs_j ; $gs_{st_{ij}}$ – средство управления, состояние которого рассматривается; $state_{st_{ij}}$ – состояние средства управления gs_j на l -м интервале; not_func – значение состояния средства управления, соответствующего его неработоспособности (когда средство управления не может использоваться по назначению) [10].

Если же средств частично работоспособно, то возможность включения в ПРС запрошенной заявки без изменения её характеристик будет зависеть от запрошенных режимов работы и особенностей состояния средства управления КА:

$$\begin{aligned} & \left(\{t_{req_k}^{begin} - t_{req_k}^{prep}, t_{req_k}^{end}\} \cap \{t_{st_{ij}}^{begin}, t_{st_{ij}}^{end}\} \neq \emptyset \right) \wedge \\ & \wedge \left(gs_{req_k} = gs_{st_{ij}} \right) \wedge \left(state_{st_{ij}} = part_func \right) \wedge \\ & \wedge \left(WM_{req_k} \cap WM_{st_{ij}} \neq \emptyset \right) \Rightarrow req_conf_k \leq l, \end{aligned} \quad (18)$$

$$l \in [1, st_num_{gs_j}], j \in [1, gs_num]$$

где $part_func$ – значение состояния средства управления, соответствующего его частичной работоспособности (когда средство управления может использоваться с ограничениями) [10]; $WM_{st_{ij}}$ – режимы работы средства управления, выполнение которых невозможно или возможно с ограничениями.

Помимо ограничений по использованию отдельных средств управления КА, к возникновению конфликтных ситуаций также могут приводить ограничения по одновременной работе различных средств управления. Одним из таких ограничений является электромагнитная совместимость средств управления, размещенных на одном наземном пункте (в территориальной близости друг от друга). Противоречие с данным ограничением может возникнуть в случае использования для радиосвязи с различными КА одних и тех же радиочастот (или соседних радиочастот, способных создать взаимные помехи). Конфликтная ситуация, обусловленная данным ограничением, относится к множеству CNF_{req} , а значит только одна из двух заявок может быть включена в ПРС без изменения её характеристик (т.е., для такой КС справедливо выражение (10)).

Помимо рассмотренного выше случая, к ограничениям, накладываемым на одновременную работу различных средств управления, относится использование общих ресурсов (как разделяемых ограниченного объема, так и неразделяемых). Частным случаем разделяемых ресурсов ограниченного объема, совместно используемых различными средствами управления, является пропускная способность каналов связи. Например, между несколькими ЦУП КА, размещенными в одной организации, и несколькими средствами управления КА, размещенными на одном наземном пункте, может существовать канал связи ограниченной пропускной способности. При штатной работе возникновение КС из-за данного ограничения маловероятно. Однако в случае возникновения нештатной ситуации потребности в объемах и скорости передачи данных с КА через средства управления в центр управления полетами могут резко возрасти, что может привести к конфликтной ситуации при РСУ КА. Такая КС может быть образована как двумя заявками, так и несколькими заявками. В этом случае число заявок, которые могут быть включены в ПРС без изменения их характеристик, будет зависеть от их характеристик заявок и характеристик общих ресурсов.

Ограничение на максимально допустимое число сеансов связи, которые могут быть одновременно проведены из одного ЦУП КА, приводит к возникновению конфликтных ситуаций, образованных, как правило, группой заявок на использование средств управления (поступивших от одного ЦУП КА для проведения сеансов связи с разными КА, управляемыми из него, в одно и то же время). В этом случае в ПРС могут быть включены несколько заявок без изменения их характеристик, но их число не может превышать число сеансов связи, которые могут быть одновременно проведены из одного ЦУП КА:

$$\sum_{i=1}^{rcm_num} req_conf_{k_i} \leq (seans_max_num_j \times 2) \quad (19)$$

$$j \in [1, mcc_num]$$

где rcm_num – число заявок, участвующих в рассматриваемой группе конфликтных ситуаций (и поступивших от j -ого ЦУП КА); $seans_max_num_j$ – максимально допустимое число сеансов связи, которые могут быть одновременно проведены из j -ого ЦУП КА; mcc_num – число ЦУП КА.

Заметим, что формирование заявок в ЦУП КА осуществляется, как правило, с учетом данного ограничения. Однако его следует также учитывать при разработке вариантов разрешения прочих конфликтных ситуаций, обусловленных другими ограничениями.

Таким образом, вид конфликтной ситуации, к возникновению которой приводит поступившая заявка на использование средств управления КА, во многом определяет возможности по включению заявки в план распределения средств. Представленная математическая постановка задачи учета ограничений по использованию отдельных средств управления показывает, в каких случаях возможно включения заявки в ПРС без изменения её характеристик, в каких – возможно только путем изменения её характеристик, а в каких – невозможно.

Литература

1. Fliege J., Kaparis K., Khosravi B. Operations research in the space industry // *European Journal of Operational Research*. 2012. Vol. 217. № 2. pp. 233-240.
2. Меньшиков В.А., Рудаков В.Б., Сычев В.Н. Оптимальный иерархический контроль технических параметров космических аппаратов // *Полет. Общероссийский научно-технический журнал*. 2010. № 3. С. 15-19.
3. Darnopykh V.V., Malyshev V.V. Operative planning of functional sessions for multisatellite observation and communication systems // *Acta Astronautica*. 2012. Vol. 73. pp. 193-205.
4. Vazquez Antonio J., Erwin R. Scott. On the tractability of satellite range scheduling // *Optimization Letters*. 2015. Vol. 9. № 2. pp. 311-327.
5. Кучеров Б.А. Система ограничений по использованию ресурсов, учитываемых при распределении средств управления космическими аппаратами // *Эволюционные процессы информационных технологий: сборник трудов по материалам 4-й международной науднотехнической конференции 5 апреля 2019 г. М.: Издательство «Наудный консультант»*. 2019. С. 43-47.
6. Barbulescu L., Howe A., Whitley D. AFSCN scheduling: How the problem and solution have evolved // *Mathematical and Computer Modelling*. 2006. Vol. 43. № 9-10. pp. 1023-1037.
7. Vazquez R., Perea F., Galán V. J. Resolution of an Antenna-Satellite assignment problem by means of Integer Linear Programming // *Aerospace Science and Technology*. 2014. Vol. 39. pp. 567-574.
8. KucheroB., Přebyl O., Artyushenko V. Increasing efficiency of getting results of satellite remote sensing for smart cities // *2017 Smart City Symposium Prague (SCSP)*. Prague. 2017. pp. 1-6.
9. Артюшенко В.М., Кучеров Б.А. Анализ системы ограничений по использованию средств управления космическими аппаратами, учитываемых при их распределении // *Вестник Московского авиационного института*. 2019. Т. 26. № 3. С. 178-189.
10. Кучеров Б.А. Постановка задачи оптимизации распределения средств управления космическими аппаратами в условиях ресурсных ограничений // *Информационно-технологический вестник*. 2018. № 4 (18). С. 32-43.

УДК 629.78:658.562

**Анализ эффективности деятельности
«КБХиммаш им. А.М. Исаева» по обеспечению качества
ракетно-космической техники**

Т.С. Огурцова, аспирант третьего года обучения кафедры Управления
качеством и стандартизации,

Н.П. Асташева, доктор биологических наук, профессор кафедры Управления
качеством и стандартизации,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

В работе рассмотрены основные цели и задачи оценки эффективности деятельности организации по обеспечению качества ракетно-космической техники.

Представлены результаты расчета показателей эффективности деятельности «КБХиммаш им. А.М. Исаева» по обеспечению качества продукции в 2019 году с использованием методики СТО ГК Роскосмос 1023-2019.

Показано, что рассмотренная в статье методика позволяет проводить оценку эффективности деятельности «КБХиммаш им. А.М. Исаева» и разрабатывать рекомендации по повышению качества выпускаемой продукции.

Качество изделий, оценка эффективности, ракетно-космическая техника.

Evaluation of the effectiveness of the activities of «KBhimmash named after A.M. Isaev» on quality assurance of rocket and space technology

T.S. Ogurtsova, third year postgraduate student of the Department of Quality
Management and Standardization,

N.P. Astasheva, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department
of Quality Management and Standardization,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education
of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The paper considers the main goals and objectives of assessing the effectiveness of an organization to ensure the quality of rocket and space technology.

Presented are the results of calculating the performance indicators of «KBhimmash im. A.M. Isaev» to ensure product quality in 2019 using the methodology of the STO GK Roscosmos 1023-2019.

It is shown that the methodology considered in the article makes it possible to

assess the effectiveness of the activities of «KBhimmash named after A.M. Isaev» and develop recommendations for improving the quality of products.

Product quality, efficiency assessment, rocket and space technology.

В связи с необходимостью анализа эффективности деятельности организаций по обеспечению качества ракетно-космической техники в 2019 году был утвержден стандарт по космической деятельности Госкорпорации Роскосмос 1023-2019 «Методика оценки эффективности деятельности организаций ракетно-космической промышленности по обеспечению качества ракетно-космической техники» [1].

Внедрение стандарта в 2020 году в «КБХиммаш им. А.М. Исаева» актуально и своевременно, так как предприятие заинтересовано в высоком качестве ракетно-космической техники и научных исследований в этой области. Актуальность темы заключается в необходимости разработки повышенной конкурентоспособности и высококачественной продукции в целях успешного развития и экономической безопасности организации в условиях современных рыночных отношений [2].

Методика оценки эффективности деятельности.

Методика, определенная стандартом по космической деятельности, направлена на повышение эффективности работы предприятия по обеспечению качества ракетно-космической техники. Данная методика содержит: номенклатуру показателей, методы их расчета, критерии оценки, порядок отчетности, анализа и использования результатов оценки.

Основными целями методики по обеспечению качества продукции являются:

- повышение оперативности и объективности анализа деятельности организации направленной на повышение качества продукции;
- оценка степени удовлетворенности заказчика;
- разработка и реализация мероприятий, направленных на улучшение деятельности организации с целью повышения качества продукции, результативности системы менеджмента качества и ее процессов;
- оптимизация сроков и стоимости разработки, производства, испытаний, технического обслуживания и ремонта при эксплуатации продукции;
- снижение затрат вследствие низкого количества несоответствий.

Таким образом использование методики стало одним из инструментов выявления возникающих проблем при осуществлении деятельности организации.

Основные задачи по обеспечению качества продукции:

- оценка деятельности организации по установленной номенклатуре показателей эффективности;
- сбор, обработка и хранение информации по установленным измеримым показателям качества и результатам анализа деятельности организации по обеспечению качества в процессе создания, производства, испытаний, технологического обслуживания и ремонта при эксплуатации про-

дукции;

- принятие решений по результатам оценки и разработка управляющих мероприятий.

Показатели эффективности. Исходя из методики, авторами были рассмотрены следующие показатели эффективности деятельности предприятия по обеспечению качества продукции.

Показатель безотказности (P_1) отражает наличие отказов (аварий) изделий при выполнении программ летных испытаний и эксплуатации (применении по назначению) по вине организации на основании претензий со стороны заказчика заключений (выводов) аварийной, межведомственной комиссий, рекламационных актов, сообщений о неисправности.

Показатель выполнения требований по обеспечению надежности (P_2) определяется в соответствии с Методикой [3] как фактическое значение индикатора выполнения требований по надежности с учетом всех поставленных заказчику изделий и всех показателей надежности, установленных для каждого изделия.

Показатель уровня рекламационных актов и сообщений о неисправности (P_3) включает две составляющие: удельное количество полученных за отчетный период рекламационных актов и сообщений о неисправности, по которым организация признана виновной ($P_{3,1}$), и удельное количество остальных полученных за отчетный период рекламационных актов и сообщений о неисправности ($P_{3,2}$).

Показатель своевременности исследования рекламационных актов и сообщений о неисправности (P_4) отражает долю полученных организацией рекламационных актов и сообщений о неисправности (независимо от виновника), по которым исследование завершено в установленные сроки. При этом общая выборка включает те рекламационные акты и сообщения о неисправности, по которым в соответствии с установленными требованиями должно было завершиться исследование за отчетный период.

Показатель уровня повторяющихся дефектов (P_5) отражает долю повторяющихся дефектов из общего числа дефектов, выявленных за отчетный период. Общее число дефектов включает отказы, рекламации и сообщения о неисправности, отступления, оформленные карточки разрешения, брак и др.

Показатель качества входного контроля (P_6) отражает долю возвращенных покупных комплектующих изделий и партий материалов с этапа производства из числа успешно прошедших входной контроль и включает две составляющие: показатель качества входного контроля покупных комплектующих изделий ($P_{6,1}$) и показатель качества входного контроля материалов ($P_{6,2}$). Ввиду большого количества предъявлений на входной контроль (как правило, измеряется в десятках и сотнях тысяч), для повышения чувствительности показателя итоговые значения умножаются на 10.

Показатель уровня возвратов продукции отдела технического контроля и военной продукции с первого предъявления (P_7) определяется долей возвратов ОТК и ВП из числа предъявлений за отчетный период и включает две составляющие: показатель уровня возвратов продукции ОТК ($P_{7,1}$) и показатель уров-

ня возвратов продукции ВП (П_{7,2}).

Показатель качества технической документации разработчика (П₈) определяется долей извещений содержащих внесенные изменения в техническую документацию, оформленных по причине устранения ошибок, от общего числа извещений об изменении технической документации. Показатель определяется по конструкторской документации собственной разработки с проведением анализа извещений, выпущенных за отчетный период, по информации подразделения технической документации.

Показатель уровня отступлений от конструкторской документации (П₉) определяется удельным количеством изделий собственного изготовления, на которые оформлены карточки разрешения за отчетный период, и включает две составляющие, одна из которых учитывает карточки разрешения по вине исполнителя (П_{9,1}) и как более важная берется с коэффициентом 0,8, другая учитывает остальные карточки разрешения (П_{9,2}) и берется с коэффициентом 0,2.

Показатель уровня технологической дисциплины (П₁₀) определяется долей количества проверок технологической дисциплины, в ходе которых не выявлены нарушения, от общего количества проверок технологической дисциплины. При этом учитываются все виды контроля технологической дисциплины, установленные документами по стандартизации организации (повседневный, периодический, летучий, специальный и др.).

Показатель работы с поставщиками покупных комплектующих изделий, КИМП и материалов (П₁₁) отражает изменение (рост или снижение) удельного количества рекламационных актов и сообщений о неисправности на одно изделие, предъявленных поставщикам покупных комплектующих изделий, КИМП и материалов, поставляемых по договору поставки (изготавливаемых по ТУ, ГОСТ и др.).

Показатель степени реализации и эффективности выполнения плановых мероприятий по обеспечению качества и надежности и мероприятий по результатам проверок (П₁₂) определяется долей выполненных мероприятий программных (плановых) документов по качеству (программа обеспечения качества и др.) с требуемой результативностью из общего числа мероприятий, запланированных к реализации в отчетный период, и долей выполненных в установленные сроки мероприятий по результатам проверок комиссиями Госкорпорации «Роскосмос», органом по сертификации системы менеджмента качества, комиссиями авторского надзора, комиссиями по внутренним проверкам из общего числа мероприятий, срок выполнения которых истек в отчетный период.

Для определения доли затрат, понесенных организацией вследствие несоответствий, введен экономический показатель (П₁₃), определяемый как удельный вес затрат по причине несоответствий в общих затратах на разработку, производство, испытания, эксплуатацию и/или техническое обслуживание и ремонт при эксплуатации продукции за установленный отчетный период.

Результаты исследования. На основе показателей, предложенных в методике, был проведен анализ эффективности деятельности «КБхиммаш им. А.М. Исаева» по обеспечению качества продукции в 2019 году.

Таблица 1 – Расчет показателей эффективности деятельности «КБХиммаш им. А.М. Исаева» по обеспечению качества продукции в 2019 году

Обозначение	Наименование показателя	Значение показателя (Pi)	Вес, β_i	Итоговый коэффициент, K_i
П ₁	Показатель безотказности	0	10	1
П ₂	Показатель выполнения требований по обеспечению надежности	102,2 %.	5	1
П ₃	Показатель уровня РА и СОН	0,002	5	0,997
П ₄	Показатель своевременности исследования РА и СОН	1	3	1
П ₅	Показатель уровня повторяющихся дефектов	0,07	3	0,93
П ₆	Показатель качества входного контроля	0,02	3	0,97
П ₇	Показатель уровня возвратов продукции ОТК и ВП	0,004	3	0,995
П ₈	Показатель качества технической документации разработчика	0,039	3	0,961
П ₉	Показатель уровня отступлений от КД	0,036	3	0,963
П ₁₀	Показатель уровня технологической дисциплины	0,907	3	0,907
П ₁₁	Показатель работы с поставщиками ПКИ, КИМП и материалов	0,97	3	0,97
П ₁₂	Показатель степени реализации и эффективности выполнения плановых мероприятий по обеспечению качества и надежности и мероприятий по результатам проверок	1	3	1
П ₁₃	Удельный вес затрат вследствие несоответствий в общих затратах на создание, производство, испытания, эксплуатацию и/или техническое обслуживание и ремонт при эксплуатации продукции	0,001	3	0,999
Значение интегрального показателя эффективности: $\Xi = 0,97$				

Интегральный показатель эффективности (Ξ) определяется по непрерывной шкале от 0 до 1 и рассчитывался следующим образом:

$$\Xi = \frac{\sum_{i=1}^m (K_i \times \beta_i)}{n} \quad (1)$$

где K_i – итоговый коэффициент P_i ;
 β_i – весовой коэффициент P_i ;
 n – сумма весовых коэффициентов;
 m – количество показателей.

Расчет всех показателей, включая интегральный, осуществлялся с округлением до трех знаков после запятой.

Значение интегрального показателя эффективности деятельности «КБхиммаш им. А.М. Исаева» по обеспечению качества продукции, рассчитанное в соответствии с методикой СТО ГК Роскосмос 1023-2019, в 2019 году составило $\Theta = 0,97$.

Таблица 2 – Критерии принятия решений по результатам оценки Θ

Значение Θ	Предлагаемое решение
$0,95 \leq \Theta \leq 1$	Деятельность по обеспечению качества в целом эффективна. При наличии отрицательной динамики по отдельным показателям организация должна принять меры по их улучшению.
$0,75 \leq \Theta < 0,95$	Деятельность по обеспечению качества недостаточно эффективна. Организации необходимо принять меры по устранению причин низких значений показателей эффективности. Возможно включение организации в план проверок Госкорпорацией «Роскосмос» на следующий год.
$0 \leq \Theta < 0,75$	Деятельность по обеспечению качества неэффективна. Организации необходимо принять меры по устранению причин низких значений показателей эффективности. Рекомендуется проведение внеплановой проверки обеспечения качества Госкорпорацией «Роскосмос».

Выводы. В соответствии с полученным интегральным показателем эффективности деятельности «КБхиммаш им. А.М. Исаева» по обеспечению качества продукции, равным 0,97, можно сделать вывод о том, что по критериям принятия решений, представленным в таблице 2, деятельность по обеспечению качества в целом эффективна ($0,95 \leq 0,97 \leq 1$).

Таким образом, использование методики оценки эффективности деятельности предприятия по обеспечению качества выпускаемой ракетно-космической техники, позволяет оперативно анализировать эффективность деятельности предприятия по ряду показателей, представленных выше.

Внедрение методики Госкорпорации Роскосмос 1023-2019 является одним из инструментов повышения качества выпускаемой продукции и успешном совершенствовании «КБхиммаш им. А.М. Исаева» в целом.

Литература

1. СТО ГК Роскосмос 1023-2019 «Методика оценки эффективности деятельности организаций ракетно-космической промышленности по обеспечению качества ракетно-космической техники». 2019 г. 45 с.

2. Тереховская О.В., Кирьякова М.В. Менеджмент качества предприятия ракетно-космической промышленности как одно из главных условий создания надежной ракетно-космической техники // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019. Том 9. № 4А. С. 64-73.
3. «Методика оценки ключевых показателей эффективности деятельности организаций Госкорпорации «Роскосмос» в области обеспечения качества» (утверждена исполнительным директором по обеспечению качества и надежности Госкорпорации «Роскосмос» 3 июля 2017 г.). 19 с.

УДК 004.04

Использование принципа Lean-Production при оптимизации документооборота организации

В.И. Вальс, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

В статье рассматриваются основные элементы бережливого производства и аспекты его реализации. В статье описывается процесс оптимизации документооборота компаний в соответствии с концепцией бережливого производства и системы менеджмента качества, основанной на принципе «один процесс – один документ».

Ключевые слова: внедрение, электронный документооборот, бережливое производство.

Using the Lean-Production principle when optimizing the organization's workflow

V.I. Vals, graduate student,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education
of the Moscow Region
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The article discusses the main elements of lean manufacturing and aspects of its implementation. The article describes the process of optimizing the workflow of companies in accordance with the concept of lean manufacturing and a quality management system based on the principle of «one process – one document».

Implementation, electronic document management, lean production.

Цель любой коммерческой компании – получение прибыли. В условиях постоянно растущей конкуренции, с одной стороны, и истощения ресурсов, с другой, проблема оптимизации производства становится как никогда актуальной.

Оптимизация электронного документооборота требует понимания его структуры. Сама структура электронного документооборота не сложна, и показана на рисунке 1.

Имеется сервер систем электронного документооборота, к которому подключаются контролируемые субъекты, которыми могут быть:

- рабочие ПК;
- дополнительное оборудование;
- WEB – сервер;
- Back Up – сервер.



Рисунок 1 – Структура электронного документооборота

Вместе со всем этим подключается так же CRM система, которая является мозгом всей системы документооборота и позволяет отдавать серверу задачи, которые зависят от классификации системы электронного документооборота.

Производственная система Toyota (TPS) или бережливое производство по праву может считаться одной из наиболее эффективных производственных систем из существующих.

Lean Production – концепция управления производством, в переводе с английского означает бережливое производство. Существует около 10 принципов оптимизации производства согласно концепции, и все они сводятся к устранению излишних отходов производства.

В наше время, время массового производства концепция Lean обретает новый смысл, в виду большего числа отходов вырабатываемых при массовом производстве. Виды таких отходов представлены на рисунке 2.

Так согласно рисунку видно подразделение потерь на определенные факторы, к которым относятся так же факторы производства – перепроизводство и излишняя обработка готовой продукции.

Использование методов и инструментов предполагает не только готовность компании к предстоящим преобразованиям, но и их предрасположенность к применению того или иного принципа [1, 2].

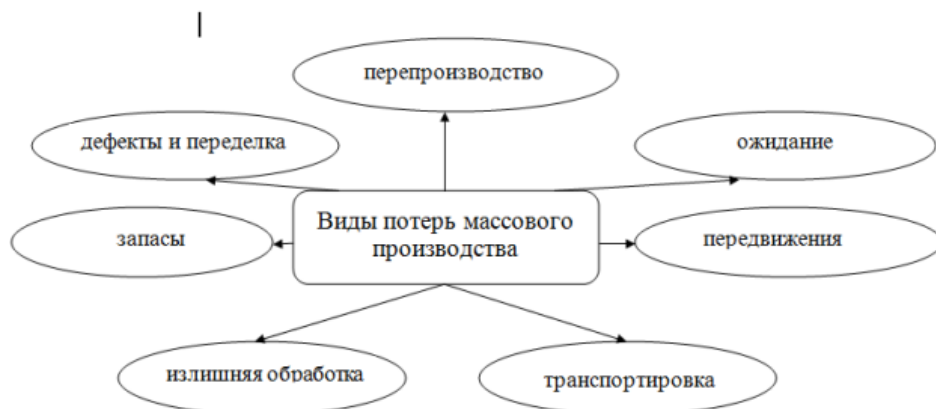


Рисунок 2 – Виды потерь массового производства

Тайити Оно, основатель этой системы, выделил основные типы производственных потерь:

1. Чрезмерное движение.
2. Чрезмерная транспортировка.
3. Чрезмерная обработка.
4. Большое время ожидания.
5. Перепроизводство.
6. Лишние детали.
7. Дефекты и утилизация.

Впоследствии был выявлен другой вид потерь: убытки.

Основным аспектом практической оптимизации при внедрении бережливого производства является оптимизация основных и вспомогательных процессов, а именно:

- более эффективное использование основных материальных фондов (здания и сооружения, земля);
- анализ имеющейся базы оборудования и его оптимизация (удаление станков с низкой производительностью и частыми поломками, внедрение предупредительного планового ремонта и т.п.);
- проведение мероприятий по повышению эргономичности рабочих зон;
- сокращение производственного цикла.

При этом большое внимание уделяется оптимизации документооборота в организации. В соответствии с системой необходимо количество документов, их вид и область распространения. Как показывает практика, наиболее эффективным методом документирования является систематизация в соответствии с основными процессами компании, так называемый процессный подход.

Процессный подход к производству подразумевает использование технической документации, которая регламентирует процессы производства, одна-

ко это является минусом, замедляя течение производства.

Блок-схема технологической документации представлена на рисунке 3.

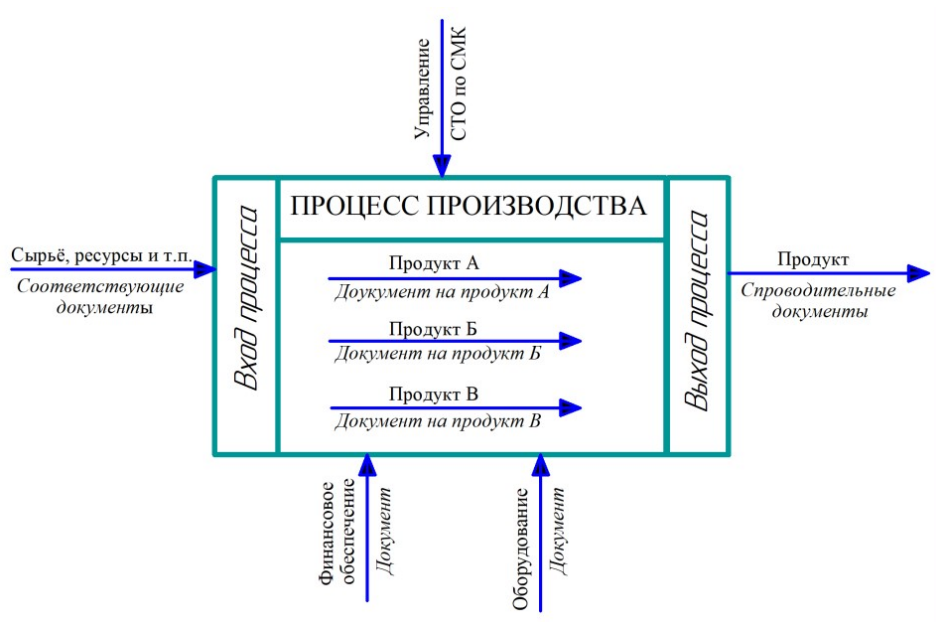


Рисунок 3 – Структурная схема документирования процесса

Согласно принципам бережливого производства, необходимо стремиться к минимизации всех затрат, в том числе документов. В этом аспекте улучшения есть два преимущества: во-первых, ресурсы не тратятся на разработку и внедрение документов, без которых организация может работать без ущерба для качества продукта, и, во-вторых, не тратится время на приведение продуктов в соответствие с документом.

Существуют различные возможности выделения процессов для документации, например, для компаний, производственной деятельности, характерных для ассортимента. Выбор процессов также основывался на ассортименте закупаемого сырья. На входе в такой процесс будет сырье, а на выходе – готовый продукт. В этом случае можно говорить об «идеальном» потоке документов «один процесс – один документ».

Из-за сложной структуры большинства компаний (особенно крупных) невозможно создать систему документов по принципу «один процесс – один документ». Если организация производит более одного товара из одного сырья, такой процесс должен быть разделен на подпроцессы, и каждый должен быть задокументирован отдельно. В случае большого количества однородных процессов, различающихся нюансами, лучше всего задокументировать всю группу с описанием свойств каждого из них. Однако наиболее выгодным вариантом все же остается документировать один процесс в одном документе, эти документы необходимы и достаточны [4].

Внедрение бережливых технологий в России началось относительно недавно – около 2000 года. Тем не менее, отдельные компании добились в этом больших успехов. Можно выбрать отдельно: ГАЗ, Сухой, КамАЗ, Иркут, Иркутскэнерго, Русал, Росатом, группа Е4, цвета России. Эти компании оптимизировали все производство, и рабочий процесс не остался в стороне. С этим компонентом оптимизации был достигнут значительный прогресс. Пересмотрена и скорректирована практически вся нормативная база компаний. Характерной особенностью является то, что практически все эти организации внедрили электронный документооборот или его компоненты. Удалось сократить количество документов до 30% без потери полноты нормативной базы.

Концепция Lean Production подразумевает использование всех имеющихся ресурсов с минимальными потерями, подробнее о ресурсах показано на рисунке 4.



Рисунок 4 – Концепция Lean Production

КамАЗ занимает лидирующие позиции по эффективности внедрения бережливого производства. Эта компания достигла высочайшей эффективности, особенно с точки зрения оптимизации процессов и рабочих процессов [5].

Выявленная в ходе работы специалистов по внедрению элементов бережливого производства на КамАЗе структура процессов послужила основой для распространения доступной информации. Названия документов и их разделы в структуре разработанной документной базы практически полностью охва-

тывают выбранные процессы и операции. Благодаря этому была получена система документов, полностью соответствующая происходящим процессам.

Таким образом, элементы бережливого производства и процессный подход к развитию системы документации в компании позволяет достичь следующих результатов:

- выделение и документирование всех значимых бизнес-процессов;
- повышение способности сосредотачиваться на ключевых процессах и возможностях их улучшения;
- создание логически структурированной системы документов;
- возможность более быстрого и эффективного анализа выбранных процессов;
- улучшение восприятия документов сотрудниками;
- возможность реконструкции, слияния или полного отказа от документов в целях оптимизации работы компании;
- облегчение управления процессами и, как следствие, всей компанией.

Из вышеизложенного можно сделать следующий вывод: бережливое производство в сочетании с системой менеджмента качества на производстве является эффективной концепцией документооборота в организации. Оптимизация документов, в свою очередь, улучшает работу всей организации в целом.

Литература

1. Попов И.В., Комарова С.Г. Опыт внедрения бережливого производства в России // Управление качеством. 2018. No 6. С. 16-19.
2. Литвинов И.Е., Коркишко А.Н., Чухлатый М.С., Набоков А.В. Бережливое производство как основа для повышения эффективности производства // Экономика и предпринимательство. 2019. No 2. С. 1132-1136.
3. ТерИзраелян А.М. «Бережливое производство» в отечественной промышленности и советская наука организации производства // Инновационные технологии в науке и образовании. 2019. No 10. С. 178-180.
4. Попов И.В., Гореленкова Т.С., Невмятулина Х.А. Применение процессного подхода при разработке нормативных технических документов // Компетентность. 2018. No 9-10. С. 52-56.
5. [Электронный ресурс]. URL: <https://kamaz.ru/>. (Дата обращения 11.11.2020).

УДК 004.772

Проблема безопасности пользователей в сетях Wi-Fi

Г.С. Мокану, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Угрозы информационной безопасности в компьютерных сетях стали одной из основных проблем для владельцев ПК. При этом особое распространение этих угроз коснулось сетей WI-FI, в которых происходит как несанкционированный доступ к данным, так и только снижение уровня защиты сети. Практически все современные мобильные устройства (смартфоны, планшеты, ноутбуки и нетбуки) имеют возможность подключения к беспроводному Интернету или, точнее, к сети WI-FI, эта функция теперь является стандартной для этих устройств.

Угрозы, сеть, интернет, WI-FI, безопасность, аутентификация.

The problem of user security in Wi-Fi networks

G.S. Mokanu, graduate student,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education
of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

Information security threats in computer networks have become one of the main problems for PC owners. At the same time, a particular spread of these threats affected WI-FI networks, in which both unauthorized access to data and only a decrease in the level of network protection occur. Almost all modern mobile devices (smartphones, tablets, laptops and netbooks) have the ability to connect to the wireless Internet or, more precisely, to the WI-FI network, this function is now standard for these devices.

Threats, network, internet, WI-FI, security, authentication.

Пользователи электронных вычислительных устройств, гаджетов и мобильных устройств часто используют технологию WI-FI для определения точки доступа к глобальной сети Интернет, особенно для более быстрого доступа к ней по сравнению с другими технологиями. Предприятия в различных сферах обслуживания, от отелей, ресторанов и баров до аэропортов, имеют возможность подключить большое количество абонентов к существующей компьютер-

ной сети WI-FI. В то же время точка доступа к сети этих многолюдных мест является важным условием обслуживания и комфорта пребывания пользователей. Сегодняшние обширные корпоративные сети офисов крупных компаний также постоянно используют технологию Wi-Fi. Эти обстоятельства указывают на широкое распространение данной сетевой технологии и риски несанкционированного доступа к ней.

В настоящее время в его речи появляется относительно новый взлом дискретной сети с целью несанкционированного доступа к информации и ее последующего использования. Это направление получило название «Wardriving», что в английском переводе называется «боевой ездой», потому что для выхода в сеть злоумышленники используют переносной адаптер WI-FI с рабочей станцией (компьютером) и транспортным средством.

Между тем, группа людей, занимающихся вардрайвингом, лично заинтересована во взломе сетей WI-FI, это может быть эгоистичным или спортивным, но тот факт, что они будут иметь неблагоприятные последствия этого преступления, не зависит от этого.

Можно с уверенностью сказать, что вся информационная среда данных сейчас окутана радиотехнологиями, но при этом вопрос информационной безопасности остается открытым, потому что динамика роста модернизации угрожающих факторов постоянно растет.

К распространенным уязвимостям и обстоятельствам, связанным с беспроводной связью, относятся:

- отсутствие абонентских привилегий и их непротокольное подключение; в этой ситуации информационное поле сети WI-FI должно включать местонахождение преступника, у которого есть соответствующее техническое оборудование для подключения;
- дублирование беспроводной базовой станции (точки доступа); в этом процессе заменяется основной источник доступа к сети, при этом сигнал должен быть достаточного качества; злоумышленнику необходимо знать значения SSID и генерировать сильный сигнал в соответствующей области беспроводной сети;
- использование атак типа «отказ в обслуживании» или DOS-атак; наиболее распространенная атака направлена на беспроводную сеть на основе WPA; алгоритм атаки следующий: злоумышленник отправляет на монитор примерно два пакета случайных зашифрованных кодов (ключей), поэтому при получении этих пакетов точка беспроводного доступа анализирует их и воспринимает как попытку несанкционированного доступа, после чего все существующие соединения закрываются;
- генерация ключевых кодов; в этом случае MAC-адреса, сетевые имена и введенные доступные пароли будут служить основой для создания конкретного ключа криптографического шифрования, который используется во многих программных функциях WPA и обычно является общедоступным; в этом случае информация свободно передается по беспроводной сети с использованием указанного ключа шифрования; кроме того, тщательный подбор началь-

ных паролей осуществляется методом грубой силы; 20 символов в имени пароля достаточно, чтобы представлять серьезную угрозу.

Технология беспроводной передачи данных WiFi имеет свои методы защиты в виде шифрования данных и аутентификации пользователей по средством технологии Captive Portal, однако на практике эти функции не позволяют в полной мере защитить информацию, эти технологии позволяют защитить подключение нежелательного пользователя, но от более менее обученного специалиста обезопасить сеть таким образом не удастся. Всегда возникает угроза неправомерного доступа к сети, с последующей утечкой важной и ценной информации.

Проанализируем угрозы, которые возникают при несанкционированном доступе. Эти угрозы условно можно разделить на два класса, они представлены на рисунке 1.

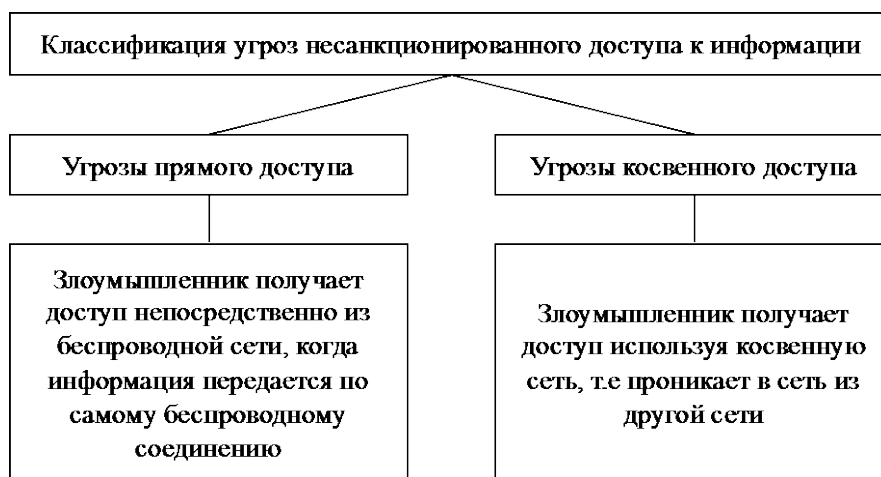


Рисунок 1 – Угрозы несанкционированного доступа

При возникновении угрозы прямого доступа наиболее уязвимым является радиоканал физического носителя передачи данных по беспроводному соединению.

При возникновении угрозы косвенного доступа происходит внедрение третьего устройства паразита, которое внедряется между пользователем и точкой доступа, перенаправляя информацию в другой канал.

Wi-Fi означает WirelessFidelity (качество или точность беспроводной связи). Это упрощенное название протокола для работы с беспроводными сетями IEEE802.11. Принцип его работы дистанционно можно объяснить как аналог радиоприемника. Где-то есть центр вещания или передатчик (в нашем случае это Wi-Fi роутер) и приемник сигнала (смартфон, ноутбук и т.д.).

Передатчик передает полезный сигнал (Интернет или другие данные) и передает так называемый сетевой идентификатор (SSID) по воздуху каждые 100 миллисекунд. Когда мобильное устройство оказывается в зоне покрытия маршрутизатора, оно может подключиться к нему (установить связь), если протокол

лы, с которыми оно взаимодействует.

Если в эфире одновременно работают несколько точек доступа (Wi-Fi роутеров), пользователь может выбрать, к какой сети подключиться, в зависимости от уровня сигнала и других параметров. Вы также можете подключить к одной точке доступа несколько мобильных устройств.

Следует отметить, что хотя сеть Wi-Fi на первый взгляд полностью решает проблему использования проводного сетевого подключения, она также не лишена недостатков. Дело в том, что сигнал Wi-Fi – это тот же радиосигнал. На это могут повлиять другие работающие электрические приборы (микроволновые печи, пылесосы, телевизоры). И предметы, непроницаемые для электромагнитных полей (стены квартир, мебель), также негативно влияют на распространение сигнала. Однако еще один недостаток Wi-Fi – недостаточная пропускная способность.

Текущая архитектура беспроводных сетей и точек доступа не позволяет каждому подключенному пользователю получить достаточную пропускную способность. Это связано с тем, что канал, к которому подключен Wi-Fi роутер или другое сетевое устройство, имеет ограниченную пропускную способность. Естественно, чем больше пользователей в кафе, баре или на вокзале будет подключено к устройству по радиоканалу, тем меньшая часть канала будет доступна каждому из них. Проблема еще и в том, что пользователи Интернета хотят не только получать информацию, но и отправлять ее. В основном это связано с недавним расширением социальных сетей, онлайн-игр и аналогичных услуг. В результате ширина канала на одного пользователя общедоступной сети физически еще меньше.

Для решения этой проблемы необходимо создание программного обеспечения, которое будет работать по принципу управления движением на дорогах инспекторами ДПС. Программа контролирует поток данных, движущихся в обоих направлениях (по полосе и по встречной полосе). Как только алгоритм обнаруживает задержку в одной из полос (блокировка или блокировка), такое программное обеспечение устанавливает более высокий приоритет для этого направления, чтобы сбалансировать скорость передачи данных в обоих направлениях. Особенность этого ПО также будет заключаться в том, что чем больше пользователей подключено к одной точке доступа, тем эффективнее работает сам алгоритм. Это означает, что пропускная способность будет увеличиваться с увеличением количества пользователей.

Можно только надеяться, что благодаря этим и т.п. доступ пользователей к глобальной информационной сети Интернет в государственных учреждениях будет намного лучше и лучше. Кроме того, производители сетевых устройств и Wi-Fi роутеров тоже не фиксируют время, а совершенствуют свои разработки. Взять, к примеру, универсальную материнскую плату gb411uah (barebone-роутер Mikrotik PIC), которая уже по своим характеристикам и функциям лучше, чем используемое сейчас устройство.

Другая проблема – это сети Ad-Hoc, которые упрощают передачу файлов коллегам или печать на Wi-Fi-принтер. Однако эта сеть не поддерживает многие методы безопасности, что делает их легкой мишенью для злоумышленников.

Новые технологии Virtual WiFi и Wi-Fi Direct только усугубили ситуацию. Структура сети Ad-Нос представлена на рисунке 2.

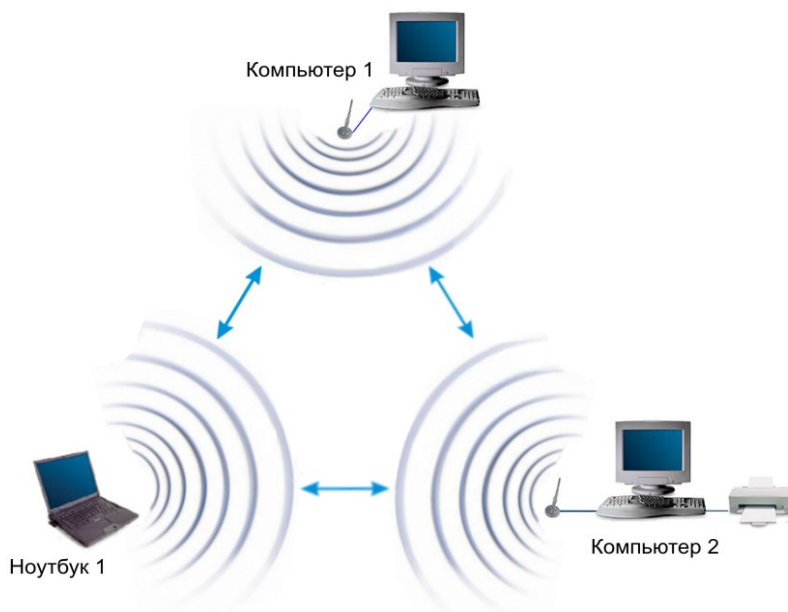


Рисунок 2 – Структура сети Ad-Нос

Неправильно настроенные устройства, устройства со слабыми и недостаточно длинными ключами шифрования и использующие уязвимые методы аутентификации – это первые устройства, которые подвергнутся атаке. По мнению аналитиков, наиболее успешные хакеры связаны с неправильной настройкой точек доступа и клиентского ПО.

Неправильно настроенные точки доступа. При взломе просто подключите неправильно настроенную точку доступа к сети. Настройка по умолчанию не включает шифрование и аутентификацию и не использует ключи, перечисленные в руководстве, так что все это знают. Маловероятно, что пользователи будут заботиться о безопасной настройке своих устройств. Именно эти установленные точки доступа представляют основные угрозы для защищаемых сетей.

Для защиты информации от существующих угроз рекомендуются следующие методы и приемы.

Способы авторизации и проверки. Рекомендуется использовать авторизацию RADIUS или аутентификацию клиента с помощью доверенного платформенного модуля (TPM) для авторизации клиентов. Авторизация с использованием стандартной технологии с использованием внешнего инструмента авторизации открывает широкие возможности для разграничения доступа на основе предоставленных учетных данных, которые являются индивидуальными для каждого конечного пользователя, и позволяет легко настроить безопасный гостевой вход.

Для устранения проблемы клонирования точки доступа и выполнения DoS-атак используются следующие методы аутентификации:

- Использование модифицированных протоколов. Этот метод считается наиболее эффективным способом борьбы, поскольку он вводит программное обеспечение, используемое для сканирования воздуха, и делает невозможным анализ перехваченных пакетов.
- Укажите время и конкретные свойства протокола и ОС, чтобы конечные точки были неизменными. При таком подходе вы можете создать «отпечаток пальца» операционной системы, который можно проверить, чтобы предотвратить развертывание фальшивой точки доступа или атаки типа «человек посередине».

На уровне подключения для передачи данных пакет Wi-Fi + VPN обеспечивает высочайшую защиту. В этом случае программное обеспечение VPN-сервера выполняет окончательную идентификацию и аутентификацию пользователя и связывается с ресурсами защищенной сети.

Есть еще один способ защиты в виде универсальной схемы с использованием микросхемы TPM. В рамках этой технологии основным компонентом построения системы защиты является специализированный чип TrustedPlatformModule, которым должны быть оснащены все сетевые устройства.

Чип TPM позволяет аутентифицировать клиента Wi-Fi со 100% точностью, поскольку каждый чип TPM содержит уникальный сертификат оборудования.

Во время загрузки TPM определяет программное обеспечение и оборудование. В процессе идентификации анализируются эталонные значения различных компонентов системы и отправляются результаты в TPM. Результаты записываются в выделенную область памяти и остаются неизменными даже в случае горячего перезапуска системы. После подключения к сети TPM отправляет контрольные значения из памяти в модуль принятия решений, который сравнивает полученные значения со значениями в базе данных. Если значения соответствуют базе данных, компьютер подключается к сети, в противном случае доступ к сети запрещается.

Подводя итог, можно сказать, что наиболее надежным методом защиты информации в беспроводных сетях является чип TPM, благодаря которому появляется возможность наиболее точного определения пользователя, при котором возможно запретить либо разрешить пользователю доступ к сети.

Литература

1. Похилько А.Ф., Горбачев И.В. CASE-технология моделирования процессов с использованием средств BPWin и ERWin учебное пособие // Ульяновск: УлГТУ. 2018. 120 с.
2. Одинцов И.О. Профессиональное программирование. Системный подход // СПб: БХВ-Петербург. 2017. 610 с.
3. Куликов Г.Г., Набатов А.Н., Речкалов А.В. Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем. Системное моделирование

- предметной области // Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет. 2018. 104 с.
4. Дубейковский В.И. Эффективное моделирование с СА ERwinProcessModeler (VRwin; AllFusionProcessModeler) // М: Диалог-МИФИ. 2017. 384 с.
 5. Михеев Р.В. VBA и программирование в MicrosoftOffice для пользователей: Монография // Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург». 2015. 364 с.
 6. Елманова А.А., Федоров А.В. Введение в OLAP-технологии Microsoft: монография // «Диалог – Диалог МИФИ». 2015. 727 с.
 7. Баргер А.И. Microsoft SQL Server 2005 Analysis Services. OLAP и многомерный анализ данных: монография // Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург». 2017. 928 с.
 8. Громов Ю.Ю. Информационная безопасность и защита информации: Учебное пособие / Ю. Ю. Громов, В. О. Драчев, О. Г. Иванова // Ст. Оскол: ТНТ. 2017. 384 с.
 9. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.Л. Широкополосные беспроводные сети передачи информации // М.: Техносфера. 2018. 126 с.
 10. Кияев В., Граничин О. Информатизация предприятия // М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ». 2019. 235 с.
 11. Мерит М., Полино Д. Безопасность беспроводных сетей / пер. с англ. А.В. Семенова // М.: Компания АйТи. ДМК Пресс. 2017. 288 с.

УДК 004.891

Использование генеративно-сопоставительных сетей в задаче предсказания существования рёбер в онтологическом графе

О.П. Мосалов, кандидат физико-математических наук, заведующий учебно-научной лабораторией интеллектуальных систем управления,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Рассматривается модель машинного обучения для предсказания существования рёбер в графе онтологии, основанная на использовании генеративно-сопоставительной сети. Проведены вычислительные эксперименты для различных наборов значений гиперпараметров модели. Показано, что модель решает поставленную задачу. Сформулированы направления дальнейшего развития данного подхода.

Графы онтологии, генеративно-сопоставительные сети, машинное обучение.

Usage of generative adversarial networks for edge prediction in ontology graphs

O.P. Mosalov, Ph.D., head of the educational and scientific laboratory of intellectual control systems,
State Budgetary Educational Institution of Higher Education
of the Moscow Region
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

A machine learning model for edge existence prediction in an ontology graph, based on generative adversarial networks, is considered. Computational experiments for different sets of hyper parameter values are fulfilled. It is shown that the model solves the task. Further steps on this approach research are formulated.

Ontology graphs, generative adversarial networks, machine learning.

Использование цифровых технологий при принятии решений в рамках тактического и стратегического планирования работы промышленного предприятия – это одно из важных конкурентных преимуществ. Для эффективного применения существующих алгоритмических и программных решений требуется, чтобы информация о предметной области была представлена в виде математической модели, удобной для обработки с помощью компьютеров. Однако не для всех отраслей производства существуют такие модели достаточного качества,

поэтому изучение алгоритмов построения таких моделей является актуальной задачей.

В случае, когда информация о предметной области представлена в виде большого количества источников разных форматов, в том числе: официальных документов, писем, презентаций, аудио и видеозаписей – необходимо решать две задачи: во-первых, необходимо спроектировать подходящую структуру для представления извлечённых данных, во-вторых, необходимо корректно извлечь эти данные из источников.

Только после выполнения указанных двух шагов можно переходить к построению систем поддержки принятия решений или систем других классов.

В данной работе в качестве структуры для представления данных о предметной области рассматривается граф онтологии. Онтология в общем случае включает в себя четыре типа объектов: экземпляры, понятия, атрибуты и отношения. Экземпляры – это физические или абстрактные объекты, понятия – это группы экземпляров, атрибуты – свойства экземпляров, отношения – связи между парами экземпляров.

В графе онтологии вершины графа соответствуют экземплярам, а рёбра графа – отношениям онтологии. В рассматриваемой модели атрибуты онтологии не рассматриваются, а понятия представлены в виде непересекающихся множеств вершин, которые формируют полное покрытие графа, т.е. каждая вершина входит ровно в одно такое множество. Эти множества называются слоями графа.

В качестве основы системы поддержки принятия решения рассматривается алгоритм предсказания существования рёбер в графе на основании информации об уже известных рёбрах.

Таким образом, построив на основании имеющихся данных граф онтологии, с помощью такого алгоритма можно получить информацию о потенциальных новых, неизвестных рёбрах графа и, как следствие, о новых взаимосвязях в предметной области.

Формальная постановка задачи. Рассмотрим граф $G = (V, E)$, где $V = \{v_1, \dots, v_N\}$ – непустое конечное множество вершин графа, E – множество пар вершин (рёбер графа).

Необходимо разработать алгоритм A построения новых рёбер в графе, который на основании графа $G = (V, E)$ строит граф $G' = (V, E')$, такой что $E \subset E'$, и новые рёбра $e \in E' \setminus E$ являются интерпретируемыми, т.е. соответствующая им информация о предметной области имеет смысл.

Таким образом, алгоритм A относится к классу генеративных алгоритмов, которые в свою очередь являются частью подхода обучения без учителя в области машинного обучения.

Одним из наиболее эффективных генеративных алгоритмов в настоящее время является генеративно-состязательная сеть.

Общее описание подхода генеративно-состязательных сетей. Генеративно-состязательная сеть состоит из двух обучаемых блоков: генератора Gen и дискриминатора D . В качестве данных для построения алгоритма используется набор образцов $S = \{s_1, \dots, s_M\}$, где M – количество образцов. Каждый образец $s_i \in \mathbb{R}^N$, где N – размерность образцов.

Генератор получает на вход вектор случайных действительных чисел, а на выходе выдаёт вектор действительных чисел, в общем случае, другой размерности:

$$Gen : \mathbb{R}^K \rightarrow \mathbb{R}^N,$$

где K – размерность входных векторов, N – размерность выходных векторов. При этом распределение входных векторов $\alpha = N(0,1)$, а распределение выходных векторов β зависит от решаемой задачи.

Дискриминатор получает на вход вектор действительных чисел размерности N , а на выходе формирует вероятность того, что входной вектор относится к множеству образцов S :

$$D : \mathbb{R}^N \rightarrow [0,1].$$

Цель генератора – формировать вектора, которым дискриминатор присвоит высокую вероятность принадлежности к S .

Цель дискриминатора – возвращать 1 для векторов, принадлежащих S , и 0 – для всех остальных векторов.

Таким образом, общая целевая функция для генеративно-сопоставительной сети имеет вид [6]:

$f(Gen, D) = M_{x \in \alpha} [\log(1 - D(Gen(x))] + M_{y \in \beta} [\log D(y)]$, где $M[X]$ – математическое ожидание величины X .

При этом решается следующая задача оптимизации: $\min_{Gen} \max_D f(Gen, D)$. Решая противоположные задачи, генератор и дискриминатор могут войти в состояние равновесия так, чтобы распределение результатов работы генератора β было близко к распределению γ , из которого сделана выборка образцов S .

Основная сфера использования генеративно-сопоставительных сетей – это создание новых изображений на основе конечного набора образцов. При этом алгоритм возможно настроить таким образом, что новые изображения воспринимаются человеком как принадлежащие тому же распределению, что и образцы, например – тому же классу объектов и т.д.

При этом стандартная структура для построения генератора и дискриминатора – это свёрточная искусственная нейронная сеть, позволяющая эффективно обрабатывать информацию в виде изображений [2, 8, 11, 12].

Описание алгоритма построения новых рёбер в графе с использованием генеративно-сопоставительной сети. Для того, чтобы использовать генеративно-сопоставительную сеть для обработки данных, представленных в графе онтологии, необходимо на базе графа построить набор образцов S . При этом важным требованием является то, чтобы количество образцов было достаточно большим, так как иначе нельзя ожидать сходимости обучения генеративно-сопоставительной сети.

В данной работе рассматривается следующий способ построения S из графа $G = (V, E)$: для заданного множества вершин V строится множество всех возможных рёбер \hat{E} , на базе которого строится множество X , каждый элемент которого состоит из трёх компонент, так что первые два компонента соответствуют элементу множества \hat{E} , а третий, последний, компонент – это признак того,

входит ли элемент \hat{E} в E . Из полученного множества X случайным образом выбирается n элементов, после чего из отдельных компонентов этих элементов формируется один образец из S . Данная операция повторяется M раз, после чего в S входит M элементов, каждый из которых имеет размерность $N = 3n$, что соответствует вышеописанным условиям для использования S при обучении генеративно-состязательной сети. Для удобства дальнейшей обработки все значения отдельных компонент образцов масштабируются к отрезку $[0, 1]$.

Для того, чтобы отдельные образцы в S отличались друг от друга, необходимо выполнение условия $N \ll \|X\| = \|\hat{E}\|$, или, с учётом того, что в \hat{E} входят все возможные рёбра, $N \ll 0,5\|V\|(\|V\| - 1) < \|V\|^2$. При этом N должно быть достаточно большим, чтобы структуры генератора и дискриминатора не были вырожденными, т.е. слишком простыми, таким образом, данный метод построения S применим только в случае достаточного количества вершин в графе онтологии.

Полученный таким образом набор образцов S может быть использован для обучения генеративно-состязательной сети. При этом генератор и дискриминатор не обязаны быть свёрточными искусственными нейронными сетями, достаточно использовать полносвязные нейронные сети прямого распространения. Размерность K входных векторов генератора, а также все параметры искусственных нейронных сетей генератора и дискриминатора являются гиперпараметрами полученной модели.

Используемая метрика. Одной из часто используемых метрик производительности генеративно-состязательных сетей является FID, то есть Fréchet Inception Distance [7]. Данная метрика использует предобученную свёрточную нейронную сеть Inception v3 для получения цифровых представлений образцов и сгенерированных изображений, после чего сравнивает распределения этих цифровых представлений.

Данная метрика напрямую неприменима к рассматриваемой модели, так как образцы не являются изображениями того формата, на которых обучена сеть Inception v3, и цифровые представления, полученный с её помощью не содержат в себе характеристик образцов.

Однако, образцы рассматриваемого формата сами по себе могут быть использованы как значения некоторой случайной величины, что позволяет напрямую вычислить расстояние Фреше [5] или, что то же самое, метрику Васерштейна [1], между распределением образцов и распределением сгенерированных векторов:

$$d = \|m_1 - m_2\|^2 + \text{Tr}(C_1 + C_2 - 2\sqrt{C_1 C_2}),$$

где m_1 и m_2 – поэлементные средние элементов распределений, C_1 и C_2 – матрицы ковариации для элементов распределений.

Описание проведённых вычислительных экспериментов и их основные результаты. В качестве первоначальных данных использовалась плохо структурированная информация об отрасли производства металлических материалов и готовых изделий. На основании этой информации был построен граф онтологий, включающий в себя около трёхсот вершин и около пятисот рёбер.

Численное моделирование проводилось с использованием языка программирования Python и библиотеки Keras [3].

В рамках серии проведённых вычислительных экспериментов были опробованы различные наборы значений гиперпараметров. Для части значений не удалось добиться сходимости обучения генеративно-состязательной сети, для части гиперпараметров были найдены множества значений, при которых модель ведёт себя одинаково.

Ниже представлены результаты для следующих значений гиперпараметров: размерность образцов и выходных векторов генератора $N = 3000$, количество образцов $M = 1000$, размерность входных векторов генератора $K = 100$.

Структура искусственной нейронной сети генератора имеет вид: 100 нейронов во входном слое, 250 нейронов в первом скрытом слое, 1000 нейронов во втором скрытом слое, 3000 нейронов в выходном слое.

Структура искусственной нейронной сети дискриминатора имеет вид: 3000 нейронов во входном слое, 1500 нейронов в первом скрытом слое, 500 нейронов во втором скрытом слое, 50 нейронов в третьем скрытом слое, 1 нейрон в выходном слое (так как дискриминатор решает задачу бинарной классификации).

В качестве алгоритма оптимизации в обеих искусственных нейронных сетях используется Adam [4], но с разными скоростями обучения: 0,001 для генератора и 0,0001 для дискриминатора.

Активационные функции в скрытых слоях обеих искусственных нейронных сетей – линейные выпрямители с «утечкой» (Leaky ReLU) [9,10] с коэффициентом 0,2. Активационные функции выходных слоёв: для генератора – линейная, для дискриминатора – сигмоида.

В результате обучения в течение пяти эпох модель достигает состояния равновесия между генератором и дискриминатором (рис. 1, 2).

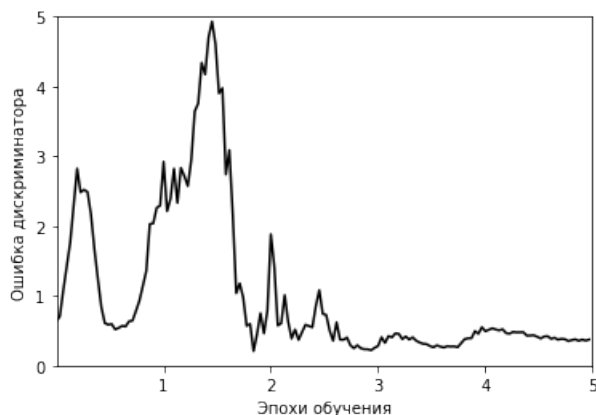


Рисунок 1 – Ошибка дискриминатора

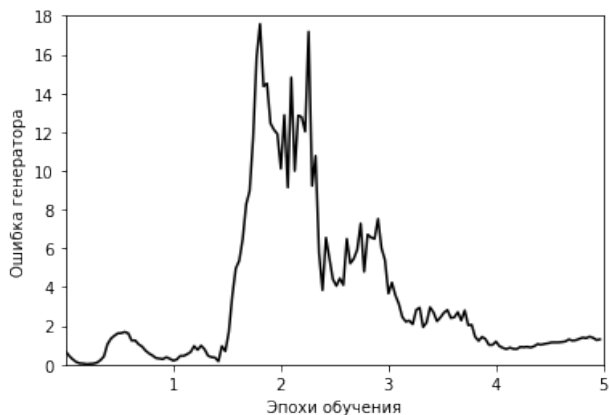


Рисунок 2 – Ошибка генератора

Для интерпретации полученных результатов был проведен анализ значения метрики производительности (расстояния Фреше) между набором образцов и равным ему по размеру набором сгенерированных векторов, а также значения метрики производительности между обоими этими наборами и синтетическими наборами: первый состоял только из нулей, второй – только из единиц, третий – из случайных чисел, взятых из равномерного распределения на отрезке $[0, 1]$. Усреднённые по серии экспериментов значения метрики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение значений метрики для различных наборов

	Образцы	Сгенерированные данные	Нули	Единицы	Случайные значения
Образцы	X	70	20	400	60
Сгенерированные данные	470	X	60	2700	730
Нули	620	60	X	3000	830
Единицы	1400	2700	3000	X	830
Случайные значения	260	730	830	830	X

Рассматривая пространство образцов и сгенерированных векторов, обо-

значим среднее значение для образцов как s , среднее значение для сгенерированных векторов как g , среднее значения для случайных векторов – r , вектор нулей – 0 . Тогда, обозначая значение метрики между точками a и b как $d(a, b)$, можно заметить, что $d(r, 0) \approx d(r, s) + d(s, 0) \approx d(r, g) + d(g, 0)$. Соответственно, можно считать, что точки r , s , g и 0 приближённо лежат на одной прямой (рис. 3).



Рисунок 3 – взаимное расположение точек r , s , g и 0

Таким образом, несмотря на то, что на вход генератора подаются случайные числа, выходные вектора уже не являются случайными при сравнении их с образцами, то есть рассматриваемая генеративная модель решает поставленную задачу.

Выводы и планы дальнейших исследований. В данной работе показано, что модель машинного обучения, основанная на генеративно-сопоставительных сетях, применима для решения задачи предсказания существования рёбер в графе онтологии.

Дальнейшие исследования модификаций рассмотренной модели могут привести к повышению качества её работы, то есть к уменьшению расстояния Фреше между образцами и сгенерированными векторами. Возможные направления модификаций: изменения структур искусственных нейронных сетей генератора и дискриминатора, добавление дополнительных блоков, кроме генератора и дискриминатора, изменения метода преобразования данных из графа онтологии в набор образцов.

Имеет смысл рассмотрение других метрик для оценки качества работы модели и сравнение значений нескольких метрик при принятии решений о модификации модели.

Также для оценки эффективности данной модели необходимо разработать и протестировать другие алгоритмы предсказания существования рёбер и сравнить их эффективность как с помощью общих метрик, так и с помощью привлечения экспертов в соответствующей предметной области.

Литература

1. Васерштейн Л.Н. Марковские процессы на счетном произведении пространств, описывающие большие системы автоматов // Проблемы передачи информации. 1969. Том 5. № 3. С. 64-72.
2. Brock A., Donahue J., Simonyan K. Large scale GAN training for high fidelity natural image synthesis // International Conference on Learning representations. 2019.
3. Deep learning for humans [Электронный ресурс]. URL: <https://keras.io> (дата обращения: 01.06.2020).

4. Diederik K., Ba J.L. ADAM: a method for stochastic optimization // AIP Conference Proceedings. 1631. 2014. PP. 58-62.
5. Fréchet M. Sur la distance de deux lois de probabilité // C. R. Acad. Sci. Paris, 244. 1957. PP. 689-692.
6. Goodfellow I., Pouget-Abadie J., Mirza M., Xu B., Warde-Farley D., Ozair S., Courville A., Bengio Y. Generative adversarial nets // Advances In Neural Information Processing Systems 27 (NIPS 2014). 2014. PP. 2672-2680.
7. Heusel M., Ramsauer H., Unterthiner T., Nessler B., Hochreiter S. GANs Trained by a Two Time-Scale Update Rule Converge to a Local Nash Equilibrium // Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017). 2017. PP. 6626-6637.
8. Karras T., Aila T., Laine S., Lehtinen J. Progressive growing of GANs for improved quality, stability, and variation // International Conference on Learning Representations. 2018.
9. Maas A. L., Hannun A. Y., Ng A. Y. Rectifier nonlinearities improve neural network acoustic models // ICML 2013 – 30th International Conference on Machine Learning (ICML). June 16-21. Atlanta. Georgia. Proceedings. 2013.
10. Pedamonti D. Comparison of non-linear activation functions for deep neural networks on MNIST classification task // CoRR. 2018. Vol. abs/1804.02763.
11. Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/jihoonerD/Unsupervised-Representation-Learning-with-Deep-Convolutional-Generative-Adversarial-Networks> (дата обращения: 26.11.2020).
12. Wu X., Xu K., Hall P. A survey of image synthesis and editing with generative adversarial networks // Tsinghua Science and Technology. 2017. Vol. 22. N. 6. PP. 660-674.

УДК 004.056.55

Применение стеганографии в корпоративной среде

П.Б. Хорев, кандидат технических наук, профессор кафедры
«Прикладной математики и искусственного интеллекта»,

А.В. Сергеев, аспирант кафедры «Прикладной математики
и искусственного интеллекта»,

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

В работе проанализированы основные виды учетных записей, возникающие при их использовании риски информационной безопасности; предложена модель использования стеганографии в качестве одного из метода внедрения системы учета действий привилегированных учетных записей и передачи собранной информации

Привилегированный доступ, компьютерная стеганография, нулевое доверие, сокрытие данных.

Application of steganography in the corporate environment

P.B. Khorev, PhD of Science, professor, head of Applied Mathematics Chair
and Artificial Intelligence,

A.V. Sergeev, graduate of the Department of Applied Mathematics
and Artificial Intelligence

National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow

In this article analyzes the main types of accounts, information security risks arising from their use, and suggests a model for using steganography as one of the methods for implementing a system for recording the actions of privileged accounts and transmitting the collected information.

Privileged access, computer steganography, zero trust, data hiding.

В связи с увеличением роли информационных технологий (ИТ) увеличилось и количество информации, которое нуждается в обработке и защите. В связи с этим увеличилась и потребность в ИТ-специалистах и специалистах по информационной безопасности.

Главную роль в управлении информационной безопасностью играют сотрудники соответствующих подразделений предприятий и организаций. Однако сотрудники, отвечающие за информационную безопасность корпоративных информационных систем, разделяют обязанности по администрированию таких систем с системными администраторами.

Для выполнения своих должностных обязанностей и поддержания рабо-

тоспособности информационной системы для таких пользователей создаются привилегированные учетные записи с расширенными правами доступа.

Примеры привилегированных учетных записей:

- Учетная запись суперпользователя (например, root в Unix-подобных операционных системах): учетная запись, используемая администраторами информационной системы, которая может использоваться для настройки системы или приложения, добавления или удаления пользователей, удаления или обновления данных. Такая учетная запись имеет неограниченные и не ограничиваемые права доступа к ресурсам информационной системы.

- Учетная запись администратора домена корпоративной компьютерной сети: учетная запись, обеспечивающая привилегированный административный доступ ко всем пользователям, группам, рабочим станциям и серверам в домене. Этим учетных записей обычно немного, но они обеспечивают наиболее обширный и надежный доступ по сети. Права такой учетной записи могут быть ограничены, но обычно этого не делается.

- Локальная административная учетная запись: эта учетная запись расположена на конечной точке или рабочей станции и использует комбинацию имени пользователя и пароля. Это помогает пользователям получать доступ и вносить изменения в свои локальные машины или устройства.

- Ключи SSH: SSH – это широко используемые протоколы управления доступом, которые обеспечивают прямой неограниченный (подобный учетной записи root) доступ к критически важным ресурсам системы.

- Учетная запись для чрезвычайных ситуаций: эта учетная запись предоставляет пользователям административный доступ к защищенным ресурсам в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

- Привилегированный бизнес-пользователь: пользователь который работает вне ИТ блока, но имеет доступ к конфиденциальным ресурсам. Это может быть тот, кому нужен доступ к финансам, кадровым ресурсам (HR) или маркетинговым системам.

На сегодняшний момент большинство сложных атак основаны на использовании привилегированных учетных записей для получения доступа к наиболее ценным конфиденциальным данным, приложениям и элементам информационной инфраструктуры. Но даже неумышленное неправильное использование прав таких учетных записей может нанести большой ущерб владельцам бизнеса или руководителям организаций.

За последнее десятилетие произошло множество нарушений безопасности, связанных с применением учетных записей с привилегированным доступом. В качестве примера таких случаев стоит выделить Терри Чайлдса [1], Эдварда Сноудена [2], Yahoo! [3], нападение на Бангладешский банк [4] и атака на энергосистему Украины [5], и даже широко разрекламированное нарушение Uber [6]. Каждую ситуацию объединяет то, что привилегированные учетные записи использовались для выполнения кибератаки.

Управление такого рода уязвимостью организации внедряют методы управления привилегированным доступом (Privileged Access Management, PAM). Методы PAM относятся к комплексной стратегии обеспечения информационной

безопасности, включающей правила поведения сотрудников, процессы и технологии для контроля, мониторинга, защиты и аудита всех привилегированных действий в корпоративной информационной среде.

Организации, применяя принцип наименьших привилегий, пытаются противостоять будущим атакам. Таким образом, принцип наименьших привилегий может уменьшить множество ресурсов, затронутых атакой, и снизить информационный риск от злонамеренных действий различных нарушителей, которые могут привести к утечке данных. Однако многие риски так и останутся актуальными, то есть превышение полномочий, утечка данных, неавторизованное использование учетной записи и так далее.

Важным этапом внедрения системы РАМ, которые и повлияют на эффективность этой системы, следует определить два фактора:

- ответственные сотрудники;
- факт использования системы РАМ.

Ответственные сотрудники – это различные группы сотрудников от системных администраторов до работников службы информационной безопасности. Поскольку для сотрудников службы информационной безопасности и системных администраторов в большинстве случаев создаются привилегированные учетные записи, то передать им в управление систему РАМ будет явным нарушением концепция «нулевого доверия».

Факт использования системы РАМ может подтолкнуть сотрудников [2] искать путь обхода мониторинга, нахождению «слепых зон» и иные способы сокрытия своих намерений.

Для решения этой проблемы предлагается рассмотреть метод внедрения системы РАМ с использованием методов компьютерной стеганографии. Стеганографии – наука, которая изучает методы скрытого хранения или передачи информации внутри других данных (стеганографических контейнеров). Большая часть методов компьютерной стеганографии использует в качестве контейнеров изображения, видеоклипы, музыку, звуки и тексты. Стеганография используется для защиты авторских прав [7], тайной передаче информации [8-9] или обходе средств защиты информации [10].

Использование стеганографию в качестве основного метода инициализации системной службы РАМ позволит осуществить скрытую установку агентов этой службы на клиентскую машину сотрудника. В качестве контейнера предлагается рассмотреть один из популярных форматов, использующих в корпоративной среде – PDF.

PDF имеет богатый внутренний функционал и поддерживает JavaScript, что позволяет под различные ситуации запускать определенные сценарии. На рисунке 1 отображена схема инициализации системы РАМ. Клиентам отправляется документ PDF с заложенным сценарием JavaScript, с последующим вызовом PowerShell. JavaScript получает путь файла pdf (если он был скачен) и обращается к PowerShell, в зависимости от алгоритма, извлекаем дистрибутив системы РАМ с последующей установкой.

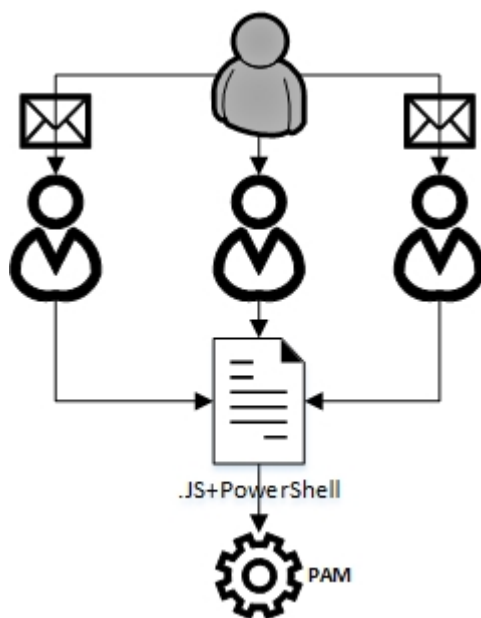


Рисунок 1 – Схема обмена информацией

База данных, которую собирает система PAM, может располагаться в виде зашифрованных файлов в хранилище временных файлов локальной компьютерной системы. Отправка данных напрямую на сервер или конкретную машину домена компьютерной сети может быть обнаружена в любой момент.

Предлагается рассмотреть вариант обмена информацией с использованием компьютерной стеганографии и средств корпоративной электронной почты (например, Microsoft Outlook).

В момент написания нового письма или создания ответного письма к телу сообщения добавляется стегоконтейнер, частично заполненный информацией из базы данных PAM. При этом следует учитывать и соблюдать пропорции объемов письма и вложенных данных. Если при отправке сообщение будет иметь размер в несколько мегабайт (что приведет к заметной задержке при отправке такого письма), то обнаружить скрытый канал передачи информации не составит большого труда.

Поэтому предлагается использовать правило 80/20, при котором объем письма не может быть увеличен более чем на 20%. На рисунке 2 отображена схема обмена информацией между сотрудником с привилегированным доступом и ответственным за PAM сотрудником.

Каждая копия отправленных писем хранится в выделенном хранилище на почтовом сервере, где ответственное лицо имеет возможность обратиться к ним для анализа. Используя заранее подготовленный стегоключ, только ответственный сотрудник сможет получить полную базу данных, сформированную системой PAM. В зависимости от того, какой метод стеганографического скрытия информации будет применен, алгоритм обнаружения стегоконтейнера среди всех полученных писем будет искать метку и контрольную сумму стегоконтей-

нера.

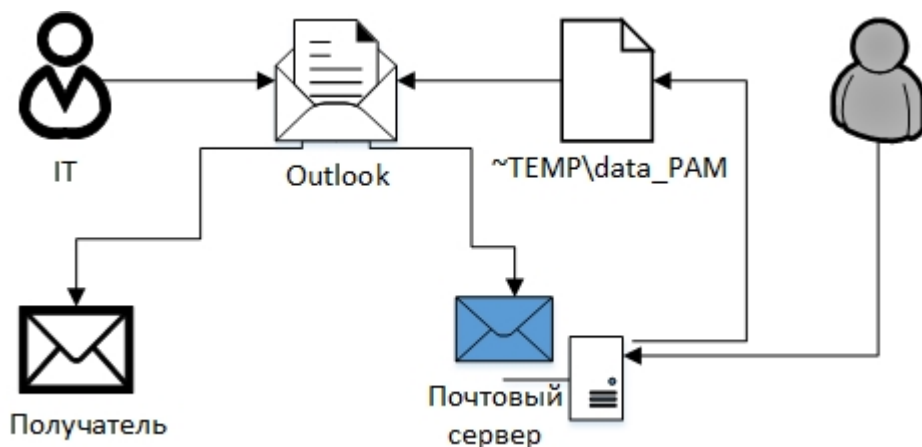


Рисунок 2 – Схема обмена информацией

Проанализировав формат Outlook Mail Message (.msg) стоит выделить, что формат представляет иерархическую коллекцию объектов хранения и потоковых объектов, содержащие свойства и коллекции свойств. Свойства определяют атрибуты объекта, такие как адрес электронной почты отправителя, время, запрос на прочтение, имя файла вложения, ip адреса, данные LDAP, xml разметку и т.д.

Для сокрытия информации предлагается использовать несколько вариантов использования стегоконтейнера:

- редактируя атрибуты объектов
- добавлять атрибуты объектов
- добавить данные в конец файла
- добавить данные в xml

Основной задачей данной работы является анализ создание модели внедрения системы РАС с максимально эффективной эксплуатацией, нацеленной на изучение и выявление рисков ИБ, а также своевременных принятие мер в расследовании инцидентов.

Подобный подход позволит с большей вероятностью получать достоверную информацию об активности привилегированных учетных записей и предотвратить возможный саботаж со стороны их владельцев или утечку конфиденциальных данных.

Стеганографии – наука, изучающая способы и методы сокрытия конфиденциальных сведений (сообщений) в так называемых контейнерах.

Формат PDF, созданный Adobe Systems [1] для обмена документами, представляет собой формат фиксированной компоновки для представления документов способом, не зависящим от прикладного программного обеспечения, аппаратного обеспечения и операционной системы.

Как можно заметить из таблицы 2 преобладающим количеством значе-

ний параметров обладает оператор T_j , но из-за необходимости контроля энтропии в документе PDF, используемом в качестве стеганографического контейнера, максимальный объем скрываемого сообщения сокращается.

В дальнейшей работе предлагается рассмотреть метод смешанного внедрения сообщений, позволяющий использовать все операторы, используемые в pdf документе.

Литература

1. Jahchan G.J. Privileged User Management // Information Security Management Handbook. 2011. V. 5. Pp. 37.
2. CIO. Identifying Your Company's Edward Snowden [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cio.com/article/3138484/identifying-your-company-s-edward-snowden.html> (дата обращения 30.09.2020 г).
3. The CyberArk Blog The Yahoo Breach: Privileged Account Compromise Revealed [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cyberark.com/resources/blog/the-yahoo-breach-privileged-account-compromise-revealed> (дата обращения 30.09.2020 г).
4. Suparna Goswami The Cybersecurity Challenges for Banks in Bangladesh [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bankinfosecurity.asia/interviews/cybersecurity-challenges-for-banks-in-bangladesh-i-4599> (дата обращения 30.09.2020 г).
5. FireEye Cyber-attacks on the Ukrainian grid [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fireeye.com/content/dam/fireeye-www/global/en/solutions/pdfs/fe-cyber-attacks-ukrainian-grid.pdf> (дата обращения 30.09.2020 г).
6. Haber M.J., Rolls D. Identity Attack Vectors // Identity Attack Vectors. Apress. Berkeley. CA. 2020. Pp. 107-116.
7. Oleshchenko V., Pevnev V. Development of digital steganography techniques for copyright protection, based on the watermark // Сучасні інформаційні системи. 2017. № 1. С. 57-60.
8. Nassar S.S. et al. Secure wireless image communication using LSB steganography and chaotic baker ciphering // Wireless Personal Communications. 2016. Т. 91. № 3. Pp. 1023-1049.
9. Sergeev A.V., Khorev P.B. Review of the algorithms steganography in PDF documents and analysis // 2020 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). IEEE. 2020. Pp. 1-4.
10. Abarca S. An analysis of network steganographic malware. Dept. Master Sci. Cybersecur. Utica College. Utica. NY. USA. Tech. Rep. 2018.

УДК 05.13.01

Использование технологий Big Data для оценки стоимости недвижимости

Н.И. Царькова, кандидат педагогических наук, доцент кафедры
«Прикладная информатика»,

О.С. Конова, магистрант 2 курса,
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва

Основная цель статьи – показать на практике возможности технологий Big Data и проанализировать ситуацию на рынке недвижимости. В качестве примера используются данные онлайн площадок по купле/продаже недвижимости, содержащие в себе порядка миллиона строк. Для исследования рынка была произведена качественная оценка сложившейся ситуации в России в 2020 году с учётом последних событий. Исходные данные были использованы для поверхностного анализа и предварительной оценки складывающейся стоимости недвижимости в городе по административным округам. Анализ проводился при помощи языка программирования Python. Полученные результаты исследования были визуализированы с использованием возможностей программных средств. Произведено сравнение результатов проведённого анализа для определения дальнейших целей исследовательской работы.

Большие данные, рынок недвижимости, аналитика, обработка данных, python.

Using Big Data technologies for real estate valuation

N.I. Tsarkova, candidate of pedagogical Sciences, associate Professor of the department of «Applied Informatics»,

O.S. Konova, 2nd year master's student, Moscow Polytechnic University, Moscow

The main purpose of the article is to show in practice the capabilities of Big Data technologies and analyze the situation on the real estate market. As an example, we use data from online real estate purchase/sale sites that contain about a million lines. For market research, a qualitative assessment of the current situation in Russia in 2020 was made, taking into account recent events. The initial data were used for a superficial analysis and preliminary assessment of the emerging value of real estate in the city by administrative districts. The analysis was performed using the Python programming language. The results of the study were visualized using the capabilities of software tools. The results of the analysis are compared to determine the further goals of the research work.

Big Data, real estate market, analytics, data processing, python.

Введение

В современном обществе наблюдаются высокие темпы накопления электронной информации. Она хранится в базах данных, системах хранения, файлах на персональных компьютерах пользователей и т.д. Обработкой информации интересуются всё больше как крупных компаний, так и небольших предпринимателей. Основными лидерами, по использованию методов обработки Big Data являются такие отрасли, как: медицина, инженерия, телекоммуникации, маркетинг, финансовая сфера, видео аналитика и распознавание лиц, а также государственное управление. Это связано с тем, что направление обработки и анализа данных активнее всего развивается в тех компаниях, где уже накоплены достаточно крупные массивы информации. Однако нельзя назвать отрасль, где технология обработки Big Data не потребуется в будущем, т.к. информатизация захватывает абсолютно каждую сферу жизни и деятельности человека.

Обработка больших данных в секторе недвижимости стала использоваться сравнительно недавно. В настоящее время для данной отрасли стали использовать более детализированные алгоритмы анализа информации о стоимости, тенденциях приобретения и продаже недвижимости, начали применять в моделях дополнительные характеристики, например, транспортную ситуацию, демографический состав районов, качество воздуха и т.д. [1, с. 503-504].

Основной раздел

В настоящее время темпы строительства новых жилых домов и целых комплексов настолько велики, что возникает вопрос в целесообразности увеличения количества жилых площадей. Застройщики с каждым годом занимают площадки для новых построек в самых различных регионах, и, по данным федеральной службы государственной статистики, вводят в эксплуатацию всё больше квартир [2].

Большая часть потребителей вынуждена брать ипотеку для того, чтобы удовлетворить одну из основных человеческих потребностей – получить крышу над головой [3, с. 128-130]. В 2019 году ипотечный рынок значительно замедлился: количество одобренных ипотечных кредитований снизилось. В 2020 году наблюдается другая тенденция – снижение процентных ставок на ипотеку. 2020 год стал рекордным по количеству выданных ипотечных кредитов по сравнению 2018 годом, занимавшим до этого первое место. Главным образом это стало следствием запуска новой льготной программы ипотечного жилья. Кроме того, большое влияние оказали банки, которые стали придерживаться политики повышения доступности жилья для более обширного круга заемщиков, чем ранее. При этом ставка кредитования была понижена не только для вторичного рынка недвижимости, но и для новостроек.

Однако снижение процента ипотеки до 6,1 пункта привело к резкому повышению цен на новостройки – в среднем на 10-12 процентов. Таким образом, понижение ставки не сделало жильё доступным, как планировало государство, а лишь запустило новую волну роста цен на квартиры со стороны застройщиков и, соответственно, частных продавцов.

Весьма неблагоприятная ситуация с COVID-19 сильно отразилась на экономической обстановке в стране. Значительная часть населения лишилась

основных источников дохода в связи с потерей работы. При этом финансовые организации провели ужесточение требований к своим заёмщикам, для отсеивания неплатёжеспособных и ненадежных клиентов. Теперь для получения ипотеки необходимо соответствовать ещё большему ряду требований, чем ранее: необходимый стаж работы увеличен, минимальный кредитный рейтинг повышен и т.д. Из-за этого могут позволить себе взять ипотеку ещё меньший круг людей, чем был ранее.

Все вышеперечисленные факторы могут привести к ситуации, когда уже готовые жилые помещения не реализуется из-за высокой стоимости, низких доходов населения, но при этом новые дома продолжают строиться. Кроме этих, существует масса других разнообразных факторов, которые могут оказывать влияние на стоимость, количество и спрос на недвижимость в стране.

Для определения сложившейся ситуации на рынке недвижимости необходимо провести анализ при помощи технологий Big Data, который можно использовать для составления карт стоимости жилых помещений, определения степени влияния различных факторов на конечную стоимость [4, с. 38-40], нахождения предпочтительных мест для дальнейших строительных работ, обнаружение неисследованных ранее факторов, оказывающих влияние на ценообразование.

Для проведения анализа рынка недвижимости используется массив информации, содержащий в себе информацию о продавце, точном адресе и географических координатах (долгота/широта), этажность дома и положение квартиры, количество комнат, планировка, жилая и техническая площадь, удалённость от метро (при наличии нескольких станций – указывается расположение каждой отдельно), типе дома и т.д. Дата-сет содержит большое количество дополнительных полей, которые можно использовать при дальнейшем анализе.

Корректный набор данных очень важен для получения правдоподобных результатов анализа, т.к. от него напрямую зависят итоги работы [5]. Неверный способ обработки, недостаточное количество наблюдений, «грязные» или неполные данные могут привести к такой ситуации, когда результат анализа не является отражением действительного положения вещей. Это может привести к неверным выводам, и, как следствие, стать серьёзной ошибкой в планировании деятельности организации. На основе разрозненных или недостоверных данных решать аналитические задачи эффективно невозможно.

При обработке массива информации для исследования рынка недвижимости целесообразнее всего использовать языки программирования, которые не только не имеют явных ограничений в количестве возможных загружаемых и обрабатываемых данных, но и позволяют провести анализ намного быстрее, чем общеизвестные прикладные программы. Мощными инструментами для решения задач, связанных с обработкой Big Data, являются язык программирования Python и продукт от Microsoft – Power BI [1, с. 504; 6, с. 493].

Для анализа было использовано около миллиона строк, полученных по данным онлайн площадок по купле-продаже недвижимости. Такой набор данных позволит получить более точные итоговые значения в результате проведённого анализа. Что бы начать работу над данными, первоначально необходимо

импортировать файл. Для этого используется подключаемая библиотека Pandas, которая имеет огромный функционал, предназначенный для первичной обработки информации и последующего анализа данных. Для примера содержания датасета приведена мини-выборка из 5 строк (рис. 1).

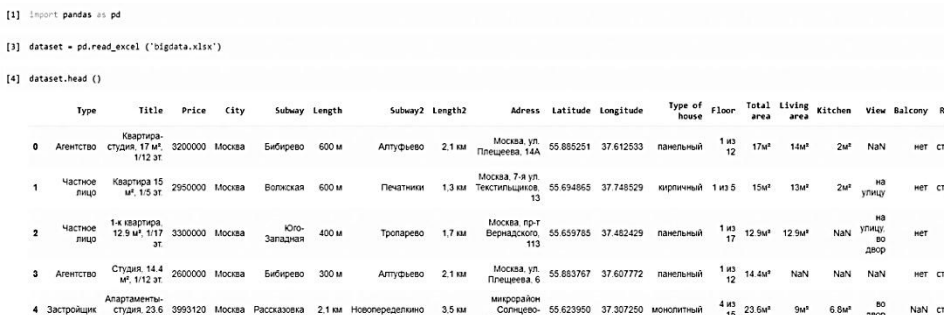


Рисунок 1 – Результат просмотра файла

Для того, что бы проследить динамику цен на новостройки в Москве за последние пять лет, была построена линейная диаграмма (рис. 2). Она отражает то, как изменялась стоимость квадратного метра площади в Москве за последние годы. По графику чётко видно, что, несмотря на активное строительство и увеличивающееся количество застройщиков (следовательно, конкуренция за клиента тоже возрастает), цены за квадратный метр недвижимости продолжают расти и, судя по всему, до сих пор не достигли своего пика.

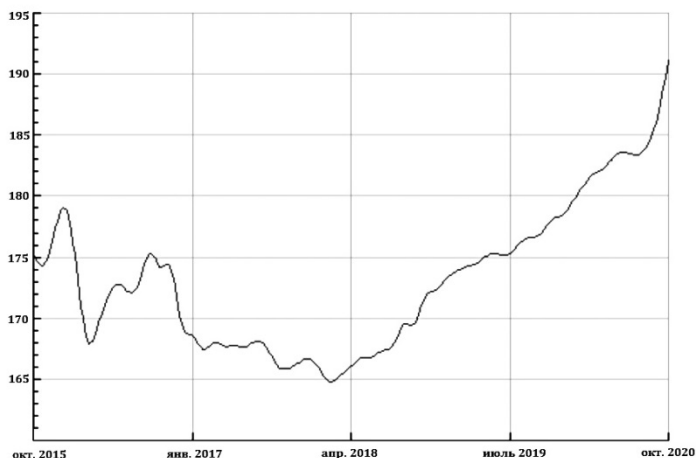


Рисунок 2 – Средняя цена 1 кв. м общей площади квартир на рынке первичного жилья в Москве, тыс. руб.

Для оценки сложившейся картины на рынке недвижимости в 2020 году был проведён анализ стоимости жилых площадей в городе Москва. Для этого на первом этапе работы была произведена подготовка, оценка качества и очистка

данных от дубликатов (дедубликация), выбросов и пустых строк и нормализация.

После этого было принято решение разбить имеющиеся данные на небольшие подкатегории для визуальной оценки ситуации. Для этой цели по каждому объекту недвижимости по его расположению был определён административный округ, в котором он располагается. Для построения первоначальной описательной модели было вычленено девять округов (Зеленоградский, Троицкий и Новомосковский округа были исключены из выборки). Данная выборка создана благодаря возможностям Python, который позволил найти, отсортировать и присвоить необходимые значения по условиям принадлежности домов к тому или иному району. Основным условием разбиения на округа стало расположение на карте относительно станций московского метрополитена, которые разбросаны по всей Москве. При оценке дата сета было выявлено, что в нём так же находятся предложения по аренде квартир. Поэтому записи, содержащие в себе объявления о сдаче недвижимости посуточно и на длительный срок, были исключены из выборки, что бы убрать аномально низкие цены. Для каждой строки, при помощи математических функций Python, была вычислена стоимость 1 квадратного метра. Для полученных данных дополнительно была составлена матрица, в которой отражены административные округа и средняя стоимость квадратного метра.

Проведя анализ результатов, был сделан вывод, что наиболее дорогостоящим округом является центральный, второе и третье место с небольшим разбросом занимают западный и северный административные округа. На рисунке 3 изображена гистограмма с группировкой, отражающая среднюю стоимость одного квадратного метра продаваемой недвижимости по разным административным округам Москвы.



Рисунок 3 – Средняя стоимость 1 кв. по округам Москвы

Такое распределение цены может быть обусловлено множеством факторов, таких как: близость к центру города, инфраструктурой, транспортной доступностью, престижностью и исторической ценностью района и т.д. Выявление факторов, которые оказывают наибольшее влияние на изменение стоимости в дальнейшем необходимо для проведения полноценного анализа.

Однако высокая стоимость квадратного метра недвижимости не гарантирует того, что арендная ставка будет соответствующая. Для проверки данной гипотезы был проведён анализ стоимости аренды квартир по городу. При этом была организована аналогичная разбивка по административным округам и составлена матрица для удобства дальнейшей визуализации полученных итогов. На рисунке 4 изображена гистограмма с группировкой, показывающая среднюю стоимость арендной платы по разным административным округам Москвы.



Рисунок 4 – Средняя стоимость аренды по округам Москвы

По графику видно, что первые три места распределены аналогично тому, что показал анализ стоимости квадратного метра в разных округах. При этом видно, что стоимость аренды в западном административном округе намного выше, чем в северном (более чем на 22 тысячи), хотя при анализе средней цены за квадратный метр между ними был разрыв менее одной тысячи рублей. Начиная с четвёртой позиции, картина резко изменяется и соответствие между стоимостью площади и аренды пропадает вообще. Можно сделать вывод, что стоимость квадратного метра не завязана на стоимости аренды, и наоборот.

При изучении полученных итогов и сравнении исходных данных было выявлено, что выведенная средняя стоимость может сильно исказиться в том случае, если в данных присутствует очень большой ценовой разброс. С данными подобного рода этого избежать довольно сложно из-за частой не объективной оценки недвижимости, а это, в свою очередь, может сильно повлиять на картину в целом. Для подтверждения данного предположения было принято решение произвести расчёт медианных значений для стоимости квадратного метра и аренды с той же разбивкой по административным округам города. Полученные результаты представлены на рисунках 5 и 6.

На гистограммах видно, что конечный результат сильно изменился вследствие смены способа расчёта среднего значения. Результаты нахождения медианного значения существенно отличаются от тех, которые были просчитаны по среднему арифметическому. Например, разница между рассчитанной средней и медианной стоимостью одного квадратного метра жилья в центральном административном округе составила чуть больше 39 тысяч рублей. Это говорит о том, что разброс стоимости недвижимости достаточно велик, следова-

тельно, при дальнейшем анализе рациональнее отталкиваться от полученных медианных значений.

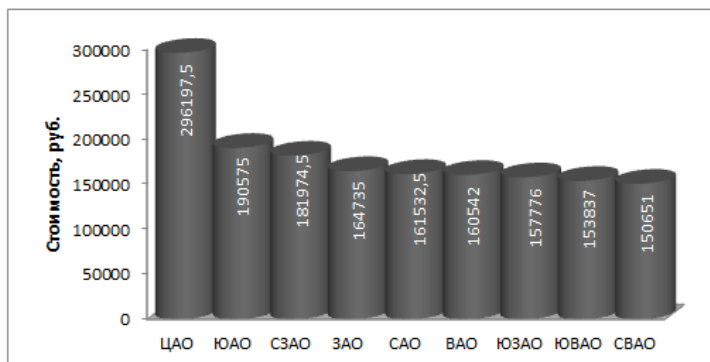


Рисунок 5 – Медианная стоимость 1 кв. по округам Москвы

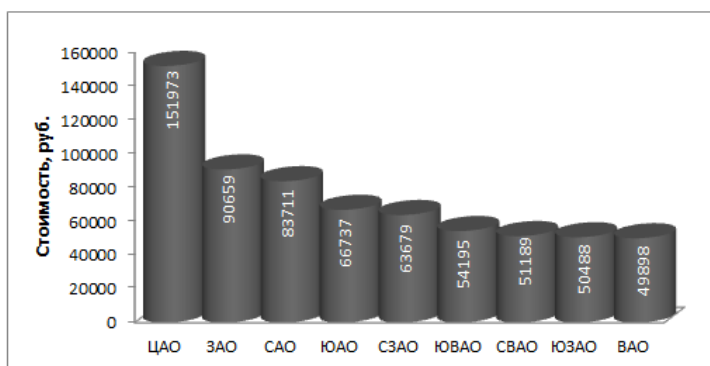


Рисунок 6 – Медианная стоимость аренды по округам Москвы

Большой ценовой разброс между максимальной, медианной и минимальной стоимостью квадратного метра недвижимости может быть связан с тем, что люди не имеют возможность адекватно оценить стоимость продаваемой недвижимости, и выставляют цены, которые не обоснованы. Такое положение вещей ведёт к росту предложений, сделки по которым часто не закрываются длительное время. Это говорит о необходимости создания механизма оценки стоимости жилья, который будет учитывать не только расположение, но и другие важные и не малозначимые характеристики. При этом, поскольку цена на недвижимость формируется из большого числа различных факторов, следует провести факторный анализ. Он поможет выявить те характеристики объектов, которые оказывают наибольшее влияние на конечную цену жилья, что впоследствии поможет при построении моделей прогнозирования.

Заключение

Не смотря на непрерывный рост цен на жильё, на данный момент на рынке недвижимости всё не совсем однозначно: покупательская способность людей во время пандемии резко упала, но при этом банки предлагают населе-

нию льготные ставки по ипотеке. Многие эксперты сходятся во мнении, что до конца 2020 года цены на квадратные метры вырастут незначительно. Однако прогноз на 2021 год может быть менее благоприятным, особенно в том случае, если начнётся вторая волна коронавируса.

На данный момент существуют большие наборы данных по рынку недвижимости, однако они не активно используются для аналитических исследований. В подобных данных можно обнаружить массу полезных полей, которые можно использовать для отработки различных механизмов обработки данных и создания моделей прогнозирования в дальнейшем. В частности, эти данные можно использовать для исследования зависимости ценообразования от расположения к различным достопримечательностям, местам отдыха, городским объектам, транспорту; составления карт стоимости недвижимости. При помощи визуализации полученных результатов можно наглядно показать, как меняется стоимость квадратных метров в зависимости от расположения объектов.

Для анализа данных использовался датасет, содержащий в себе порядка миллиона строк. Обработка производилась при помощи языка программирования Python. В результате проведённого исследования было выявлено, что разброс цен на квартиры порой достигает слишком больших значений, которые могут свидетельствовать о неадекватной оценке стоимости жилья. Это наводит на идею создания модели прогнозирования для стоимости квартир на рынке недвижимости. Для этого необходимо дополнительно провести расширенное исследование жилых помещений и их стоимости, обнаружить факторы, влияние которых может оказывать наибольшее значение на ценообразование. Выявление таких факторов поможет в дальнейшем создать инструмент, который по множеству различных параметров поможет определить стоимость квартир в разных регионах. Это поможет устанавливать такую стоимость на недвижимость, которая не будет отталкивать население от приобретения из-за своей необоснованности.

Универсальность языка Python позволяет не только осуществлять обработку данных, но и производить поиск и использование результата обработки и визуализировать данные. Подобное исследование при помощи технологий Big Data поможет более подробно изучить рынок недвижимости, найти наиболее влияющие на его показатели факторы и создать механизм, который пригодится как строительным компаниям, так и простому населению. Кроме того, обработка такой информации поможет понять, насколько целесообразно заниматься строительством в настоящее время в складывающихся условиях на рынке недвижимости.

Литература

1. Суворов С.В., Царькова Н.И., Конова О.С. Методология применения больших данных для исследования рынка недвижимости // Финансовая Экономика. 2019. № 11. С. 503-506.
2. Стерник Г.М. Методология анализа рынка недвижимости // Рынок недвижимости России [Электронный ресурс]. URL: http://realtymarket.ru/docs/met_07.html (дата обращения: 15.11.2020).

3. Кокин А.С., Осколков И.М., Трофимова Д.С., Ситников Р.Р. Анализ современного состояния рынка ипотечного жилищного кредитования в России // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Том 8. № 5А. С. 127-142.
4. Чибирова М.Э. Анализ данных и регрессионное моделирование с применением языков программирования Python и R // Научные записки молодых исследователей. 2019. № 2. С. 37-45.
5. Аникин Ю., Борисова И, Загоруйко Н., Зырянов А., Павловский Е. Введение в аналитику больших массивов данных // Академия Big Data [Электронный ресурс]. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/12385/1181/info> (дата обращения: 09.11.2020).
6. Суворов С.В., Царькова Н.И., Тарасов А.Н. BI-сервис как инструмент для обработки больших данных для отечественных компаний // Финансовая Экономика. 2019. № 12. С. 493-496.
7. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://gks.ru> (дата обращения: 06.11.2020).

УДК 004.75

Обоснование направления исследований в области клиент-серверных технологий

И.А. Чевордаев, аспирант третьего года обучения кафедры информационных технологий и управляющих систем,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

В наше время активно развивающихся информационных технологий сложно представить работу современного офиса или какого-либо предприятия без локальной вычислительной сети (сокращенно – ЛВС). ЛВС – предназначена для обработки, хранения, а также передачи данных, и представляет собой кабельную систему объекта, например, здания или группы объектов. Развитие ЛВС позволяет всё больше использовать клиент-серверную технологию, а именно тонких клиентов для обеспечения автоматизированных рабочих мест (АРМ).

Локально вычислительные сети, клиент-серверная технология, автоматизированные рабочие места.

Substantiation of the direction of research in the field of client-server technologies

I.A. Chevordaev, graduate first year of the Department of Information technologies and control systems,
State Budgetary Educational Institution of Higher Education
of the Moscow Region
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

Nowadays, actively developing information technology is difficult to imagine the work of a modern office or any enterprise without a local area network (LAN). LAN – designed for processing, storage and transmission of data, and is a cable system of the object, for example, buildings or groups of objects. The development of LAN allows more and more use of client-server technology, namely thin clients to provide automated workplaces (AWP).

Electronic trade, wholesale trade, development of the electronic trade.

Local area networks, client-server technology, automated workplaces.

Основная задача локально-вычислительной сети – обеспечение доступа к

сетевым, то есть общим ресурсам, например, к компьютерам, серверам, факсам, сканерам, принтерам и тому подобной технике, а также данным и программам. ЛВС широко применяются, в качестве информационной системы какой-либо организации. Локально-вычислительная сеть встречается нам в каждом офисе, на разных промышленных предприятиях, в банках и зданиях различного назначения.

Грамотно построенная ЛВС, отвечающая современным стандартам безопасности, позволяет получать доступ к необходимой информации, обеспечивает защиту от несанкционированного доступа к данным, обеспечивая в вашем офисе стабильное информационное взаимодействие.

Конечной частью в ЛВС является рабочая станция или же АРМ (Автоматизированное рабочее место). На данный момент рабочие станции представляют собой компьютер вместе с монитором, клавиатурой и мышью, что является собой полноценным рабочим местом для одного человека.

Клиент-серверная технология является вычислительной или же сетевой архитектурой, в которой сетевая нагрузка распределяется между серверами и клиентами. Так же клиенты и серверы часто взаимодействуют через единую ЛВС, и могут быть как разными физическими устройствами, так и частью программного обеспечения. Следует подробно рассмотреть клиент-серверную архитектуру с использованием тонких клиентов или же терминальных компьютеров, которые подключены через ЛВС к терминальному серверу.

На каждом рабочем месте вместо полноценного персонального компьютера используется лишь минимальный набор технических средств ввода/вывода информации и тонкого клиента. Таким образом, остается лишь монитор, клавиатура, мышь, а большой системный блок заменяется на небольшую по размерам коробочку, на которую не возлагается никаких сложных задач по обработке данных, и которая выступает лишь в качестве клиента.

Такой тонкий клиент может состоять из небольшой платы, в которой присутствуют порты вывода видеосигнала, а так же разъемы для подключения периферийных устройств. Основным в данной плате должно быть наличие Ethernet порта, для подключения к высокоскоростной сети интернет. Соответственно нагрузка на данную плату состоит только в передаче на сервер введенных пользователем данных и выводе обратной картинки пользователю. Соответственно, чем лучше плата и быстрее соединение между терминалом и сервером, тем меньше будет задержка при работе за таким клиентом.

Такой клиент, что в свою очередь позволит сэкономить значительную часть средств, а так же в дальнейшем упростит процесс администрирования такой системы. Таким образом, отдельное рабочее место используется как терминальная станция, которая имеет доступ к серверу, который в свою очередь посредством виртуализации выделяет часть своих вычислительных ресурсов в пользование между несколькими терминальными станциями.

Сервер в такой архитектуре является своеобразным суперкомпьютером, который разделяет свои ресурсы одновременно с несколькими клиентами. Таким образом, если имеем сервер, который выделяет часть своих ресурсов для проведения расчетов и т.п. сразу нескольким клиентам. Это в свою очередь мо-

жет и значительно загрузить сервер, в случае слишком большой нагрузки. В любом случае мощный сервер будет гораздо лучше, чем множество мощных, но отдельных компьютеров.

Нагрузка может исходить из слишком большого количества терминальных станций, либо из полной загрузки данных терминальных станций единовременно. И какой-бы ни был мощный сервер, он так же может работать на пределе своих возможностей, ввиду слишком большой на него нагрузки. Ещё один немаловажный фактор – скорость работы Ethernet как на самом сервере, так и в целом в локальной сети с терминальными станциями. Чем выше, тем лучше, но в любом построении сети можно провести расчёты, и лучше взять в любом случае с запасом и развитием потенциала на будущее.

Оба этих фактора: Нагрузка на сервер и скорость работы сети – значительно влияют на задержки в работе такой клиент-серверной системы. А соответственно, чем ниже задержки, тем комфортнее получается использовать данную технологию, и работа принципиально никак не будет отлична от стандартного персонального компьютера. За учётом отключения работы сети или сегмента сети между терминальными станциями и сервером.

В случае использования данной технологии в рамках одного предприятия или же учебного заведения стоит учесть значительные преимущества перед классическим расположением отдельных физических компьютеров, являющихся АРМ:

Во-первых, использование клиентов, подключённых к одному серверу, делает возможным распределение функций данной вычислительной системы между множеством независимых компьютеров в сети. Так как все данные хранятся на сервере, который защищён сильнее, чем отдельные рабочие станции – обеспечивается контроль полномочий, разрешающий доступ к определённым клиентским правам доступа и данным конкретного пользователя. Различные клиенты так же могут быть объединены в рабочие группы, к примеру, по кабинетам. И такие группы могут иметь относительно друг друга разные права доступа к информации.

Благодаря сеансовому подключению терминальной станции к серверу обеспечивается возможность сохранения всех данных и быстрого запуска виртуальной машины на том месте, где была остановлена работа. Т.к. при отключении тонкого клиента – на сервере виртуальная машина конкретного пользователя сохраняется, и работа может быть возобновлена моментально при включении тонкого клиента. Принцип работы клиент-серверной технологии терминальных станций, а так же их работы с базами данных отображены на рисунке 1.

Таким образом, стоит рассматривать ЛВС с использованием клиент-серверной технологии как единый центр обработки данных, которым будет являться сервер, и множество подобных друг другу рабочих мест с тонкими клиентами, которыми будут являться конечные АРМ. Такой тип построения ЛВС может так же считаться фрактальным, т.к. его элементы являются самоподобными и идентичными друг-другу, к примеру, если взять отдельную аудиторию, где будет 20 АРМ, то каждое рабочее место будет идентично в данной аудитории, и построение сети до каждого отдельного рабочего места так же является

идентичным, проходящим через несколько коммутаторов до главного сервера, т.е. центра обработки данных.

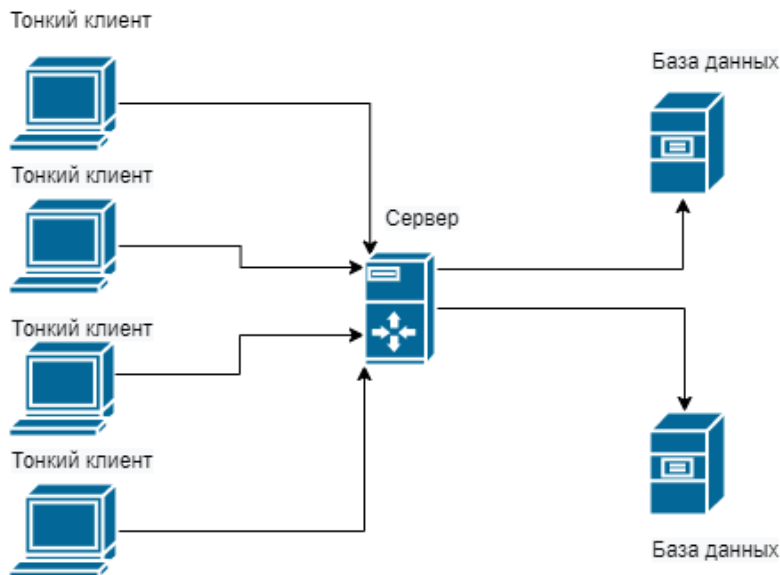


Рисунок 1 – Принцип работы клиент серверной технологии терминальных станций

Фрактал – это множество, которое обладает свойством самоподобия, то есть объект приближённо или в точности совпадает с частью самого себя, а соответственно его общее целое имеет ту же форму, что и одна или более из его частей.

В математике так же фракталами являются множества точек в Евклидовом пространстве, которые имеют дробную метрическую размерность, или метрическую размерность, которая отличается от топологической размерности, соответственно следует отличать их от других геометрических фигур, с ограниченным конечным числом звеньев. Так же отличают самоподобные фигуры, называемые предфракталами, повторяющиеся конечное число раз.

Многие объекты, которые нас окружают, могут быть подобными друг другу. Если исходить из самой простой категории и переходить к более сложной, но подобной ей, то, как итог – это упрощение восприятия. То же самое касается любого объекта, если он обладает свойством самоподобия, то это способствует упрощению решения сложной задачи. Отсюда, приходим к выводу, что для решения проблем безопасности в локально вычислительной сети (далее ЛВС), будут рассмотрены: отдельное рабочее пространство и проецирование полученных результатов на организацию в целом.

Фракталы имеют определенную ценность для современной науки, особенно это касается геометрии, физики, химии, информатики. Особенно в современных условиях перенасыщенности информации, а точнее детерминирование хаоса. Исходя из этого, появление фракталов как новой категории заставляют посмотреть иначе на пространство, природные объекты и бытие. Исходя из

свойства самоподобия фракталов, философское обоснование данного явления наводит на мысль, что бытие самоподобно и воспроизводится в различных масштабах [1, С.9.]. Любой элемент фрактала воспроизводит всю свою структуру или полностью уменьшенный целый, он выглядит одинаково и, следовательно, фрактал как часть бытия с гомотетичными (т.е. свойство совокупности с одинаковой формой) структуре целого. Бытие в данном случае демонстрирует особый уровень сложности, где симметрия невозможна по определению, так как предполагает полное повторение частей и свойств объекта, а фрактальность бытия – возможна, так как мы отрицаем наличие точного и полного повторения, то есть симметрия и асимметрия существуют в равной степени в изучаемом явлении, организуя тем самым целое [2, С.53].

Как было выведено ранее – фракталы являются множеством, обладающим свойством самоподобия. Если взять отдельно организацию, то она так же состоит из множества частей, в особенности, если рассматривать более подробно ЛВС с терминальными станциями или же АРМ, как с точки зрения топологии сети, так и со стороны защиты информации. Таким образом, стоит более подробно рассмотреть, как используется фрактальный метод построения множества терминальных станций в топологии сети.

Сама топология сети является ничем иным, как деревом, с множеством ответвлений, и самоподобных моментов. Такие моменты идут как от организации серверных помещений, так и до каждого конечного автоматизированного рабочего места (сокр. АРМ). Каждое АРМ, при использовании Клиент-серверной технологии обладает рядом технических устройств, которые в совокупности позволяют полноценно работать за этим АРМ одному сотруднику, таких как:

- Тонкий клиент
- Монитор
- Клавиатура и мышь
- Подключение к сети Ethernet

Каждое рабочее место является самоподобным, так как все перечисленные технические средства необходимы на каждом рабочем месте, будь то место сотрудника, или же место студента.

Соответственно, если рассматривать целиком здание какого-либо предприятия или же учебного заведения, то ЛВС распределяется на множество кабинетов и учебных аудиторий, где могут быть установлены различные компьютеры, от разных производителей, и которые могут отличаться друг от друга не только техническими характеристиками, но и сроком эксплуатации, что влияет на отказоустойчивость каждого рабочего места. В таком случае при использовании тонких клиентов, устанавливается единый сервер, который в дальнейшем посредством виртуализации выделяет свои ресурсы для каждого АРМ.

Такой единый подход к использованию серверов на замену отдельным персональным компьютером проявит так же свою экономическую эффективность. Причём это будет заметно уже в ближайшие годы. Так как в кабинетах, где раньше стояло по 20 компьютеров, кабинет мог потреблять значительное

количество электроэнергии, и закупка персональных компьютеров даже бюджетного класса в любом случае стоила определённых финансовых вложений. Теперь же компьютеры заменены на терминальные станции, которые стоят гораздо дешевле, чем даже бюджетный компьютер, имеют значительно меньшие габариты и могут даже быть зафиксированы с задней части монитора, так ещё и электроэнергии потребляют в десятки раз меньше чем стандартные ПК.

Если рассмотреть более подробно организацию в полном масштабе, то таких АРМ на всю организацию может быть более 500, и соответственно закупка, оборудование и содержание всех этих мест в любой организации должны быть наиболее эффективными по финансовым вложениям. Таким образом, если изначально использовать терминальные станции и клиент-серверную технологию, то получится сэкономить не только на стадии закупки и ввода в эксплуатацию оборудования, но и в дальнейшем значительно сэкономить на электричестве.

Все рабочие места в большой организации так или иначе стоит разделить на группы, по степени уровня доступа к информации. Разделение в свою очередь происходит за счет грамотного построения топологии сети, а так же разделением серверов физически или логически внутри программного обеспечения посредством создания виртуальных локальных сетей (WLAN).

Для примера стоит рассмотреть построенную в среде Cisco packet tracer виртуальную картину локальной вычислительной сети университета, изображенную на рисунке 2. В данной сети разделение на сеть сотрудников и студентов с разным уровнем доступа идёт не только на виртуальной составляющей, но и на физическом уровне, что так же улучшает картину общей защиты информации в сети.

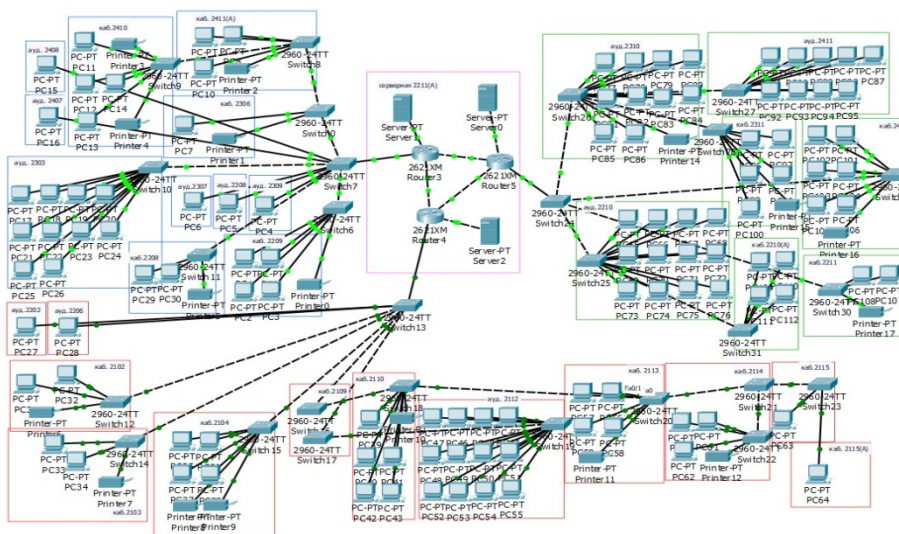


Рисунок 2 – Построение сети в Cisco Packet tracer

Таким образом, необходимо более подробно разделить доступ к информации физическим путем, через использование отдельного оборудования для

разных групп и отделов, так и в дополнение виртуальным путем, с помощью создания виртуальных локальных сетей [3, С. 235].

Таковыми группами могут являться:

Сеть студентов и преподавателей, с минимальным доступом к информации, которая не является секретной, а по уровню важности относится к несущественно информации и полезной информации, такой как общая студенческая папка, где студенты хранят свои работы, а преподаватели хранят свои задания, направленные на работу со студентами, а так же методические материалы, для использования студентами.

Сеть сотрудников, с умеренным доступом к информации, которая не относится к секретной. Такими сотрудниками можно считать работников кафедр, деканатов, студентов-практикантов, методистов, лаборантов, у которых в хранении могут находиться различные документы, наподобие дипломных работ, научных статей, отчетов и других документов, которые не являются секретной информацией, но обладают некоторой ценностью

Сеть особо ценных сотрудников, с доступом к секретной и совершенно секретной информации. К особо важной информации могут иметь доступ сотрудники бухгалтерии, планово-финансового отдела, отдела государственных закупок, и другие отделы, которые должны иметь доступ к различным базам данных университета, и при этом должны особо относиться к хранимой ими информации.

Ввиду того, что основной обмен информацией между сервером терминальных станций и сервером базы данных происходит в рамках одной ЛВС, то наилучшее их расположение будет с учётом максимально скоростного канала, а это как правило непосредственно рядом в одном помещении, к примеру серверной с подключением через гигабитные или десяти гигабитные порты. В таком случае задержка при работе с базами данных будет действительно минимальной, что так же позитивно скажется на работе системы в целом.

Чем сложнее система, тем важнее резервирование оборудования. В таком случае необходимо поставить сразу несколько серверов баз данных, и разместить между ними балансировщик, который будет распределять нагрузку, и если первый сервер, к примеру, будет загружен, то часть запросов будет отправляться на второй. Использование холодного резервирования, так же помогает решить эту проблему, но при её использовании второй сервер простаивает до тех пор, пока не выйдет из строя первый.

Такой же момент резервирования можно использовать и для самих терминальных станций. Хоть лучше использовать максимально мощную машину для работы, но всё же при значительном количестве рабочих станций даже одной машины может уже не хватать, таким образом, для образовательного учреждения стоит использовать сразу кластер из серверов, которые будут принимать всю нагрузку на себя через балансировщик. В таком случае даже при максимальной загрузке, сервера будут получать равномерную нагрузку.

Отказоустойчивость кластера серверов так же повышает надежность работы всей системы, и при отказе одного из серверов, его работу на себя возьмут другие, находящиеся в параллели. Соответственным образом при большой на-

грузке на базы данных, с которыми будут работать тонкие клиенты – стоит продумать резервирование серверов баз данных, так же с балансировщиком. При подобном плане работы система будет выглядеть следующим образом, изображенным на рисунке 3.

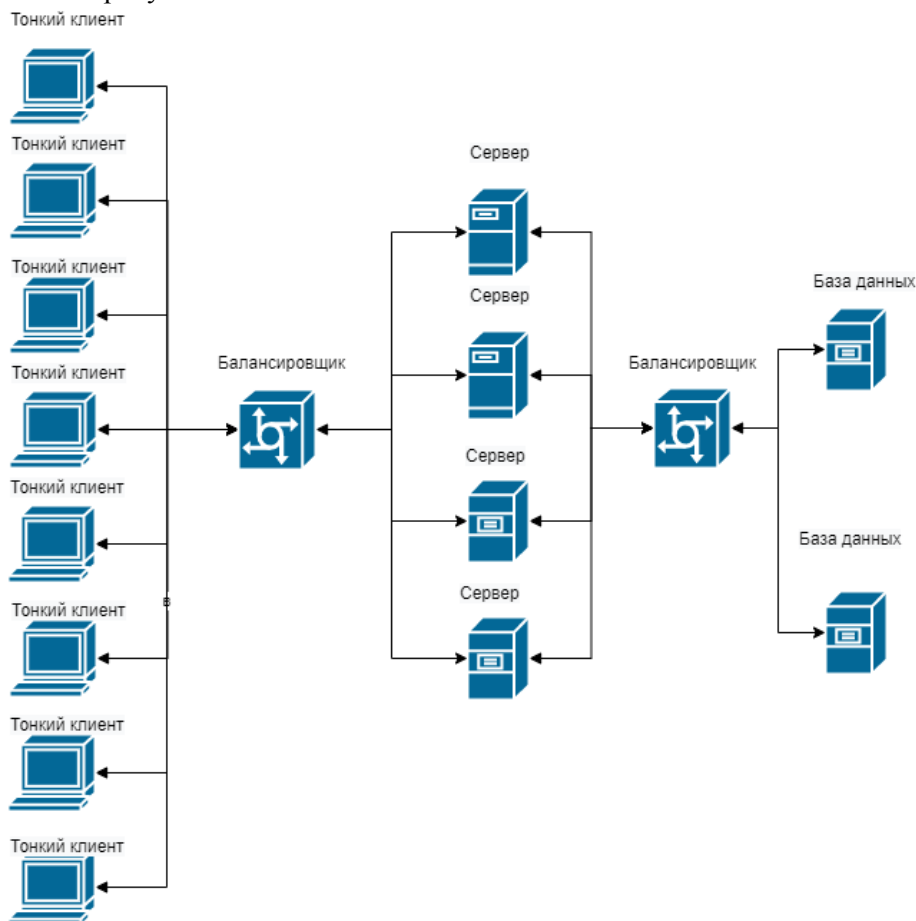


Рисунок 3 – Принцип работы распределения нагрузки в клиент серверной технологии терминальных станций

Использование терминальных станций и тонких клиентов при построении рабочего пространства в сети такого масштаба является достаточно значительной частью ЛВС. Особое внимание следует уделить не столько подбору самих тонких клиентов, а мощности серверов. Для повышения надежности и наращивания мощности следует использовать кластер серверов, а так же учитывать нагрузки на базы данных. Стоит учитывать, что любая сеть имеет древовидное тело, и подобно ветвям у дерева, от центра всего корпуса, где располагается серверная – тянутся в разные стороны кабели, объединяющие множество коммутаторов, от которых так же дальше тянутся кабели до других коммутаторов и дальше идут до каждого конкретного автоматизированного рабочего места. Таким образом, каждое рабочее место имеет примерно одинаковый способ

подключения к одной общей ЛВС и такую сеть гораздо проще администрировать.

Литература

1. Могилевский Э.И. Фракталы на Солнце // М.: Физматлит. 2001. 152 с. С. 9.
2. Локтев Алексей Алексеевич, Залетдинов Артур Вильевич Использование фракталов в задачах обеспечения информационной безопасности // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2010. С.53.
3. Дэвид М. Харрис и Сара Л. Харрис Цифровая схемотехника и архитектура компьютера, второе издание // С. 235.

УДК 621.7.068

Модернизация системы управления намоточного аппарата машин для производства металлокорда

А.В. Белый, кандидат технических наук, доцент кафедры Автоматизации и электроснабжения, Национальный исследовательский Московский Государственный строительный университет, г. Москва

В статье приводится описание модернизированной системы управления намоточного аппарата машин для производства металлокорда. Новая система позволила производить учет длины материала, намотанного на катушку или смотанного с катушки, в режиме устранения аварийных ситуаций, связанных с обрывом корда в процессе работы машины. Реализация предлагаемых алгоритмов на базе программируемых реле позволила добиться выполнения требований по точности заданной длины готовой продукции.

Система регулирования, электропривод, намоточный аппарат, преобразователи частоты, программируемые реле.

Modernization of the control system of the winder of the steel cord machine

A.V. Belyi, assistant professor, Department of Automation and Power Supply, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

The article describes the modernization of the control system of the winding apparatus of machines for the production of steel cord. The new system made it possible to keep track of meters wound on a reel or reeled off a reel, in the mode of eliminating emergency situations associated with a cord breakage during machine operation. The implementation of the proposed algorithms based on programmable relays made it possible to meet the requirements for the accuracy of a given length of the finished product.

Regulation system, electric drive, winding machine, frequency converters, programmable relays.

В процессе производства металлокорда решается много технологических задач. Машины для производства данных изделий отличаются разнообразием конструкций, реализующих ту или иную технологическую операцию. Основной операцией является непосредственное скручивание нескольких стальных проволок, покрытых латунью. Одной из технологий скручивания является техноло-

гия двойного кручения, а машины, реализующие эту технологию, называются машинами двойного кручения (МДК). При способе двойного кручения в результате свивки проволоки металлокорда собираются в пучок с определенным расположением проволок или прядей. Дальнейшее их скручивание производится в два этапа изменения шага свивки: сначала с шагом в 2 раза большим, чем в готовом металлокорде, затем до готового шага. Имеются два основных типа машин двойного кручения: 1) с расположением разматывающих катушек внутри свивочной части машины и приемной катушки вне машины; 2) с расположением приемной катушки внутри свивочной части машины, при этом питающие катушки находятся вне машины [1,2].

Качество готовой продукции во многом зависят от напряженно-деформированного состояния металлокорда, которое в основном задается на последнем этапе производства металлокорда – его свивке и выражается такими характеристиками металлокорда, как кручение и прямолинейность [3,4]. За формирование указанных характеристик конечной продукции отвечают торсионный узел машины и рихтовочный узел. Еще одной немаловажной составляющей технологического процесса, не связанной непосредственно с основными характеристиками, является стабильность длины готового металлокорда, намотанного на катушки, предназначенные для конечного потребителя [5].

Машины для производства металлокорда продолжают совершенствоваться, в том числе подвергаются реконструкции. Реконструкция объектов, рассматриваемых в данной статье, производилась на предприятии «Уралкорд» г. Магнитогорск. На данном предприятии функционируют несколько типов машин для свивки металлокорда типа МДК с приемной катушкой вне машины. Несмотря на различия в технологических узлах таких машин, аппарат намотки корда на катушки для них является однотипным. Одним из требований к рассматриваемым типам машин является равная длина готовой продукции на всех катушках в партии. Допустимые отклонения составляют не более 1 метра на 10000 метров заданной длины [6]. Достичь такой точности для всех изделий не позволяли катушки, на которых был допущен обрыв корда в процессе изготовления. Отмотка бракованного участка с последующей сваркой никак не учитывалась в общей длине и составляла до 15 метров. Кроме того при значительной длине наматываемого материала (до 12000 м) накапливалась значительная ошибка [7]. В результате фактическая длина корда на катушке не соответствовала заданной, и имелись значительные различия по длине между кордом, намотанным на разные катушки.

Упрощенная кинематическая схема аппарата намотки приведена на рисунке 1.

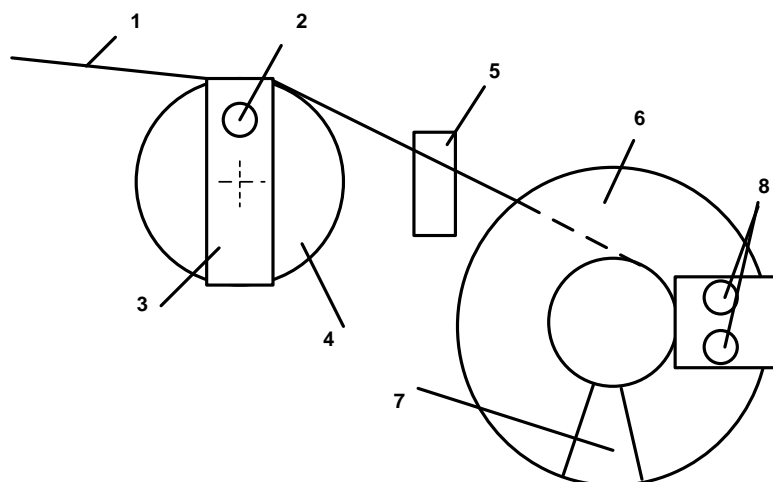


Рисунок 1 – Упрощенная схема аппарата намотки

Корд (1) наматывается на измерительный ролик (4). На данном ролике имеется выступ (3), который может быть «обнаружен» датчиком приближения (2). При такой конфигурации выступа(3) промежуток между фронтами или срезами сигнала на датчике приближения (2) соответствует половине длине окружности измерительного ролика. Далее материал проходит через аппарат укладки (5) на катушку (6). При обрыве корда важно иметь информацию об изменении длины материала непосредственно на катушке, как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения в режиме остановки машины. С этой целью аппарат намотки был дополнен двумя дополнительными датчиками приближения (8). Данные датчики фиксируют прохождение ребра катушки (7). Благодаря наличию двух датчиков удалось определить направление вращения катушки, и получить информацию о том, увеличивается или уменьшается количество намотанного материала.

Управление режимами работы машины было реализовано на программируемом реле Zelio фирмы Schneider Electric (рисунок 2) [8].

Программа управления режимами работы канатной машины была выполнена на языке функциональных блоков. Фрагмент программы измерения длины корда на катушке с использованием сигналов датчиков, указанных на рисунке 1, приведен на рисунке 3.

Данная программа позволяет производить подсчет количества импульсов, поступающих с датчиков. Импульсный сигнал «галета» поступает с датчика на измерительном ролике. Сигналы «катушка 1» и «катушка 2» с датчиков, расположенных в районе катушки.



Рисунок 2 – Программируемое реле Zelio

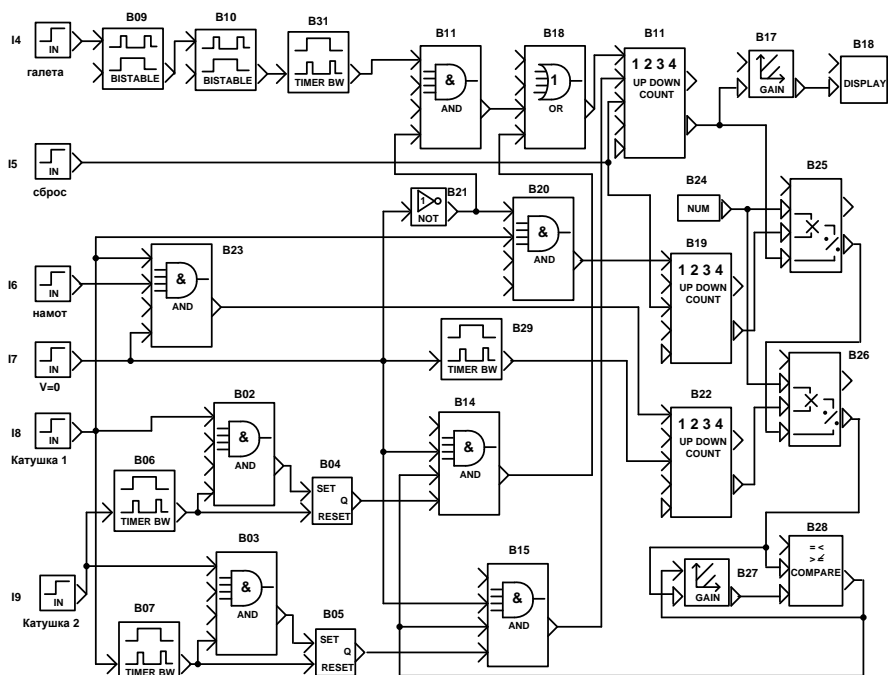


Рисунок 3 – Фрагмент программы по обработке сигналов датчиков приближения

Подсчет импульсов осуществляется программными счетчиками B11, B19, B22, которые выбираются в зависимости от режима работы: рабочий режим намотки, аварийная остановка машины (внешний сигнал «намот» формируется преобразователем частоты привода намотки), устранения обрыва корда при скорости машины равной нулю (внешний сигнал «V=0» формируется преобра-

зователем частоты главного привода машины). В последнем режиме возможно как прибавление значений метров, если катушка вращается сонаправленно вращению в рабочем режиме, так и вычитание метров, если с катушки удаляется бракованный участок корда. Направление вращения определяется по алгоритму, схожему с алгоритмом определения направления вращения в инкрементальных энкодерах. Функциональные блоки таймеров во входных цепях используются как формирователи импульсов пониженной частоты с целью корректного определения направления вращения приемной катушки, а так же для исключения переполнения счетчиков.

В связи с тем, что максимальное число, с которым может работать контроллер равно 32767, при заданном метраже, например, 12000м, и данной длине окружности измерительного ролика (галеты) $L_d=0,3421$ м, счетчик импульсов в контроллере переполняется. Поэтому частота прихода счетных импульсов в контроллер делится на два, и коэффициент, устанавливаемый в блоке вычисления метража наматываемого корда равен $2 * L_d=2*0,3421=0,6824$. Программируемое реле поддерживает работу только с целыми числами. Поэтому, что бы задать дробный коэффициент используется запись дроби в виде числителя и знаменателя (А – коэффициент числителя, В – коэффициент знаменателя). Таким образом, что бы задать дробное число из данного примера, необходимо присвоить $A=6824$, $B=10000$.

Несмотря на то, что программируемые реле работают только с целыми числами, и коэффициент пропорциональности между количеством поступивших импульсов и соответствующим им метрам приходится задавать в виде дроби, информация о дробной части измеренного значения не теряется, и ошибка не накапливается, что подтверждалось выборочными экспериментальными перемотками готовой продукции и, в конечном счете, отсутствием рекламаций со стороны потребителей готовой продукции.

Таким образом, совершенствованию намоточного аппарата машин для производства металлокорда уделяется большое внимание с точки зрения обеспечения заданного натяжения, обуславливающего обеспечение основных технологических характеристик металлокорда. Проблема точности измерения длины готовой продукции на приемной катушке намоточного аппарата практически не рассматривается, хотя является актуальной, особенно при выполнении вспомогательных операций. Модернизации системы управления намоточного аппарата машины двойного кручения, описанная в данной статье, решает эту проблему.

Литература

1. Веденеев А.В., Панизович В.С. Современные тенденции развития оборудования для свивки металлокорда // Литье и металлургия. 2005. № 4(36). С. 81-85.
2. Худoley Ю.Л., Матвеев О.М., Домненко В.П. Стабилизация натяжения намотки металлокорда // Литье и металлургия. 2014. № 4(77). С. 55-57.
3. Веденеев А.В. Конструктивные особенности машин многократного кручения. Часть 1 // Литье и металлургия. 2011. № 1(59). С. 79-84.

4. Веденеев А.В. Конструктивные особенности машин многократного кручения. Часть 2 //Литье и металлургия. 2011. № 2(60). С. 126-131.
5. Худолей Ю.Л., Рябцев О.А., Панизович В.С. Освоение производства металлокорда для крупно- и сверхкрупногабаритных шин на РУП БМЗ // Литье и металлургия. 209. № 2(51). С. 164-166.
6. Инструкция по эксплуатации канатной машины МДК-10.
7. Омельченко Е.Е., Радионов А.А. Бондаренко В.В. Намоточный аппарат стальной проволоки как объект регулирования // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2011. № 4. С. 58-64.
8. Zelio logic programming guide. 551с.

УДК 539.1

**Связь физико-механических и технологических свойств
двойных сплавов с качественными изменениями
интервалов кристаллизации**

А.В. Михайлов, аспирант кафедры «Материаловедения и технологии
художественных изделий»,

К.Ю. Шахназаров, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Материаловедения и технологии художественных изделий»,
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

На основании анализа литературных данных по физико-механическим и технологическим свойствам двойных сплавов в представленной статье сделана попытка дать представление о диаграмме состояния как о концентрационной зависимости качественных изменений интервалов кристаллизации (перекристаллизации).

Это впервые позволяет связать с диаграммой состояния, не поддающиеся объяснению особенностями фазового состава или структуры аномалии физико-механических и технологических свойств используемых промышленно двойных сплавов.

Диаграмма состояния, кристаллизация, двойной сплав.

**Relationship of the physical, mechanical and technological properties
of binary alloys with qualitative changes in the crystallization intervals**

A.V. Mikhailov, post-graduate student of the Department of Materials Science,

K.Yu. Shakhnazarov, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Materials Science,
St. Petersburg Mining University, St. Petersburg

Based on the analysis of literature data on the physicomechanical and technological properties of binary alloys, this article attempts to give an idea of the phase diagram as a concentration dependence of qualitative changes in the crystallization (recrystallization) intervals.

For the first time, this makes it possible to associate with the phase diagram the anomalies of the physicomechanical and technological properties of the industrially used binary alloys that cannot be explained by the peculiarities of the phase composition or structure.

Phase diagram, crystallization, binary alloys.

Цель работы – установить связь диаграмм состояния с вопиющими нарушениями, когда росту прочностных свойств отвечает повышенная или даже

максимальная пластичность. Кривые на диаграммах фазового равновесия представляют собой концентрационные зависимости интервалов кристаллизации. Качественное изменение этих интервалов, например, в дистектической или эвтектической точках, у концов эвтектических или перитектических горизонталей, приводит к созданию «особых» свойств сплавов, что в ряде случаев используется промышленно.

Практика показала, что повышению пределов прочности σ_B или текучести σ_S , как правило, соответствует снижение характеристик пластичности (δ или ψ).

Сразу оговоримся: никакого физического смысла связь прочностных и пластических свойств не имеет, поскольку σ_S определяется при малых пластических деформациях, σ_B – при средних, δ и ψ – при предельных (в момент разрыва образца).

Например, у двухфазных ($\alpha + \gamma$) сплавов системы Cu – Mn при ~ 40% Mn одновременные максимумы σ_B , и δ , и ψ (рис. 1). Отметим, что на λ -образных зависимостях рост этих характеристик примерно трехкратный.

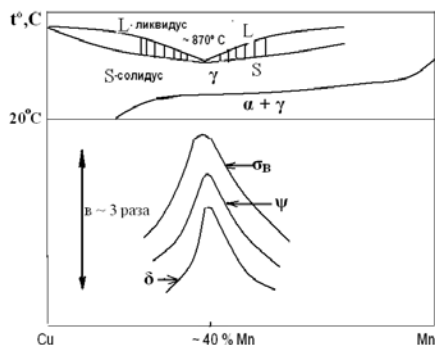


Рисунок 1 – Диаграмма состояния Cu-Mn и независимость механических свойств от % Mn

Интересен комментарий Е.М. Савицкого [15], одного из самых плодовитых и пытливых металлургов середины 20-го века: «Наблюдаемый характер изменения пластичности с изменением концентрации не обычен». Такой же беспомощный комментарий к максимуму δ содержится в учебнике Б.А. Колачева [7] по цветным сплавам – «Такая закономерность не обычна: как правило, увеличение прочности сопровождается уменьшением пластичности».

Это суждение сделано для однофазной α -латуни, имеющей максимум δ при ~ 32% Zn при непрерывном росте σ_B (рис. 2). Между тем, в неявной форме, максимум δ А.А. Бочваром [3] в учебнике «Металловедение» связан с концом перитектической горизонтали, где качественное изменение интервала кристаллизации самоочевидно (рис. 4). Бочвар не отметил, что концу таких горизонталей соответствует качественное изменение интервала кристаллизации.

Вернемся к системе Cu – Mn (рис. 1). В ней максимумы δ и ψ строго отвечают эвтектикоподобному касанию ликвидуса (L) и солидуса (S), где качественное изменение интервала кристаллизации самоочевидно (Интервал кристал-

лизации заштрихован).

Таким образом, в двух системах Cu – Mn и Cu – Zn связь аномального максимума пластичности с качественными изменениями интервала кристаллизации очевидна.

Рассмотрим равновесную и неравновесную диаграммы оловянистых бронз.

В учебнике Г.А. Кашенко [6] приведены неравновесная диаграмма Cu – Sn для литых сплавов и равновесная для отожженных. У равновесных (отожженных) сплавов максимум δ отвечает конец перитектической горизонтали при ~ 13% Sn, а у неравновесных (литых) сплавов – сместившемуся к ~ 8% Sn концу той же горизонтали (рис. 3). Максимумы δ в учебнике не комментируются.

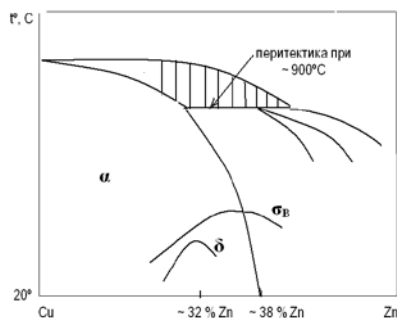


Рисунок 2 – Диаграмма состояния Cu-Zn и зависимость механических свойств от % Zn

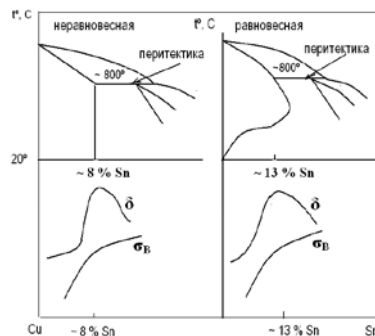


Рисунок 3 – Диаграмма состояния Cu-Sn и зависимость механических свойств от % Sn

Таким образом, максимум δ и у оловянистых бронз «привязан» к качественным изменениям интервала кристаллизации.

В системе Al – Mg при ~ 92% Mg имеют место одновременные максимумы и σ_B , и δ [8], [10], [14], а при ~ 10% Mg максимум δ (рис. 6). Максимумам δ отвечают изгибы солидуса (см. рис. 4), что при монотонном ликвидусе означает качественное изменение интервала кристаллизации.

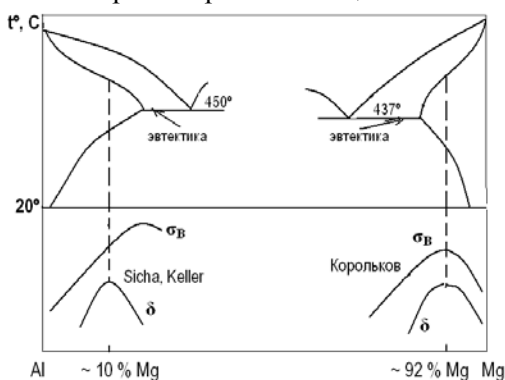


Рисунок 4 – Диаграмма состояния Al-Mg и зависимость механических свойств от % Mg

В системе Cu – Si изгибу солидуса при ~ 3% Si соответствует максимум δ (рис. 7). При ~ 3% Si солидус из выпуклого (в сторону расплава) становится вогнутым [4]. При монотонном ликвидусе это означает качественное изменение интервала кристаллизации.

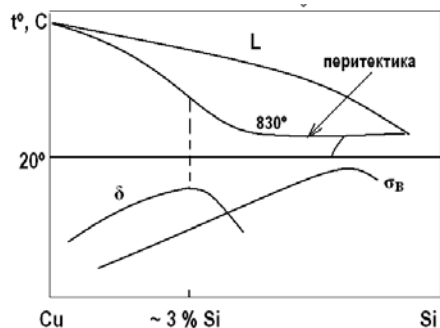


Рисунок 5 – Диаграмма состояния Cu-Si и зависимость механических свойств от % Si

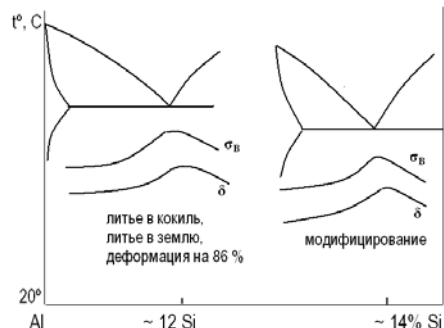


Рисунок 6 – Диаграммы состояния Al-Si и зависимость механических свойств от % Si (Данные Г.Б. Строганова, В.А. Ротенберга, Г.В. Гершмана)

У литого в кокиль и в землю немодифицированного и – главное – деформированного при ~ 250°C на 86% силуминов эвтектического (~ 12% Si) состава одновременные максимумы и σ_B и δ [4] (рис. 6). Поскольку характер зависимости качественно одинаков, то на рисунке 8 кривые σ_B – % Si и δ – % Si объединены для этих трех состояний.

У модифицированного перед литьем в землю силумина эвтектического состава (~ 14% Si) одновременные максимумы и σ_B , и δ (рис. 6).

Таким образом, для всех четырех состояний, резко различающихся по структуре, явно аномальные максимумы и σ_B , и δ у силумина эвтектического состава. В эвтектической точке качественное изменение интервала кристаллизации самоочевидно.

П. Обергоффер [13] определил, но не прокомментировал абсолютный нонсенс – абсолютный максимум предела текучести σ_S литой отожженной стали с ~ 0,5% C (рис. 7). Примерно при этом содержании углерода ликвидус диаграммы Fe – C имеет изгиб в точке В, то есть максимум σ_S связан с изменением интервала кристаллизации. Но при этом у стали с ~ 0,5% C сужение ψ явно повышенное — кривая ψ – % C проведена явно ниже экспериментальной точки (на рисунке 7 она показана крестиком).

И максимум σ_S , и повышенное ψ можно отнести к ошибкам эксперимента – обычному разбросу экспериментальных данных.

Но это не так. Обратимся к экспериментальным данным Бурнса и Пикеринга [1]. Для нормализованных сталей они показали и максимумы σ_S , и ψ (рис. 8).

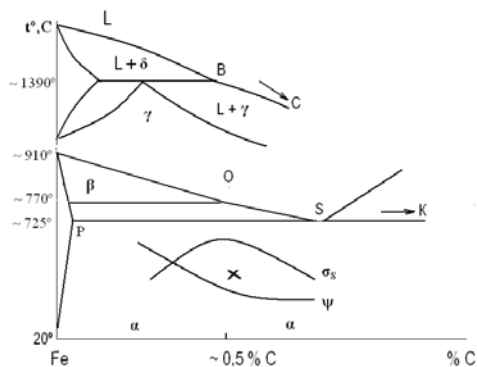


Рисунок 7 – Диаграмма Fe-C и зависимость механических свойств от % C (данные П.Обергоффера)

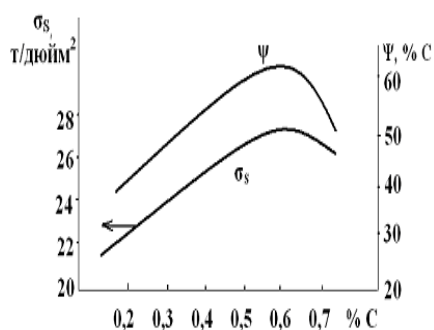


Рисунок 8 – Зависимость σ_s и ψ от % C нормализованных сталей

Интересно то, что Пикеринг [1] не включил эти данные в свою собственную, переведенную на русский язык монографию «Физическое материаловедение и разработка сталей». Хотя данные по порогу хладноломкости конкретно этих сталей привел. Можно предположить, у Пикеринга не было версии природы одновременного максимума σ_B и ψ . Но это – всего лишь предположение.

Таким образом, повышенную или максимальную пластичность при росте прочностных свойств можно связать с качественными изменениями интервала кристаллизации. Отметим, что упомянутые сплавы используются промышленностью.

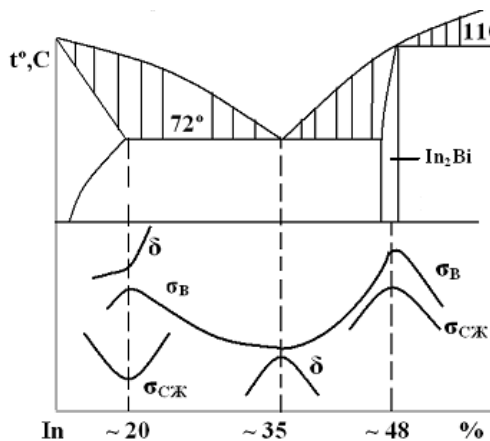


Рисунок 9 – Диаграмма состояния In-Vi и зависимость свойств от % Vi

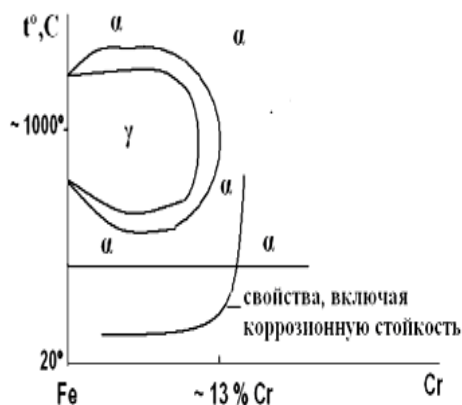


Рисунок 10 – Схематизированная часть диаграммы Fe – Cr и зависимость свойств от состава (данные Э. Гудремона)

Выскажем осторожное предположение о природе описанных аномалий прочности и пластичности, сославшись на систему In – Bi (рис. 9).

Экстремумы свойств характерны для инконгруэнтно плавящейся фазы In_2Bi (рис. 9).

Фундаментальным признаком таких фаз является качественное изменение интервала кристаллизации. Но такое же изменение характерно для эвтектической точки и для точки конца эвтектической горизонтали (рис. 9). Сплавы состава этих точек имеют явно аномальные (экстремальные) свойства (рис. 9). ($\sigma_{\text{сж}}$ – напряжение, необходимое для осадки образца на 10%).

Таким образом, описанные в настоящей работе аномалии подобны наблюдаемым для промежуточных фаз. У них общий фундаментальный признак – качественное изменение интервала кристаллизации. Этот признак роднит аномалии свойств, что требует дальнейшего осмысления.

Экстремумы свойств у состава конца эвтектической горизонтали (рис. 9) можно связать с изменением генеалогии атомов In и Bi – сплавы левее этой точки не участвуют в эвтектической реакции, то есть у них другая генеалогия.

Если вернуться к диаграмме Fe – C, то повышенная, (рис. 7) или максимальная (рис. 8) пластичность при ~ 0,5% C также может быть связана с разной генеалогией атомов железа – левее и правее точки В (0,5% C) она разная: расплав $\rightarrow \delta \rightarrow \gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ и расплав $\rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ соответственно.

А то, что атомы разной генеалогии могут иметь разные свойства, показано Э. Гудремоном [5]. У сплавов Fe – Cr при ~ 13% Cr происходят скачкообразные изменения свойств (рис. 10).

Этому содержанию хрома отвечает замыкание γ -области при ~1000°C (рис. 12).

Сплавы правее 13% Cr имеют ферритную структуру при всех температурах, а левее другую генеалогия $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$.

Только механизм кодирования и передачи информации, т.е. механизм наследственности, не ясен [12].

Усилим значение генеалогии атомов, вернувшись к системе Cu – Mn (рис. 1).

Единственный сплав с 40% Mn не требует перераспределения атомов в процессе кристаллизации, т.к. он затвердевает как чистый металл.

Любой другой сплав левее и правее 40% Mn требует перераспределения атомов в процессе кристаллизации. Может быть, поэтому у сплава с 40% Mn максимумы и $\sigma_{\text{в}}$, и δ , и ψ . Но это только предположение.

Рассмотрим связь жидкотекучести с диаграммами состояний.

А.М. Корольков, цитируя Ю.А. Нехендзи и А.М. Самарина, отмечает «прямую связь между показателями жидкотекучести и механическими (особенно пластическими) свойствами».

В отличие от В. Кондика, А.М. Корольков считает влияние на жидкотекучесть интервала кристаллизации «совершенно бесспорным» [8].

Это явно не так, поскольку, согласно данным Королькова, жидкотекучесть совершенно не реагирует на эвтектическую точку в сплавах Al – Si и Pb – Sb.

Воспользуемся данными Королькова [8], чтобы обосновать тезис о том, что не интервал кристаллизации, а качественное изменение его ширины по температуре по мере увеличения (уменьшения) содержания второго компонента в двойных сплавах определяет экстремумы жидкотекучести. Данные Королькова ценны тем, что получены в одной лаборатории.

Буквами L и S обозначены ликвидус и солидус соответственно.

Корольковым установлено 16 экстремумов жидкотекучести в семи двойных системах Pb – Zn, Al – Zn, Al– Mg, Mg – Al, Al – Si и Pb – Sb. Действительно, в пяти случаях экстремумы (максимумы) жидкотекучести связаны с эвтектической точкой, где не только минимальный (нулевой) интервал кристаллизации, но и качественное его изменение.

На рисунке 11 а показаны максимумы жидкотекучести, соответствующие эвтектической точке, которые находятся при: ~Sn+~10%Zn, Al+~35%Mg, Pb+~60%Sn, Mg + ~ 30% Al, Al + ~ 95% Zn.

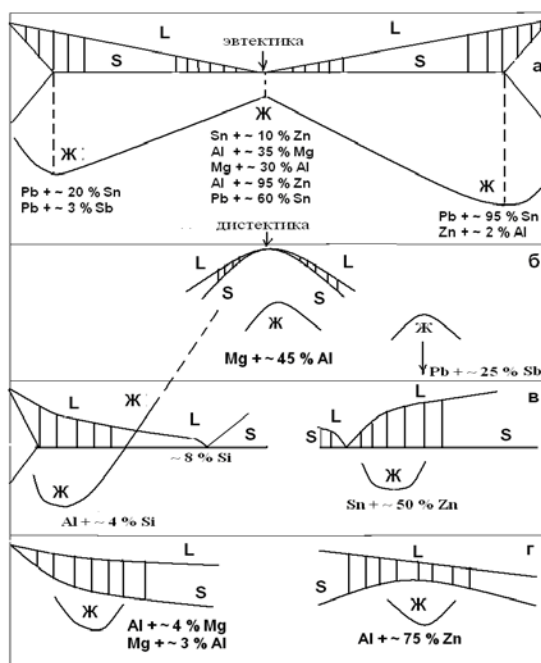


Рисунок 11 – Схематизированные части диаграмм фазового равновесия с экстремумами жидкотекучести двойных сплавов

Также максимум жидкотекучести отвечает дистектической точке (промежуточной фазе Mg_3Al_4) (рис. 11 б). Этим точкам, безусловно, отвечает не только минимальные (нулевые) интервалы кристаллизации, но и их качественное изменение.

Отметим вскользь, что Н.С. Курнаков [11], со ссылкой на Нернста, не видел больших различий между эвтектической и дистектической точками. Вторая отвечает безусловному химическому соединению, а первая предполагаемому –

часть ученых считают расплав эвтектического состава химическим соединением.

В четырех случаях экстремумы (минимумы) жидкотекучести связаны с максимальными интервалами кристаллизации у концов эвтектических горизонталей у сплавов $Pb + \sim 20\% Sn$, $Pb + \sim 95\% Sn$, $Zn + \sim 2\% Al$, $Pb + \sim 3\% Sb$ (рис. 11 а).

Обратимся к оставшимся шести экстремумам жидкотекучести, которые никак не связаны с шириной интервала кристаллизации.

В эвтектической системе $Sn - Zn$ минимум жидкотекучести при $\sim 50\% Zn$ никак не связан с шириной интервала кристаллизации, но из-за изгиба ликвидуса при $\sim 50\% Zn$ (рис. 13 в) имеет место качественное изменение интервала кристаллизации. То же в сплаве $Pb + \sim 25\% Sb$.

В системе $Al - Si$ жидкотекучесть совершенно не реагирует на ширину интервала кристаллизации (он минимален у эвтектической точки и максимален у конца эвтектической горизонтали при $\sim 2\% Si$) (рис. 13 в). Но остро реагирует на изгиб ликвидуса при $\sim 4\% Si$ (ликвидус при $\sim 4 - 8\% Si$ становится прямолинейным (рис. 13 в)).

В системе $Al - Mg$ минимум жидкотекучести при $\sim 4\% Mg$ отвечает изгибу солидуса (по данным Н.С. Курнакова) [11]. При монотонном ликвидусе это означает качественное изменение интервала кристаллизации) (рис. 11 з).

В системе $Mg - Al$ минимум жидкотекучести отвечает изгибу солидуса при $\sim 3\% Mg$ (по данным Н.С. Курнакова) [11] (рис. 11 з). При монотонном ликвидусе это означает качественное изменение интервала кристаллизации.

Выпуклый солидус при $\sim 75\% Zn$ в системе $Al - Zn$ при монотонном ликвидусе (рис. 11 з) порождает качественное изменение интервала кристаллизации, которому отвечает минимум жидкотекучести.

Таким образом, все 16 экстремумов жидкотекучести из работы А.М. Королькова можно связать с качественными изменениями интервала кристаллизации.

Но оговорим особо: в последних шести случаях (рис. 11 в и з) изгибы ликвидуса или солидуса нужно захотеть увидеть, используя старые диаграммы состояния и прозрачную линейку. Старые диаграммы, в отличие от новых, не успели стать жертвами сглаживания кривых.

Обратимся к линейной усадке (ЛУ), которая происходит в твердом состоянии (Ю.А. Нехендзи) или частично и жидко-твердом (А.А. Бочвар). По первой версии она является коэффициентом линейного расширения (сжатия) твердого металла.

А.М. Корольков [8] в одной лаборатории по единой методике получил 11 площадок на кривых состав – линейная усадка и сделал вывод: «многочисленные измерения однозначно показывают неизменность усадки на большом участке концентраций», хотя «казалось бы, что здесь должно осуществляться изменение свойств по правилу аддитивности».

У концов площадок всегда наблюдается скачкообразный рост (уменьшение) ЛУ.

Например, в системе $Al - Si$ ЛУ строго одинакова в пределах $\sim 2 - 8\% Si$. При $\sim 2\% Si$ находится конец эвтектической горизонтали, а при $\sim 8\%$ изгиб лик-

видуса. В обоих случаях (при ~ 2 и 8% Si) качественно меняется интервал кристаллизации (рис. 12 а).

На рисунке 12 части диаграмм состояния и кривые ЛУ даны вне масштаба, качественно.

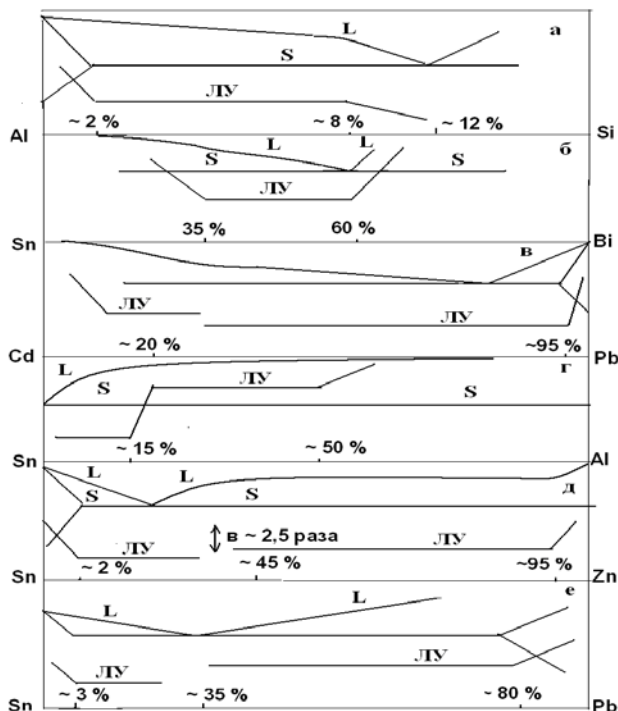


Рисунок 12 – Схематизированные части диаграмм фазового равновесия с экстремумами линейной усадки двойных сплавов

В системе Sn – Bi концом площадки ЛУ отвечает эвтектическая точка и изгиб ликвидуса, т.е. качественные изменения интервала кристаллизации (рис. 12 б).

В системе Cd – Pb концу площадок ЛУ при ~ 20% Pb отвечает изгиб ликвидуса и конец эвтектической горизонтали при ~ 95% Pb, где имеют место качественные изменения интервала кристаллизации (рис. 14 в).

В системе Sn – Al концом площадок при ~ 15% Al и ~ 50% Al отвечают качественные изменения интервала кристаллизации из-за изгибов ликвидуса (рис. 12 г).

Две площадки ЛУ в системе Sn – Zn отвечают изгибу ликвидуса при ~ 55% Sn и ~ 95% Zn. При ~ 98% Sn находится конец эвтектической горизонтали (рис. 12 д). Отметим, что ЛУ при ~ 45% Zn скачкообразно увеличивается в ~ 2,5 раза.

Площадка ЛУ в системе Sn – Cd простираются от конца эвтектической горизонтали (~ 95% Sn до ~ 30% Sn, где имеет место изгиб ликвидуса).

Две площадки в системе Sn – Pb отвечают эвтектической точке (~ 65%

Sn) и концам эвтектической горизонтали (~ 20 и ~ 97% Sn) (рис. 12 *e*). Во всех трех случаях качественное изменение интервала кристаллизации очевидно.

От линейной усадки вернемся к наследственности. При ~ 2% Si расплав имеет максимальную вязкость, что «часто» [2] (Арсентьев П.П., Коледов Л.А.) является признаком наличия промежуточной фазы (интерметаллида) в твердом состоянии.

При ~ 8% Si на кривых магнитной восприимчивости и электросопротивления отчетливые экстремумы как в жидком, так и в твердом состоянии. Это привело Г.Г. Крушенко [9], с коллегами к признанию «сильного взаимодействия между атомами алюминия и кремния в твердом и жидком состояниях по типу связи в интерметаллических соединениях».

Таким образом, неизменность усадки в интервале ~ 2 – 8% Si обусловлена взаимодействием атомов, подобно наблюдаемому в интерметаллидах.

На основании анализа литературных данных по физико-механическим и технологическим свойствам двойных сплавов установлен критерий (качественное изменение интервала кристаллизации), позволяющий установить связь свойств двойных сплавов с диаграммами фазового равновесия.

Установленный критерий позволяет дать объяснение существующим аномалиям физико-механических и технологических свойств двойных сплавов, а также прогнозировать последние по виду диаграммы состояния.

Литература

1. Burns K.W., Pickering F.B. Deformation and fracture of ferrite-perlite structures // *Jorn. Of the Iron and steel institute*. 1964. V. 202. № 11. P. 899-906.
2. Арсентьев П.П., Коледов Л.А. Металлические расплавы и их свойства // М.: Металлургия. 1976. 376 с.
3. Бочвар А.А. Металловедение // М.: Металлургия. 1956. 495 с.
4. Вол А.Я. Строение и свойства двойных металлических систем // М.: Гос. изд-во физ.-мат. Литературы. 1959. 755 с.
5. Гудремон Э. Специальные стали // М.: Металлургиздат. 1959. 952 с.
6. Кашенко Г.А. Основы металловедения // М.: Металлургиздат, 1949. 639 с.
7. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов // М.: Металлургия. 1972. 480 с.
8. Корольков А.М. Литейные свойства металлов и сплавов // М.: Наука. 1967. 199 с.
9. Крушенко Г.Г. О некоторых особенностях структурно-чувствительных характеристик сплавов Al – Si // *Изв. АН СССР. Металлы*. 1977. № 4. С. 204-207.
10. Курганов Ю.А. Влияние дискретной добавки оксида алюминия на структуру и свойства алюминиевого сплава // *Записки Горного института*. 2020. Т. 228. С. 717-721.
11. Курнаков Н.С. Избранные труды. В 3-х т. Т.2 // М.: Изд-во АН СССР. 1961. 611 с.
12. Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литых сплавах // М.: Машиностроение. 2005. 476 с.
13. Обергоффер П. Техническое железо // М.: Л. Металлургиздат. 1940. 535 с.

- 14.Пряхин Е.И. Основные положения и проблемы технологии ЭЛС применительно к изготовлению конструкций из алюминиево-магниевых сплавов // Записки Горного института. 2020. Т. 229. С. 84-91.
- 15.Савицкий Е.М. Влияние температуры на механические свойства металлов и сплавов // М.: Изд. АН СССР. 1957. 295 с.

УДК 678.021:004.94

Расчет характеристик многослойных плетеных преформ

А.А. Смердов, доктор технических наук,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва,

А.В. Чесноков, доктор технических наук, зав. Лабораторией,

Ф.А. Грачев, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

На сегодняшний день не существует единого подхода к оценке и расчету характеристик плетеных преформ. В данной работе, предложен алгоритм оценки физико-механических характеристик изделий из ПКМ, УУКМ и УККМ на основе многослойных плетеных преформ. Рассмотрена взаимосвязь между физико-механическими характеристиками и схемой армирования преформы.

Композиционные материалы, плетение, преформа, матрица жесткости, схема армирования, физико-механические характеристики (ФМХ).

Calculation of characteristics of multi-layer braided preforms

A.A. Smerdov, Doctor of Technical Sciences,

Bauman's Moscow State Technical University, Moscow,

A.V. Chesnokov, Doctor of Technical Sciences, head of laboratory,

F.A. Grachev, graduate student,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,

pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

To date, there is no single approach to assessing and calculating the characteristics of braided preforms. In this article, an algorithm for assessing the physical and mechanical characteristics of products made of PCM, Carbon Carbon Composite Material and Carbon Ceramic Composite Material based on multilayer braided preforms is proposed. The relationship between the physical and mechanical characteristics and the preform reinforcement scheme is considered.

Composite materials, braiding, preform, matrix of stiffness, reinforcement scheme, Physical and mechanical characteristics (PMC).

Конструкции из композиционных материалов успешно применяются в аэрокосмической, морской, автомобильной и энергетической промышленности [1]. При производстве этих конструкций все больше применяется направленная

укладка волокна и радиальное плетение [2]. Плетение позволяет обеспечить высокий уровень автоматизации производства. Плетение обеспечивает структурную целостность материала преформы и гибкость проектирования конструкции при низкой стоимости производства [3]. Благодаря разнообразию приложений и новых возможностей плетение имеет большие перспективы в области производства деталей замкнутой формы из композиционного материала [4].

Исследованию процесса плетения посвящен ряд работ [5, 6] в которых авторы рассматривают образование переплетения волокон без учета влияния схемы армирования на характеристики конечного изделия. Многослойные плетеные преформы не имеют на сегодняшний день общепризнанных подходов к построению моделей, позволяющих провести оптимизацию армирования материалов по заданным критериям. Такие модели разработаны для тканых структур, однако композиты на основе плетеных преформ отличаются от них рядом существенных особенностей.

Первое отличие данного класса материалов от традиционных слоистых (в том числе тканых) структур – в том, что эти материалы состоят из отдельных структурных элементов, размеры поперечного сечения которых не являются малыми по сравнению с толщиной слоя (если слой вообще можно выделить) и даже с толщиной всего материала, образующего стенку изделия. Эти элементы могут быть названы жгутами, плочеными нитями или стержнями (как они называются для моделей пространственно-армированных УУКМ и УККМ). Сечение армирующего элемента может изменяться от круглого и овального до практически прямоугольного. Жесткость таких армирующих элементов в направлении их осей чрезвычайно велика и может на два порядка превосходить как жесткость соединяющей их среды, так и жесткость самих стержней в поперечном направлении.

Важно, что армирующие элементы не образуют сплошного слоя – второе отличие. Неоднородность рассматриваемых материалов настолько велика, что для них ставится под вопрос использование привычных понятий теории упругости и, шире, механики сплошной среды. Так, например, находясь в рамках двумерных моделей, мы убеждаемся, что понятие «средний модуль упругости» не может быть применено практически ни к какому представительному элементу, поскольку критерии его осреднения должны быть разными при работе на растяжение-сжатие и изгиб. Если же говорить о распределении локального модуля упругости по поперечному сечению, то он изменяется от нулевой величины до значений, характерных для жесткости волокна в направлении армирования. При определении средних жесткостных характеристик требуется проинтегрировать эту величину, что не всегда возможно.

Третье отличие заключается в том, что для плетеных преформ часто затруднительно не только указать отдельный слой, но и вообще определить четкие границы стенки конструкции. Во всех расчетных моделях пластин, панелей и оболочек, в которых дальше должна использоваться разрабатываемая модель материала, используется понятие стенки постоянной (или изменяющейся по заданному закону) толщины. В данном же случае, эти значения могут различаться в 1,5-1,7 раза. Если при этом вспомнить, что при определении изгибных жесткостей толщина возводится в третью степень, получается, что в зависимости от принятого при расчете результата измерения рассчитываемая величина может

измениться в 5 раз.

Приведенные доводы означают, что при изучении характеристик образцов КМ на основе плетеных преформ в виде пластин, панелей и оболочек не только невозможно применение в полном объеме моделей слоистой среды, применяемых для намоточных или выкладочных материалов (в том числе тканых), но и не всегда возможно выделение отдельных характеристик материала среди характеристик элемента конструкции. Рассмотрим примеры изучаемых структур, подтверждающие выдвинутые положения.

На рисунке 1 представлены фотографии одного из изделий на основе плетеных преформ с внутренним диаметром 270 мм. На рисунке 1 «а» показано готовое изделие, на рисунке 1 «б» и «в» – укладка и размеры однонаправленных элементов (плоских нитей), на рисунке 1 «г» и «д» – фотографии ячеек структуры получившейся плетеной стенки и их размеры.

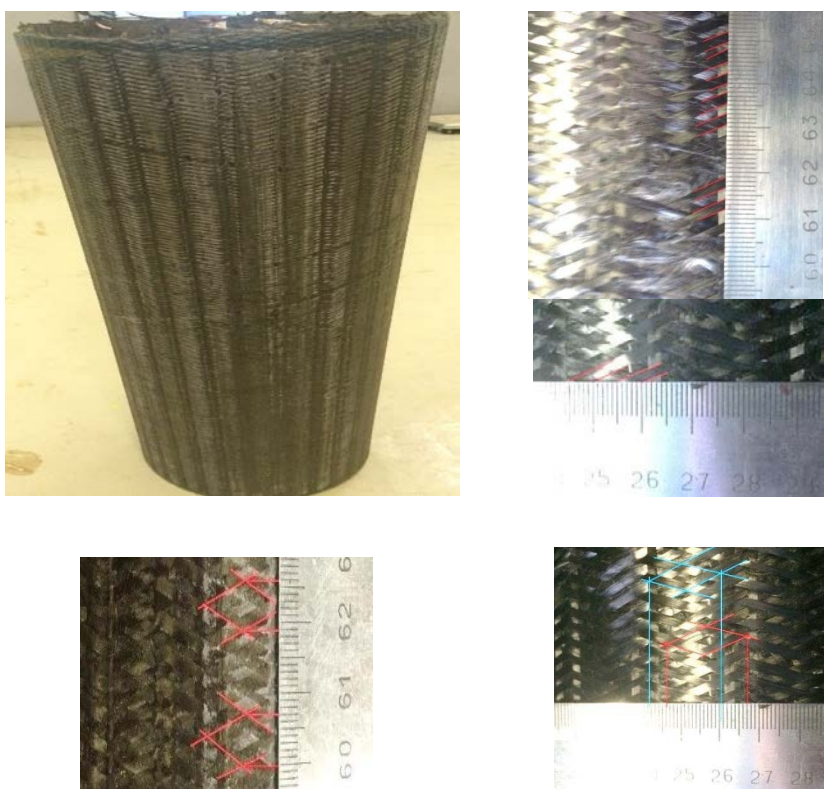


Рисунок 1 – Тонкостенная цилиндрическая оболочка на основе плетеной преформы и размеры однонаправленных элементов

Рассмотрим характеристики плетеного элемента конструкции и связь этих характеристик с характеристиками композитного материала и его элементов.

Для элемента конструкции в виде пластины, панели или оболочки основ-

ные жесткостные характеристики могут быть записаны в виде элементов матрицы жесткости стенки этой пластины, панели или оболочки [7, 8, 9]. Эта матрица связывает вектор погонных силовых факторов: погонных сил T_x, T_y, T_{xy} и распределенных моментов M_x, M_y, M_{xy} с вектором деформаций $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ и изменений кривизн $\kappa_x, \kappa_y, \kappa_{xy}$ координатной поверхности панели или оболочки [10]. Данная связь записывается в виде:

$$\begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} B_{xx} & B_{xy} & B_{xs} & -C_{xx} & -C_{xy} & -C_{xs} \\ B_{xy} & B_{yy} & B_{ys} & -C_{xy} & -C_{yy} & -C_{ys} \\ B_{xs} & B_{ys} & B_{ss} & -C_{xs} & -C_{ys} & -C_{ss} \\ -C_{xx} & -C_{xy} & -C_{xs} & D_{xx} & D_{xy} & D_{xs} \\ -C_{xy} & -C_{yy} & -C_{ys} & D_{xy} & D_{yy} & D_{ys} \\ -C_{xs} & -C_{ys} & -C_{ss} & D_{xs} & D_{ys} & D_{ss} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где B_{ys}, B_{ss} – мембранные жесткости, $C_{xx}, C_{xy}, C_{yy}, C_{xs}, C_{ys}, C_{ss}$ – смешанные (мембранно-изгибные) и $D_{xx}, D_{xy}, D_{yy}, D_{xs}, D_{ys}, D_{ss}$ – изгибные жесткости стенки.

Выражение (1) справедливо в самом общем случае анизотропии, когда стенка панели или оболочки не является ни ортотропной в осях x, y [7, 9], ни симметричной относительно своей срединной поверхности. Оси x, y для прямоугольных пластин параллельны сторонам пластины; для цилиндрических и конических оболочек ось x направлена по образующей, ось y – в кольцевом направлении; z – радиальная координата для панелей и оболочек (для плоских пластин составляет обычную декартову систему координат с осями x, y). Исследуемые плетеные структуры являются ортотропными в указанных осях и симметричны относительно срединной поверхности пластины, панели или оболочки. В этом случае в выражении (1) мембранно-изгибные жесткости $C_{xx}, C_{xy}, C_{yy}, C_{xs}, C_{ys}, C_{ss}=0$.

Для традиционных многослойных структур мембранные и изгибные жесткости выражаются через четыре константы упругости материала каждого слоя [7, 8, 9]:

$$\begin{aligned} B_{xx} &= \sum_{i=1}^n g_{xx}^{(i)} (z_i^3 - z_{i-1}^3) & D_{xx} &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n g_{xx}^{(i)} (z_i^3 - z_{i-1}^3) \\ B_{xy} &= \sum_{i=1}^n g_{xy}^{(i)} (z_i^3 - z_{i-1}^3) & D_{xy} &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n g_{xy}^{(i)} (z_i^3 - z_{i-1}^3) \\ B_{yy} &= \sum_{i=1}^n g_{yy}^{(i)} (z_i^3 - z_{i-1}^3) & D_{yy} &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n g_{yy}^{(i)} (z_i^3 - z_{i-1}^3) \\ B_{ss} &= \sum_{i=1}^n g_{ss}^{(i)} (z_i^3 - z_{i-1}^3), & D_{ss} &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n g_{ss}^{(i)} (z_i^3 - z_{i-1}^3). \end{aligned} \quad (2)$$

В выражениях (2) коэффициенты матриц жесткости отдельных слоев $g_{xx}^{(i)}$, $g_{xy}^{(i)}$, $g_{yy}^{(i)}$, $g_{ss}^{(i)}$ определяются согласно [9]; z_i и z_{i-1} – координаты нижней и верхней границ i -го слоя, отсчитываемые от серединной поверхности стенки.

Плетеные слои не являются сплошной средой, или средой с заданной пористостью, а имеют существенную неоднородность на макроуровне: незаполненные промежутки между отдельными жгутами по типу «микросетчатых структур» [10].

Одним из важнейших структурных параметров является площадь поперечного сечения жгута, которая зависит от параметров плетения и в первую очередь от натяжения жгутов при плетении. Площадь жгута $S_{ж}$ можно оценить экспериментально или зная объемную долю волокна v_f .

Ориентацию структурных элементов каждого семейства можно описать с помощью угла наклона оси i -го элемента к оси x : φ_i . Шаг t_i для каждого семейства означает кратчайшее расстояние по поверхности между соседними элементами этого семейства, как это показано на рисунке 1.

На рисунке 1 хорошо виден еще один параметр – ширина жгута h_i . Его можно измерить непосредственно, толщину жгута нити δ_i при неразрушающем контроле можно оценить лишь косвенно, по общей толщине монослоя.

Для обозначения степени заполненности структуры армирования полезно ввести понятие индекса каждого семейства жгутов. Индекс равен отношению ширины жгута h_i к шагу t_i . Если жгуты уложены с нахлестом, то этот индекс будет больше единицы, если между жгутами есть расстояние, то индекс будет меньше единицы. Таким образом, возникают обозначения структур типа $0_{0,45/\pm 60^\circ_{0,905}}$, приведенные далее.

При обозначении схемы армирования примем в качестве эталонного слой, в котором жгуты располагаются вплотную друг к другу. Жгут УКН-6К при плетении в винтовых слоях имеет ширину примерно 2 мм (рис. 1), продольные жгуты – несколько уже, но примем и для них номинальное значение ширины жгута 2 мм. Тогда эталонный слой, в котором жгуты расположены с шагом $t = 2$ мм будет обозначаться указанием угла укладки волокон без индекса внизу. Все остальные слои будут обозначаться указанием угла укладки волокон с индексом, равным отношению ширины жгута к шагу t . Таким образом, для оболочек $D = 270$ мм средний шаг между продольными жгутами равен $\pi D / 64 = 13,25$ мм, индекс равен $2/13,25 = 0,15$. Для винтовых слоев этих оболочек при угле укладки относительно продольной оси 65° шаг $t = 13,25 \cos 65^\circ = 5,60$ (мм), индекс равен $0,36$. Тогда схема армирования этой оболочки $0_{0,15/\pm 65^\circ_{0,36}}$ (индекс относится к каждому из винтовых слоев). Для других структур тогда получим: $0_{0,15/\pm 45^\circ_{0,21}}$, $0_{0,15/\pm 80^\circ_{0,87}}$, $\pm 60^\circ_{0,30}$. Для трубчатых образцов $D = 45$ мм средний шаг между продольными жгутами равен $\pi D / 32 = 4,418$ мм, индекс для продольных жгутов равен $2/4,418 = 0,45$, обозначения структур $0_{0,45/\pm 60^\circ_{0,905}}$, $\pm 60^\circ_{0,905}$.

Здесь фактически индексы вычислены для внутреннего слоя, лежащего на оправке, для других слоев диаметр будет несколько увеличиваться, но для тонкостенных оболочек увеличением диаметра слоя можно пренебречь как величиной второго порядка малости.

Рассмотрим связь объемного процентного содержания волокон с углом укладки винтовых слоев и толщиной слоя, получаемого за один проход плетения, при остальных параметрах, соответствующих изготовленным оболочкам.

Рассмотрим кольцо из оболочки с внутренним диаметром D , толщиной h и шириной b , винтовые жгуты идут под углом α к оси. Тогда длина отрезка жгута, расположенного в пределах кольца шириной b , равна $b/\cos \alpha$. Для оболочек с наличием продольных и винтовых жгутов количество жгутов каждого направления равно N . Тогда общая длина винтовых и продольных жгутов в рассматриваемом кольце равна

$$L_{\text{ж}} = N(2/\cos \alpha + 1) b. \quad (3)$$

Объемное содержание волокон в рассматриваемом элементе равно объему жгутов, равному $S_f L_{\text{ж}}$, отнесенному к объему кольца:

$$v_{\text{в}} = \frac{N \cdot S_f \left(\frac{2}{\cos \alpha} + 1 \right)}{\pi(D+h)h}. \quad (4)$$

Если продольные жгуты отсутствуют, то вместо (4) получим:

$$v_{\text{в}} = \frac{N \cdot S_f \frac{2}{\cos \alpha}}{\pi(D+h)h}. \quad (5)$$

Для трубчатых образцов при $D = 45$ мм количество жгутов каждого направления в каждом проходе плетения было равно $N=32$ при $D = 270$ мм, $N=64$.

На рисунке 2 приведены зависимости объемного процентного содержания волокон как функции углов укладки винтовых слоев при разных значениях толщины одного прохода. Видим на рисунке 2, что при углах укладки винтовых слоев $45^\circ \div 65^\circ$ для оболочек $D = 270$ мм как с продольными, так и без продольных жгутов, характерно низкое ($30 \div 50\%$) содержание волокон в слоях. Увеличить это содержание можно, только увеличив количество жгутов в каждом слое.

При угле укладки винтовых слоев 80° с продольными жгутами содержание волокон около 60% , т.е. ближе к оптимальному. Для оболочек $D = 45$ мм при углах укладки винтовых слоев 60° процентное содержание волокон несколько выше (около $40 \div 55\%$), чем для оболочек большого диаметра с такими же углами укладки волокон.

При плетении для каждого сочетания технологических параметров (углов и шага укладки жгутов, площади сечения жгута, средней реализуемой толщины слоя при одном проходе) существует предельное значение относительного содержания волокон. При хорошей пропитке расстояния между жгутами заполняются связующим, при неполной пропитке – частично остаются пустыми. Характеристики прочности и жесткости оболочек существенным образом будут зависеть от содержания волокон и связующего в слоях.

Выводы:

Изделия на основе многослойных плетеных преформ не состоят из постоянных по толщине и однородных по площади поверхности слоев. Связь между характеристиками получаемой детали и параметрами структуры необходимо задавать в расширенном виде по сравнению с однородными композиционными ма-

териалами.

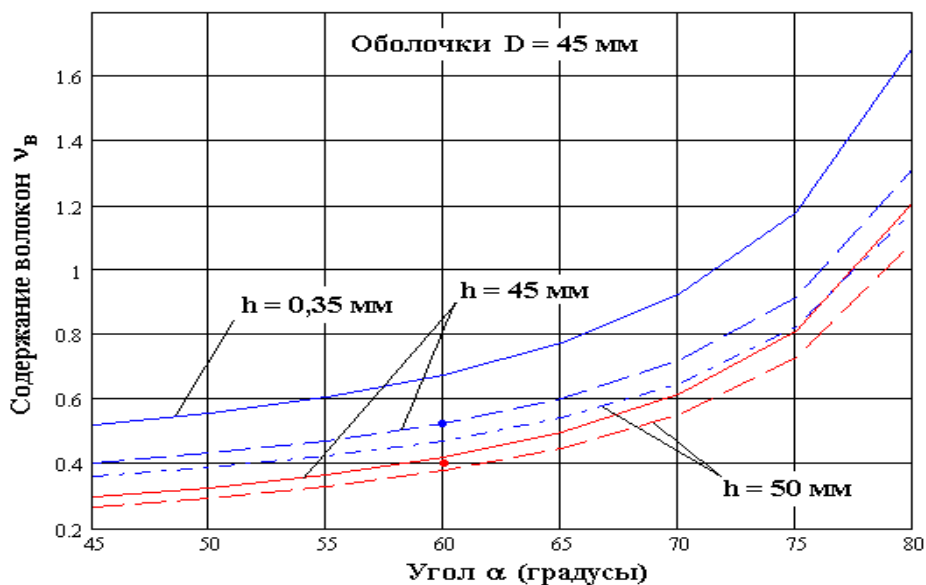
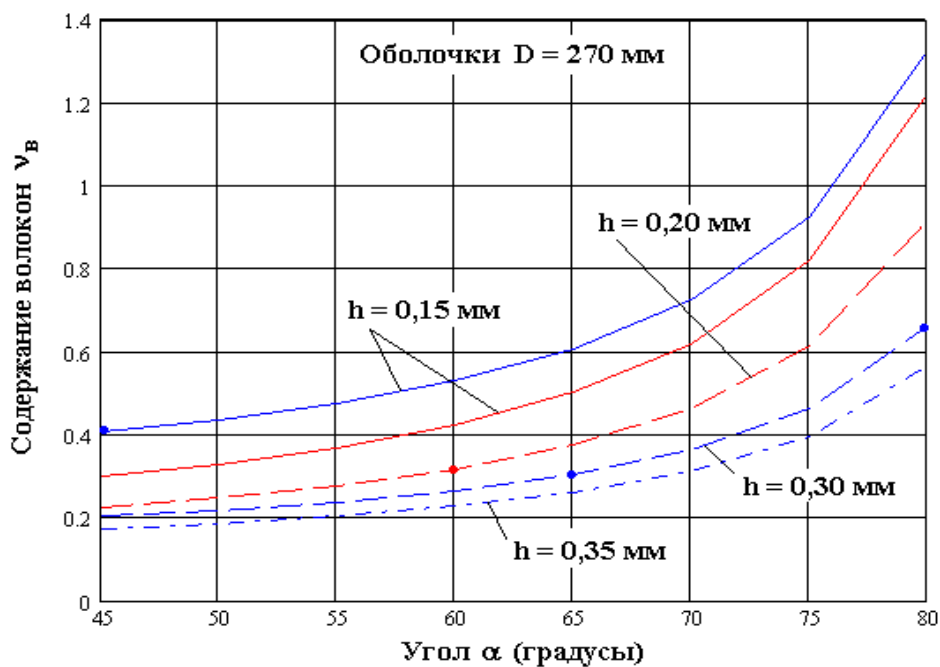


Рисунок 2 – Объемное содержание волокон в зависимости от углов укладки винтовых слоев (красные линии – при отсутствии продольных жгутов, синие – при наличии продольных слоев, h – условная толщина слоя при одном проходе плетения, точки – примерные значения для изготовленных оболочек)

Одним из ключевых параметров многослойных преформ оказывающих влияние на физико-механические характеристики детали является схема армирования преформы и ее наполнение волокном. Получены зависимости параметров плетения на схему армирования преформы и ее наполнение волокном, выявлены технологические ограничения и рекомендации.

Литература

1. Халиулин В.И., Хилов П.А., Торопцова Д.М. О перспективах применения TFR-технологии при производстве авиационных композитных деталей // Известия вузов. Авиационная техника. 2015. № 4. С. 127-132.
2. Самипур С.А., Халиулин В.И., Батраков В.В. Технология изготовления плетеных сетчатых конструкций летательных аппаратов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 2. С. 83-89.
3. Saeed M.U., Chen Zh.F., Li B.B. Manufacturing strategies for microvascular polymeric composites: A review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2015. № 78. P. 327-340.
4. Самипур С.А., Халиулин В.И., Батраков В.В. Разработка технологии изготовления композитных трубчатых элементов авиакосмического назначения методом радиального плетения // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2018. № 3. С. 90-95.
5. Braiding Technology for Textiles. Principles, Design and Processes Y. Kyosev. Woodhead Publishing. 2015. 416 p.
6. Самипур С.А., Халиулин В.И., Батраков В.В. Методика расчета параметров процесса подготовки преформы радиальным // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 3. С. 89-95.
7. Алфутов Н.А., Зиновьев П.А., Попов Б.Г. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов // М.: Машиностроение. 1984-264 с.
8. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов // М.: Машиностроение. 1988-272 с.
9. Зиновьев П.А., Смердов А.А. Оптимальное проектирование композитных материалов // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006-103 с.
10. Балабух Л.И., Алфутов Н.А., Усюкин В.И. Строительная механика ракет // М.: Высшая школа. 1984- 391 с.

Адрес редакции:
141070, Королев,
Ул. Октябрьская, 10а
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),
E-mail : rio-kimes@mail.ru,
Site:www. unitech-mo.ru

Подписано в печать 15.12.2020
Формат В5
Печать офсетная. Усл.печ.л. 9,6
Тираж 500 экз.
Заказ № 82-13
Отпечатано
в типографии
ООО «Научный консультант»
г. Москва
Хорошевское шоссе, 35, корп.2
Тел.: +7 (926) 609-32-93,
+7 (499) 195-60-77
E-mail :keyneslab@gmail.com
Site:www.n-ko.ru