

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

СЕМЬДЕСЯТ ТРЕТЬЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП
(13–17 апреля 2020 г.)

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов



УДК 001
ББК 72
С30

С30 Семьдесят третья Международная студенческая научная конференция ГУАП (13–17 апреля 2020 г.): сб. докл.: в 5 ч. Ч. 1: Технические науки. – СПб.: ГУАП, 2020. – 317 с.
ISBN 978-5-8088-1505-6 (Ч. 1)
ISBN 978-5-8088-1504-9

Представлены доклады Семьдесят третьей Международной студенческой научной конференции ГУАП, прошедшей в апреле 2020 г.

Научные работы студентов ГУАП посвящены актуальным проблемам авиационного и аэрокосмического приборостроения, проблемам развития новых информационных технологий, радиотехники, электроники и связи, современным проблемам экономики, философии и права.

Под общей редакцией
доктора технических наук,
профессора *В. Ф. Шишлакова*

Редакционная коллегия конференции

Председатель редакционной коллегии:
В. Ф. Шишлаков, доктор технических наук, профессор

Члены редакционной коллегии:
А. Р. Бестугин, доктор технических наук, профессор
А. В. Бобович, заместитель председателя совета УНИДС
В. М. Боер, доктор юридических наук, профессор
А. С. Будагов, доктор экономических наук, доцент
К. В. Лосев, доктор экономических наук, доцент
Н. Н. Майоров, кандидат технических наук, доцент
М. О. Самоловов, директор РИЦ
Е. Г. Семенова, доктор технических наук, профессор
М. Б. Сергеев, доктор технических наук, профессор
А. М. Тюрликов, доктор технических наук, профессор
Н. А. Чернова, кандидат экономических наук

Ответственный секретарь редакционной коллегии *Л. И. Корнеева*

ISBN 978-5-8088-1505-6 (Ч. 1)
ISBN 978-5-8088-1504-9

© Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения, 2020

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Аэрокосмические измерительно-вычислительные комплексы

УДК 629.053

В. С. Аронов

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. В. Перлюк – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Беспилотный автомобиль – транспортное средство, оснащенное системой автоматического управления для осуществления функции передвижения без участия водителя.

Основными преимуществами беспилотного автомобиля можно назвать [1]:

- перевозку грузов в опасных и труднодоступных зонах, боевых условиях;
- экономию времени, затрачиваемого на управление транспортом, возможность отдыха;
- возможность управления транспортом людям с ограниченными возможностями;
- сокращение числа транспортных происшествий.

В настоящее время существует два подхода к созданию беспилотных транспортных средств: автоматизация отдельных режимов работы и комплексная автоматизация. В рамках решения задачи автоматизации отдельного режима работы автомобиля, необходимо получить информацию об оценке эксплуатационных качеств транспортного средства, для достижения этой цели применяется метод создания математической модели динамики беспилотного АТС, виды уравнений динамики будут определять адекватность моделируемых процессов реальным. Одним из пунктов в реализации данного метода является моделирование регистрирующих и измерительных устройств системы управления движением беспилотного АТС [2, 3].

Целью данной работы является создание математической модели датчика угловой скорости.

Датчик угловой скорости в автомобиле может быть применен для решения ряда задач, таких как, например, определение скорости движения автомобиля, что позволяет определить частоту вращения вала двигателя [4]. Рассмотрим моделирование датчика частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания, для построения модели будем использовать среду программирования MATLAB/Simulink.

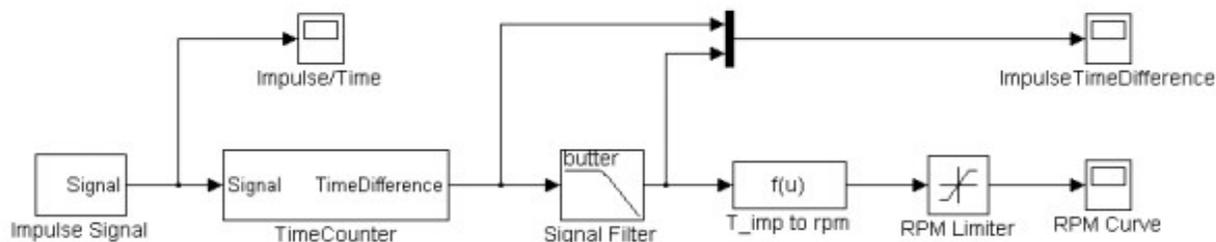


Рис. 1. Общий вид модели датчика угловой скорости

Для симуляции изменения частоты вращения вала, скорость которого надо измерить в рамках текущей задачи применяется генератор импульсного сигнала (ImpulseSignal). Для задания процесса изменения частоты импульсов используется блок Signal Builder, особенностью этого блока является возможность задать закон изменения выходного сигнала вручную по точкам. Далее, в следующем блоке происходит генерация сигнала, выходным графиком которого будет синусоида с заданной амплитудой. В следующем блоке происходит квантование с шагом 1, что позволяет задать графику прямоугольную форму.

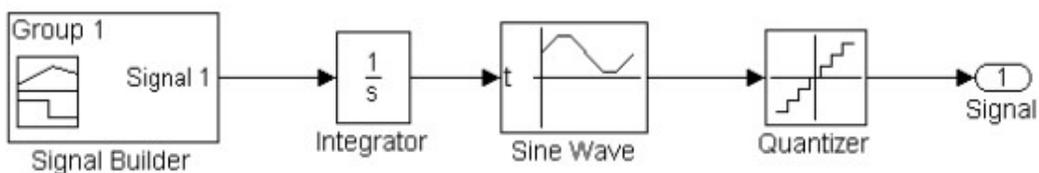


Рис. 2. Схема генератора импульсного сигнала

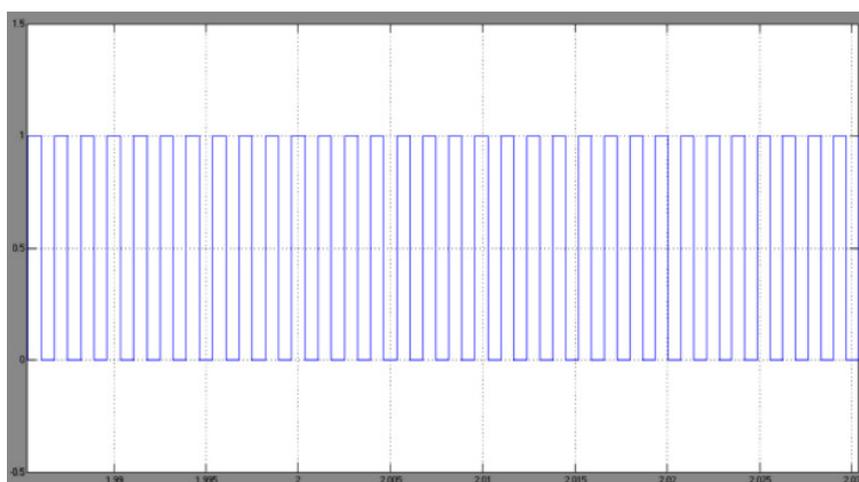


Рис. 3. Сигнал, поступающий с датчика

Поскольку работа в модели ведется с двумя последовательными импульсами, в общую схему модели введен блок TimeCounter, позволяющий задать частоту временного интервала между ними. Сущность работы данного блока заключается в определении разности значений по времени между двумя импульсами, которые были сгенерированы последними.

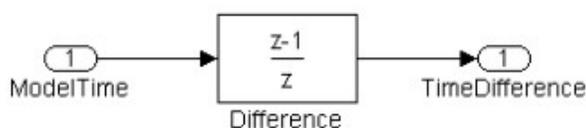


Рис. 4. Схема подсистемы

Входная величина в этом блоке – время симуляции. При помощи блока дифференциации подсистема вычисляет разность между временными интервалами в момент времени, в котором система приводилась в активность, и текущим моментом

В блоке вычисления частоты вращения происходит расчет в оборотах в минуту. Входная величина – разность времени между двумя соседними импульсами, при помощи формулы из нее можно получить частоты вращения двигателя:

$$nd = \frac{60}{n\Delta t},$$

где n – число импульсов за один оборот; Δt – величина интервала времени в секундах.

Для ограничения рассчитанной частоты вращения используется ограничительный блок, функцией которого является установка верхнего и нижнего пределов, т. е. величине холостого хода и максимальной частоты вращения, в данном случае (500–5000 оборотов в минуту).

Рассмотрим зависимость частоты оборотов двигателя (рис. 5).

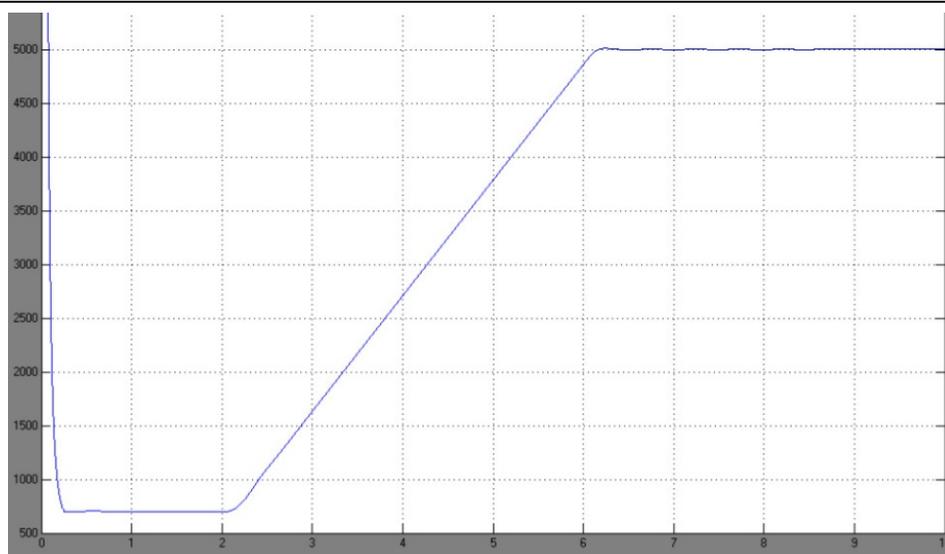


Рис. 5. Схема зависимости частоты оборотов двигателя

На рис. 5 мы можем наблюдать зависимость частоты оборотов двигателя в разных режимах работы: холостой ход, увеличение оборотов и поддержание постоянной частоты вращения.

В схеме также присутствует фильтр сигнала, который обеспечивает защиту от внезапных скачков показаний датчика. Применение фильтра обусловлено тем фактом, что изменение частоты вращения материального объекта не может происходить моментально. В данном случае частота среза будет равна 10 рад/с.

Разность между двумя импульсами можем отследить по графику, показанному на рис. 6.

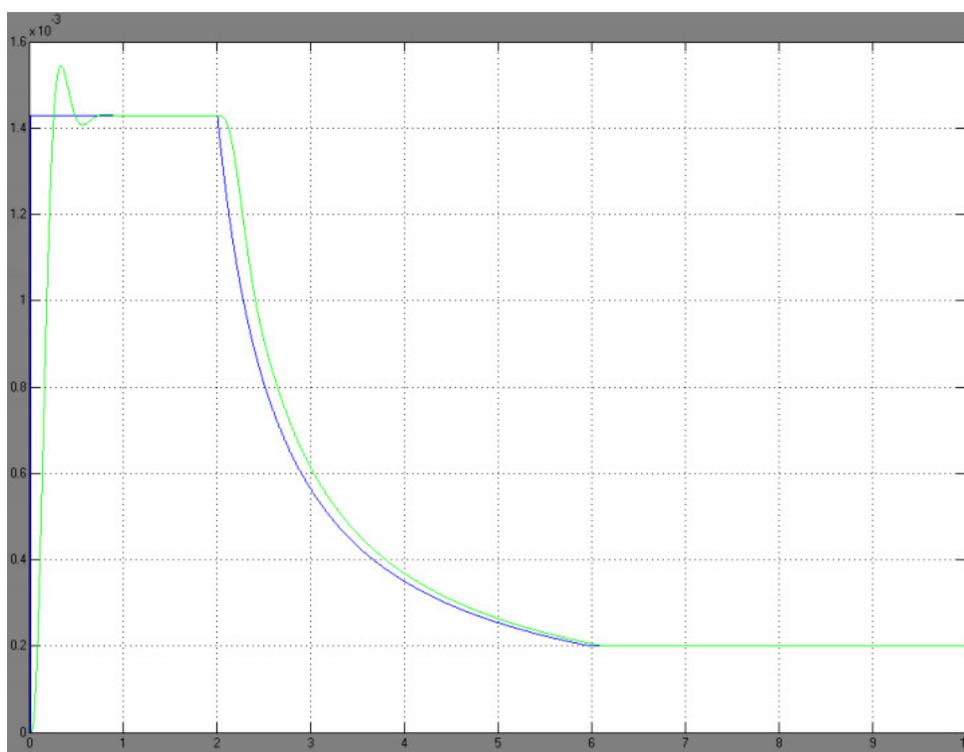


Рис. 6. Графики импульсов после фильтрации

В результате проведенных исследований была разработана математическая модель датчика угловой скорости, работающего в составе системы автоматического управления беспилотным автомобилем. Графики, полученные при моделировании, доказали работоспособность модели датчика при измерении параметров движущегося транспортного средства. Результаты, полученные в ходе

исследования, могут быть использованы для разработки комплексной математической модели системы автоматического управления беспилотным автомобилем.

Библиографический список

1. *Смирнов Г.* Теория движения колесных машин: учеб. для вузов. 2-е изд. М., 1990. С. 352–354.
2. *Голь С. А., Нгуен Т. Н., Погудаев А. А.* Аппаратное обеспечение беспилотной системы управления автомобилем с механической коробкой передач // Вестн. Рязан. гос. радиотехн. ун-та. 2013. № 4. Вып. 46, ч. 3. Рязань: РГРТУ, 2013. С. 12–18.
3. *John Leonard, Jonathan How, Seth Teller.* A Perception-Driven Autonomous Urban Vehicle // Journal of Field Robotics. 2008. P. 1–48.
4. *Dennis J. Plank.* Vehicle to vehicle comparison of the tire and chassis dynamics. Выходные данные, 2007.

УДК 629.7.058.45

А. А. Беляев

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Б. Л. Бирюков – старший преподаватель – научный руководитель

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ЛЕГКОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (НА ПРИМЕРЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ)

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) повсеместно внедряются во все сферы жизнедеятельности современного человека. Данный фактор обусловлен тем, что на сегодняшний день происходит интенсивное развитие технологий в области аэродинамики, а также спутниковых и инерциальных систем, робототехники и компьютерных технологий.

Именно БПЛА вошли в нашу жизнь в качестве незаменимого помощника деятельности современных предприятий и частных компаний. Наиболее востребованными направлениями в применении беспилотных летательных аппаратов являются военные и спасательные операции, правоохранительная и природоохранительная деятельность, мониторинг различных ситуаций, а также множество других сфер жизни общества.

Математической моделью продольного движения ЛА является система следующих нелинейных дифференциальных уравнений:

$$I_z \dot{\omega}_z = M_z, \quad (1)$$

$$m \frac{dV}{dt} = mV = P \cos \alpha - X_a - mg \sin \theta. \quad (2)$$

$$mV \dot{\theta} = Y_a + P \sin \alpha - mg \cos \theta. \quad (3)$$

Для большинства режимов полета и большинства компоновок пилотируемых летательных аппаратов самолетной схемы движение летательного аппарата можно представить в виде двух колебательных движений, различной частоты и степени затухания. Эти движения получили названия короткопериодических и длиннопериодических или фугоидных. Причиной возникновения первых движений является расхождение от равновесия моментов вокруг оси OZ_a , что приводит к вращению летательного аппарата относительно центра масс и изменению углов α и ϑ . При этом скорость невозмущенного линейного движения практически не меняется. Нарушение внешних сил, действующих в продольной плоскости летательного аппарата, вызывает длиннопериодические движения, как следствие – меняется скорость полета.

Для получения линейных уравнений продольного движения летательного аппарата к уравнениям (1)–(3) применяется метод малых возмущений.

Автоматическое регулирования скорости полета ЛА при продольном движении можно осуществить по схеме, показанной на рис. 1; 2.

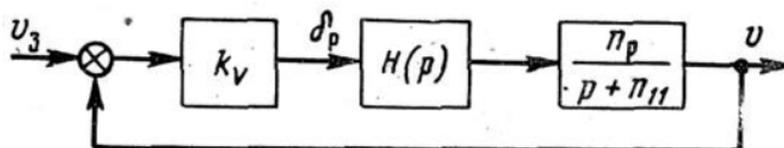


Рис. 1. Структурная схема статического регулирования скорости полета: $H(p)$ – передаточная функция авиадвигателя; k_v и k_v – передаточные числа

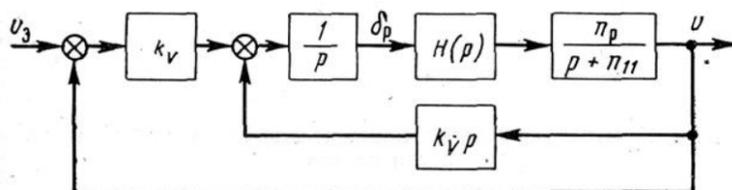


Рис. 2. Структурная схема астатического регулирования скорости полета

Рассматривая динамику процессов при управлении скоростью полета, будем считать, что угловые движения ЛА стабилизируются быстродействующим автопилотом.

Анализируя математическую модель системы, необходимо отметить, что уравнения движения автоматов скорости, с учетом передаточной функции авиадвигателя, представляются в следующем виде:

– для статической –

$$\delta_\rho = -\frac{1}{\tau s + 1} [k_v (v - v_3)]; \quad (4)$$

– для астатической –

$$\delta_\rho = -\frac{1}{\tau s + 1} \left[\frac{k_v (v - v_3) + k_v s v}{s} \right]. \quad (5)$$

Для электродвигателя:

– для статической –

$$\delta_\rho = \frac{k_e k_m}{(L_\rho s + R) J_\rho} [k_v (v - v_3)]; \quad (6)$$

– для астатической –

$$\delta_\rho = \frac{k_e k_m}{(L_\rho s + R) J_\rho} \left[\frac{k_v (v - v_3) + k_v s v}{s} \right]. \quad (7)$$

Угловые движения не учитываются. В таком случае математическая модель самолета как объекта управления может быть представлена уравнением

$$(s + a_{11})v = c_\rho \delta_\rho + s v_x. \quad (8)$$

Для астатического автомата скорости полета решаются уравнения (5) и (8):

$$\frac{1 + a_{11}\tau}{\tau} = A_1 \omega; \quad \frac{a_{11} + c_\rho K_v}{\tau} = A_2 \omega^2; \quad \frac{c_\rho K_v}{\tau} = \omega^3, \quad (9)$$

где A_1 и A_2 – параметры Вышнеградского; ω – собственная частота системы.

Из уравнения (9) находим

$$K_v = \frac{(1 + a_{11}\tau)^3 \tau}{A_1^3 c_\rho}; \quad K_\rho = \frac{A_2 (1 + a_{11}\tau)^2 \tau - a_{11} A_1^2}{A_1^2 c_\rho}. \quad (10)$$

Для моделирования системы в работе были рассмотрены математические модели бесколлекторного электродвигателя (рис. 3), статического регулятора скорости полета (рис. 4), астатического регулятора скорости полета (рис. 5). Данные схемы были построены в графической среде имитационного моделирования Simulink пакета MatLab.

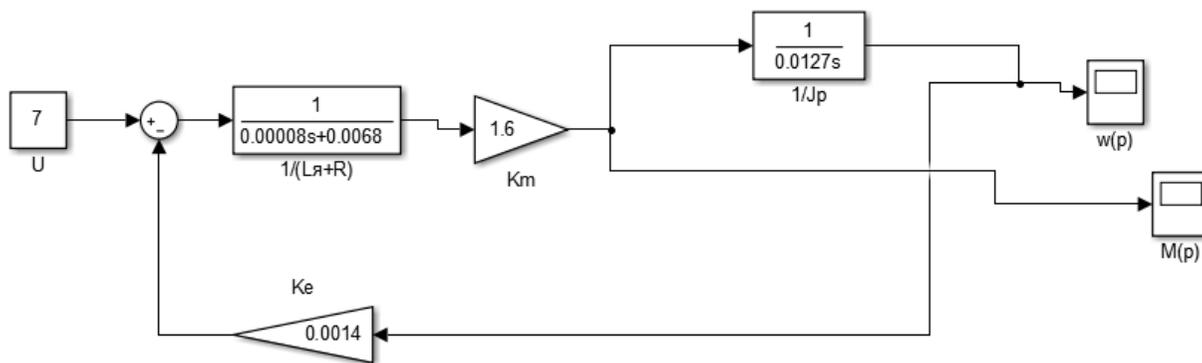


Рис. 3. Модель бесколлекторного двигателя

При выборе параметров, используемых в схеме бесколлекторного двигателя был выбран двигатель, используемый при конструировании авиамodelей.

Сопrotивление якоря $R_{я} = 0,0068$ Ом, индуктивность якоря $L_{я} = 0,00008$ Гн, коэффициент ЭДС $k_e = 0,0014$ В·с, коэффициент момента $k_m = 1,6$ Н·м/А, момент инерции $J_p = 0,0127$ кг/м².

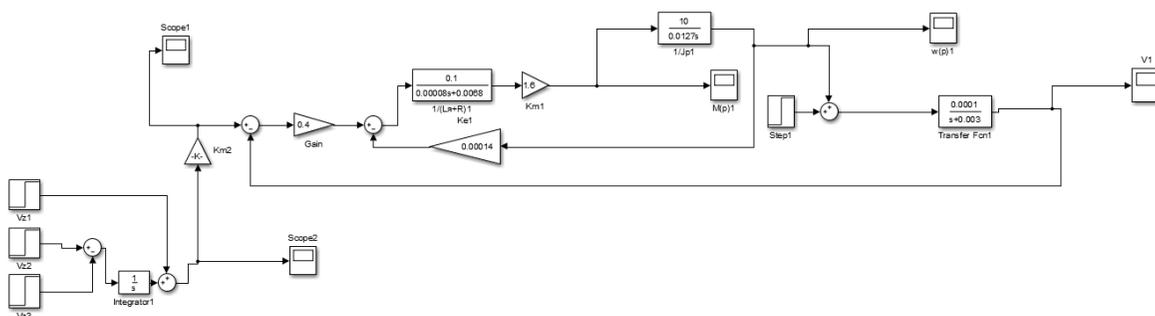


Рис. 4. Статический регулятор скорости полета

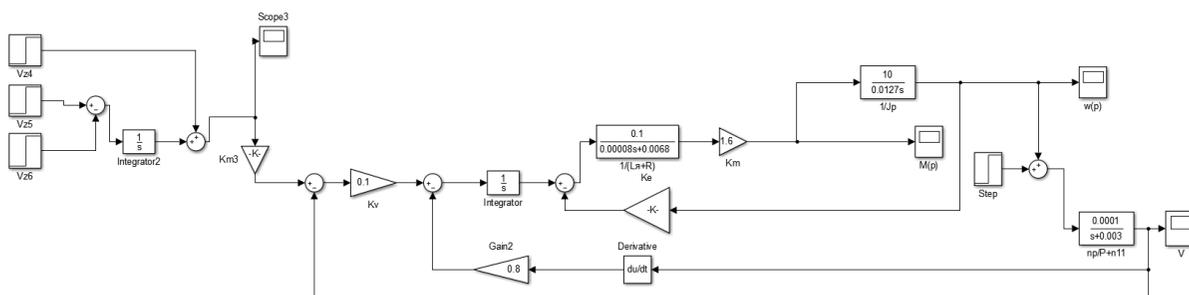


Рис. 5. Астатический регулятор скорости полета

На основе вышеперечисленных схем разрабатывается система астатического регулятора скорости беспилотного летательного аппарата с бесколлекторным электродвигателем, математическая модель показана на рис. 5.

Для всех вышеперечисленных схем необходимо снять переходные процессы при ступенчатых воздействиях, прикладываемых к ручке управления.

Моделирование систем бесколлекторного двигателя происходит следующим образом. На рис. 6 показан переходный процесс (ПП) для каналов скорости вращения и магнитного момента бесколлекторного электродвигателя.



Рис. 6. ПП канала скорости вращения бесколлекторного двигателя

Как видно из рисунка б скорость вращения двигателя монотонно увеличивается до установившегося значения.

На рис. 7; 8 показаны зависимости при подаче управляющего воздействия на рычаг управления скоростью и при подаче возмущающего воздействия при использовании статического регулятора скорости без подбора оптимальных передаточных коэффициентов.

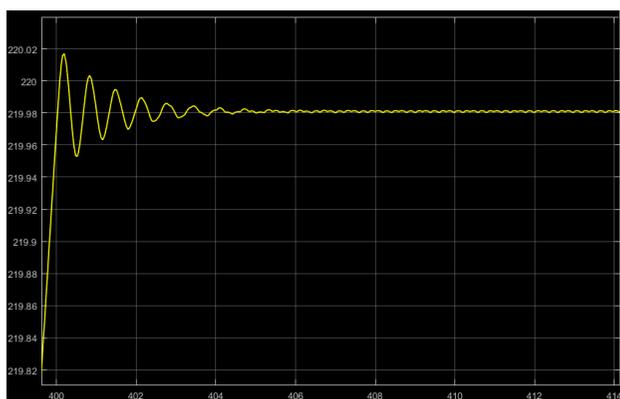


Рис. 7. ПП канала скорости статического регулятора скорости при воздействии по каналу управления

Переходный процесс статического регулятора, показанного на рис. 8, имеет вид колебательной возрастающей функции. Таким образом, можно считать, что система устойчива, но присутствует избыточная колебательность.

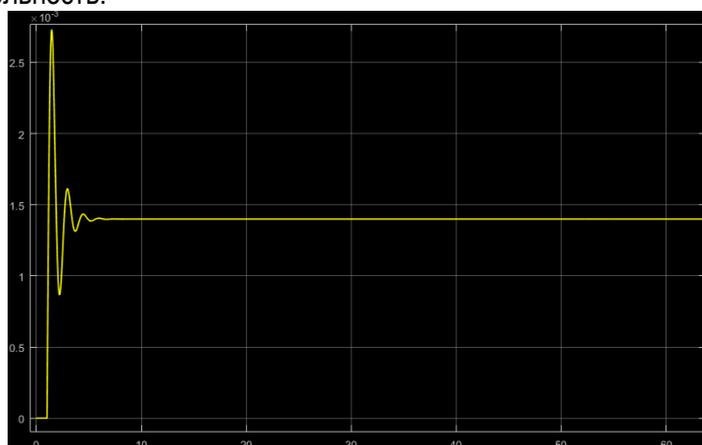


Рис. 8. ПП канала скорости статического регулятора скорости при воздействии по каналу возмущения

Переходный процесс, показанный на рис. 8, представляет собой возрастающую функцию с установившимся значением отличным от нуля, из чего можно предположить, что система устойчива по отношению к возмущающему воздействию, однако присутствует статическая ошибка.

На рис. 9; 10 показаны зависимости при подаче управляющего воздействия на рычаг управления скоростью и при подаче возмущающего воздействия при использовании статического регулятора скорости с подобранными оптимальными передаточными коэффициентами.

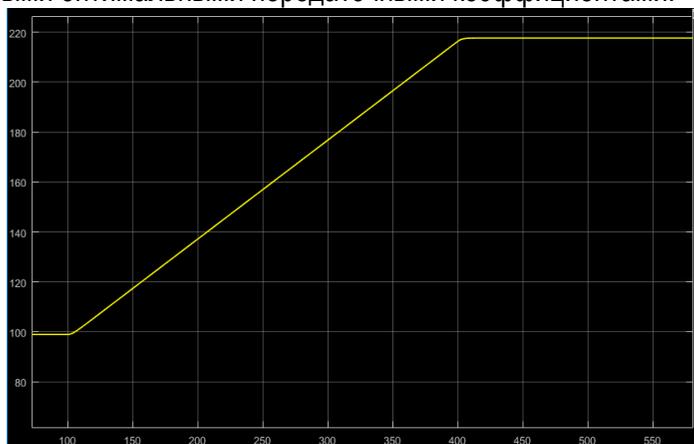


Рис. 9. ПП канала скорости статического регулятора скорости при воздействии по каналу управления

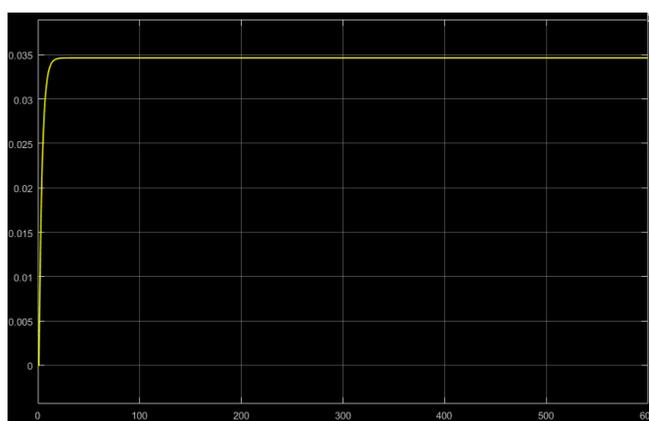


Рис. 10. ПП канала скорости статического регулятора скорости при воздействии по каналу возмущения

Переходный процесс, показанный на рис. 10, имеет вид монотонно возрастающей до установившегося значения, отличным от нуля, из этого следует, что система является устойчивой, но имеет статическую ошибку.



Рис. 11. ПП канала оборотов электродвигателя статического регулятора скорости

На рис. 11 показан переходный процесс по каналу оборотов электродвигателя время переходного процесса примерно 410 ед.

Моделирование системы астатического регулятора скорости:

На рис. 12; 13 приведены зависимости при подаче управляющего воздействия на рычаг управления скоростью и при подаче возмущающего воздействия при использовании астатического регулятора скорости без подбора оптимальных передаточных коэффициентов.

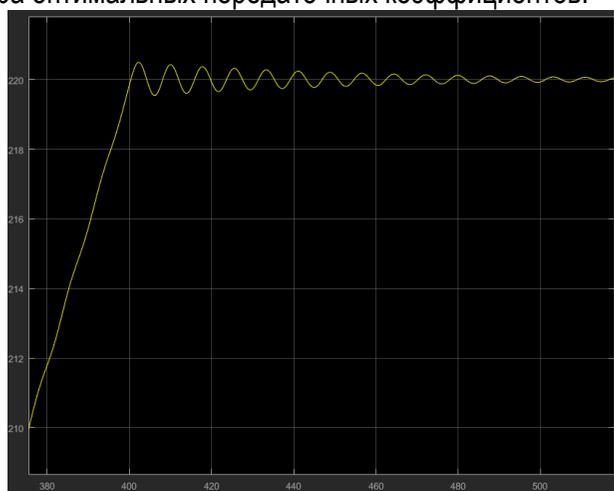


Рис. 12. ПП канала скорости астатического регулятора скорости при воздействии по каналу управления

Переходный процесс астатического регулятора скорости, показанного на рис. 12, имеет колебательный характер. Эта колебательность возникает вследствие того, что передаточные коэффициенты не оптимальны. Таким образом, система считается устойчивой, но присутствует излишняя колебательность.

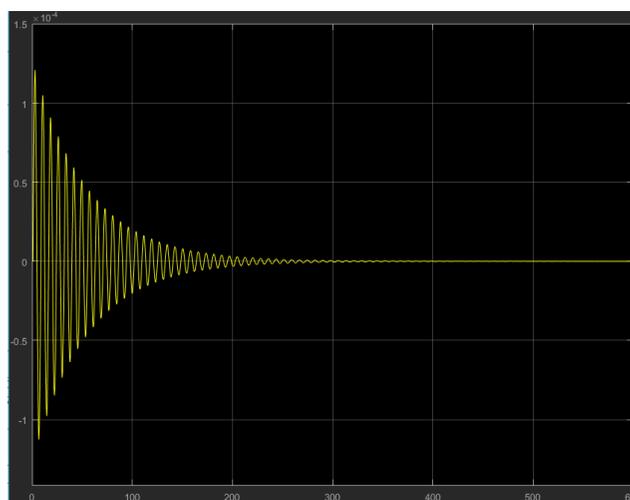


Рис. 13. ПП канала скорости астатического регулятора скорости при воздействии по каналу возмущения

Переходный процесс, показанный на рис. 13, имеет колебательный характер с последующим установлением нулевого значения, время переходного процесса примерно 400 ед. Из данного графика можно судить, что система является устойчивой по отношению к возмущающему воздействию, однако переходный процесс слишком продолжительный, и присутствует излишняя колебательность.

Переходный процесс астатического регулятора скорости является монотонно возрастающей функцией, по сравнению с рис. 13, благодаря оптимизации передаточных коэффициентов отсутствует колебательность, время переходного процесса примерно 400 ед. По сравнению с рис. 9, у астатической системы отсутствует статическая ошибка.

Подводя итоги, необходимо отметить, что создание системы автоматического управления скоростью способно решить большинство задач удаленного управления беспилотными летательными аппаратами, существующие на сегодняшний день. Именно в решение данной проблемы заинтересовано большинство военных и промышленных сфер современного мира.

В данной работе были более подробно изучены следующие вопросы:

- выполнено математическое описание объекта управления;
- описаны структурные схемы систем;
- определена математическая модель системы;
- произведено моделирование работы системы автоматического управления скоростью беспилотного летательного аппарата.

Как уже было отмечено, БПЛА повсеместно внедряются во все сферы жизнедеятельности современного человека. Именно поэтому разработка, модернизация и внедрение инновационных средств и технологий в данной области является ключевой задачей в сфере авиа и приборостроения в современном мире.

Библиографический список

1. *Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн.* Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2015.
2. *Бертинов А. И., Дубенский А. А.* Бесконтактные двигатели со стабилизацией скорости и повышенной равномерностью вращения. Л.: Наука, 1989.
3. *Бочкарев О. Е.* Особенности бесколлекторного двигателя, питаемого от источника тока / под ред. Ю. И. Конева. М.: Сов. радио, 1977.
4. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В. С. Фетисов, Л. М. Неугодникова, В. В. Адамовский, Р. А. Красноперов. М.: ФОТОН, 2014.
5. *Воронов А. А., Титов В. К., Новогранов Б. К.* Основы теории автоматического регулирования и управления. М.: Высшая школа, 1987.
6. *Боднер В. А.* Системы управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1973.

УДК 531.768.082.14

Д. А. Воропаева

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Г. Никитин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Развитие современного приборостроения неразрывно связано с созданием приборов, обладающих малыми массой, габаритными размерами, энергопотреблением и себестоимостью при безусловном выполнении целевой функции с заданной точностью [1].

Одно из перспективных направлений развития датчиков лежит в области маятниковых акселерометров, в которых чувствительный элемент сделан из кремния или кварца. Выбор материала для чувствительного элемента имеет ключевое значение, так как от его физических характеристик зависят основные параметры акселерометра [2]. Помимо материала, имеют значение и другие параметры чувствительного элемента, например, подвесы инерционной массы: их форма и размеры определяют чувствительность датчика. Кроме конструкции датчика на выходной сигнал влияет воздействие окружающей среды.

В соответствии с ГОСТ РВ 20.57.416–98 [3], стойкость прибора к воздействию конкретного внешнего фактора – это способность изделия выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах установленных норм во время и после воздействия на него этого внешнего фактора в течение всего срока службы, т. е. оно обладает такими свойствами, как устойчивость и прочность. При отработке требований по стойкости акселерометров к внешним воздействующим факторам, важно принять во внимание, что вследствие наличия в них микромеханических частей они чувствительны к механическим и температурным воздействиям [4]. Таким образом, на этапе разработки прибора необходимо оценить влияние внешних воздействий на выходные параметры.

В микромеханических приборах, как и в любых измерительных приборах, измерительный сигнал преобразуется в выходной. Для микроакселерометра (МА) измеряемой величиной, на основе которой формируется выходной сигнал, является ускорение. Акселерометры состоят из инерционной массы (ИМ), которая с помощью упругих элементов подвеса смонтирована в корпусе. Вместе данную конструкцию можно назвать чувствительным элементом (ЧЭ). Формирование выходного сигнала обеспечивается преобразователями перемещений, деформаций, сил, а также электроникой. Схема маятникового акселерометра показана на рис. 1 (1 – корпус прибора; 2 – упругий подвес; 3 – демпфер; 4 – инерционная масса или чувствительный элемент акселерометра; ось Ox – ось чувствительности; φ_1 – угол отклонения чувствительного элемента акселерометра).

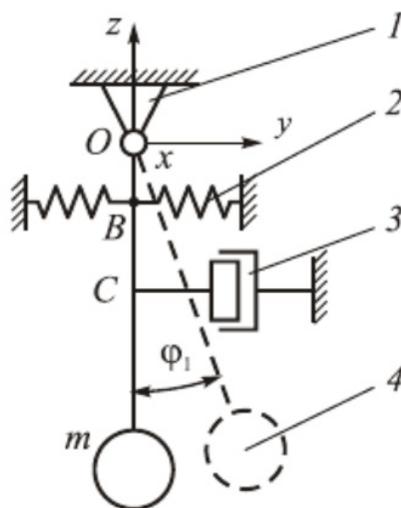


Рис. 1. Схема маятникового акселерометра

Структурная схема датчика, подробно показывающая преобразование выходного сигнала в выходной, показана на рис. 2.

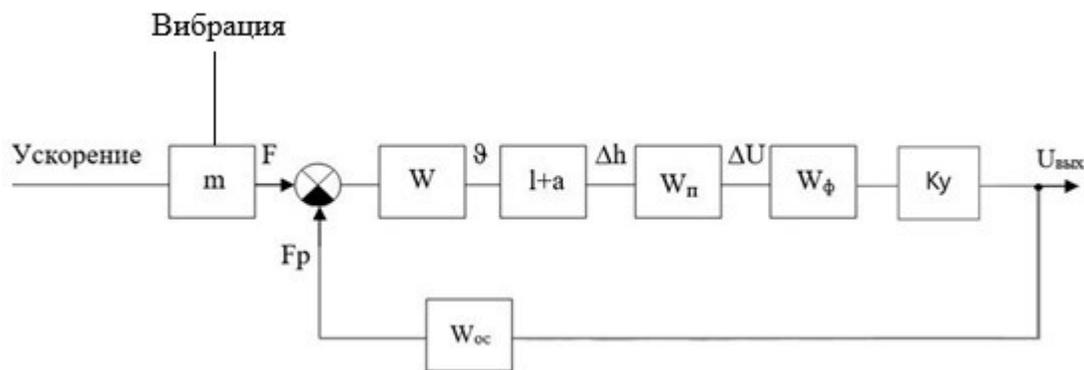


Рис. 2. Структурная схема маятникового акселерометра с электростатической обратной связью

Измеряемое ускорение воздействует на ЧЭ – ИМ, подвешенную на упругих подвесах – балках. Помимо ускорения, на ЧЭ имеет дополнительное влияние внешнее воздействие – вибрация. ЧЭ под действием сил отклоняется от продольной оси, что вызывает угловое смещение маятника ϑ , которое преобразуется в линейное перемещение пластин конденсаторов преобразователя перемещений Δh . На выходе преобразователя образуется напряжение ΔU , которое поступает на вход фильтра низких частот (ФНЧ), где полезный сигнал выделяется на фоне помех. После ФНЧ сигнал проходит через усилитель, где увеличивается его амплитуда до достаточной для восприятия другими устройствами. Затем по линии отрицательной обратной связи полученный сигнал поступает на электростатический датчик, где преобразуется в силу, идущую на сумматор.

Одним из основных актуальных требований, предъявляемых к акселерометрам, является виброустойчивость. Виброустойчивость характеризуется способностью акселерометра выдавать информацию об измеряемом ускорении с заданной точностью в условиях воздействия вибрации. Вибрация – это механические колебания тела, имеющие разный характер от гармонического колебания центра масс (ЦМ) до случайных колебаниями разных точек тела со спектром частот, состоящим из множества гармонических колебаний в порядке возрастания. Вибрация может возникать, например, при движении транспортных средств, работе двигателей, турбин [5].

Будем предполагать, что линейная вибрация описывается функцией $x_B = x_{B0} \sin(\omega t)$, где x_{B0} и ω – амплитуда и частота вибрации. Оценим амплитуду колебаний ЦМ маятника и вибропогрешность при действии линейной вибрации с амплитудами $x_{B1} = 0,05$ м, $x_{B2} = 0,5$ м, $x_{B3} = 5$ м и частотой $\omega = 100$ рад/с.

Габаритные размеры балки: длина $l = 1 \cdot 10^{-3}$ м, поперечное сечение $b_n = 4 \cdot 10^{-4}$ м, толщина $c_n = 24 \cdot 10^{-6}$ м. Размеры пластины: $a_m = 8 \cdot 10^{-3}$ м, $b_m = 1 \cdot 10^{-2}$ м, $c_m = 34 \cdot 10^{-5}$ м. Плотность кремния $\rho = 2330$ кг/м³, масса ЧЭ $m = 6,34 \cdot 10^{-5}$ кг, период собственных колебаний $T = 0,05$ с, относительный коэффициент демпфирования $\xi = 0,136$, чувствительность маятника $K_{ПМ} = 4,912 \cdot 10^{-4}$ с²/м, число балок $n = 3$. Допустимое значение погрешности $\Delta = 3$ %.

После проведения необходимых расчетов были получены следующие значения.

1. Передаточная функция ЧЭ $W = \frac{0,0004912}{0,0025s^2 + 0,014s + 1}$.
2. Передаточная функция, отображающая преобразование угловых колебаний маятника в линейное перемещение пластин емкостного преобразователя, $l + a = 0,005$.
3. Передаточная функция емкостного преобразователя $W_n = 250\,000$.
4. Передаточная функция ФНЧ 2-го порядка $W_\phi = \frac{1}{0,1362s^2 + 0,618s + 1}$.
5. Коэффициент усиления $K_y = 6$.
6. Передаточная функция канала ОС $W_{oc} = \frac{0,00004838}{1}$.

Очевидно, что при одновременном воздействии ускорения и вибрации на ЧЭ амплитуда отклонения маятника будет больше, чем при воздействии ускорения без вибрации. Чтобы наглядно проследить, какую погрешность в выходной сигнал вносит вибрация, построим математическую модель ЧЭ МА в программе MatLab Simulink.

На рис. 3 изображена математическая модель МА при различных воздействиях.

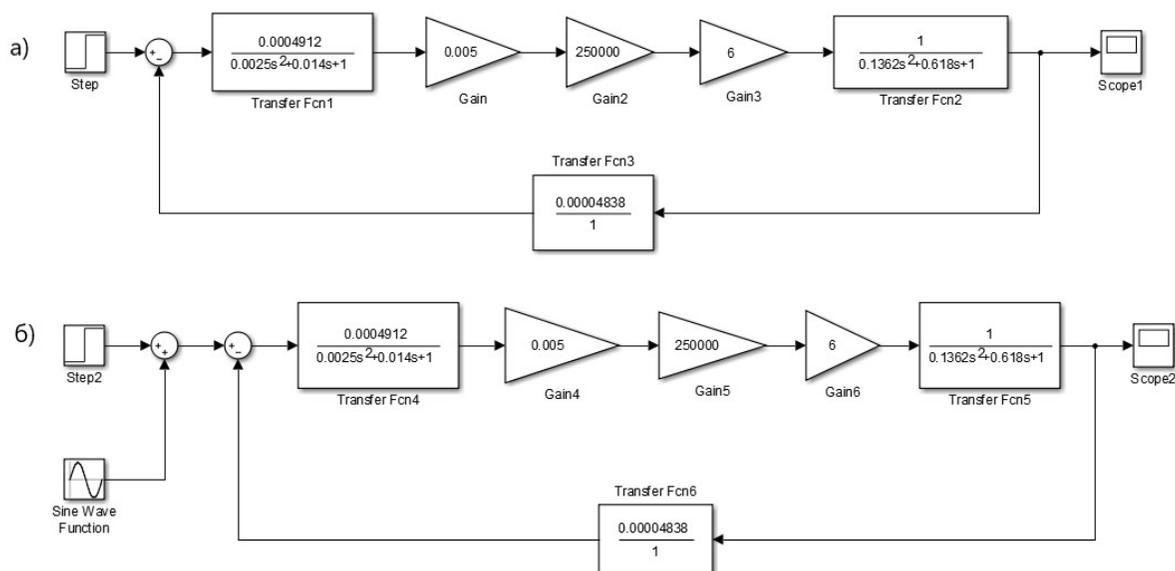


Рис. 3. Математическая модель МА при различных воздействиях:
а – при воздействии ускорения; б – при одновременном воздействии ускорения и вибрации

Подадим на вход ускорение $1g$ и линейную вибрацию с амплитудой $x_{в1} = 0,05$ м и частотой $\omega = 100$ рад/с. На рис. 4 изображены выходной сигнал при воздействии ускорения и выходной сигнал при одновременном воздействии ускорения и линейной вибрации.

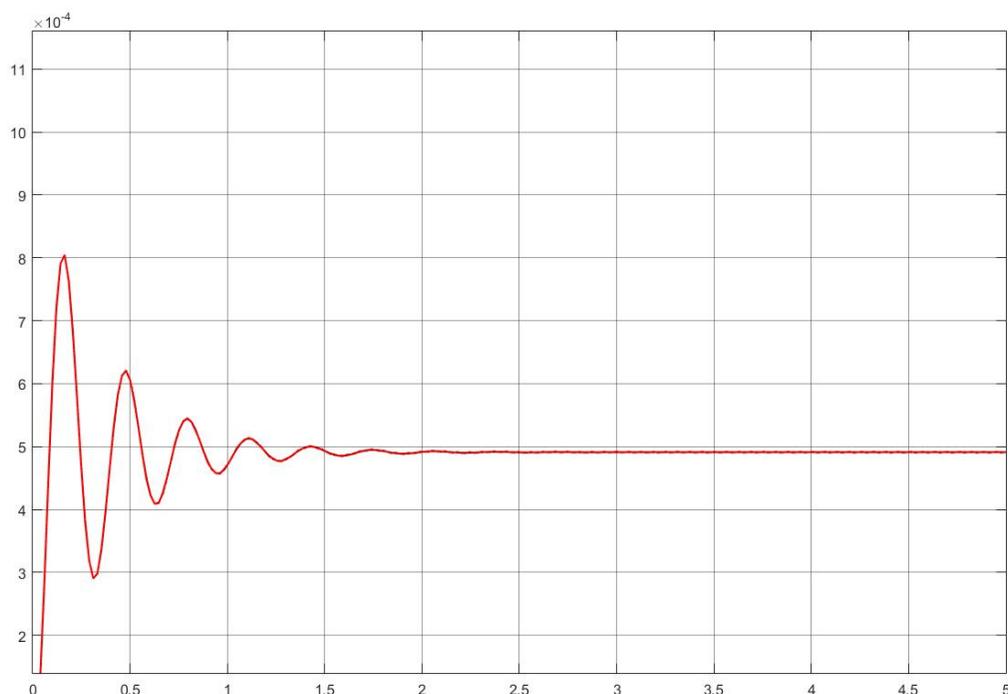


Рис. 4. Выходной сигнал при воздействии ускорения $1g$
и при одновременном воздействии ускорения $1g$ и вибрации $x_{в1}$

Из зависимости, показанной на рис. 4, можно сделать вывод, что выходные сигналы практически идентичны и погрешность крайне мала.

Увеличим амплитуду вибрации до $x_{в2} = 0,5$ м. На рис. 5 изображены результаты моделирования.

Погрешность при данных условиях составляет $\approx 0,0015$ %, что не превышает допустимое значение.

Оценим влияние на выходной сигнал вибрации с амплитудой $x_{в3} = 5$ м. Результаты моделирования приведены на рис. 6.

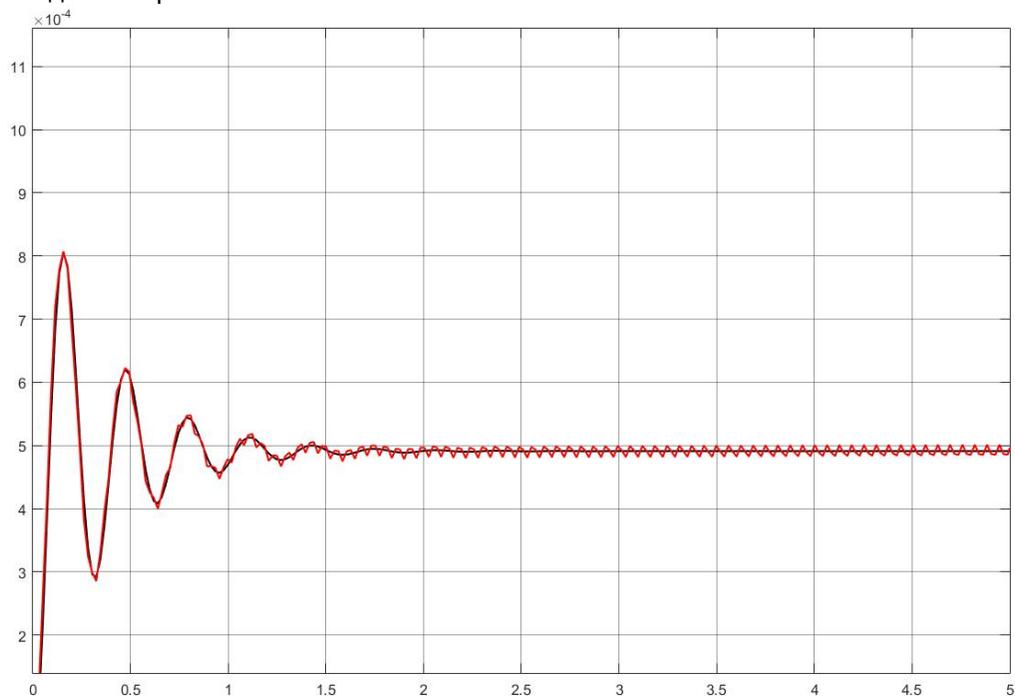


Рис. 5. Выходной сигнал при воздействии ускорения $1g$ и при одновременном воздействии ускорения $1g$ и вибрации $x_{в2}$

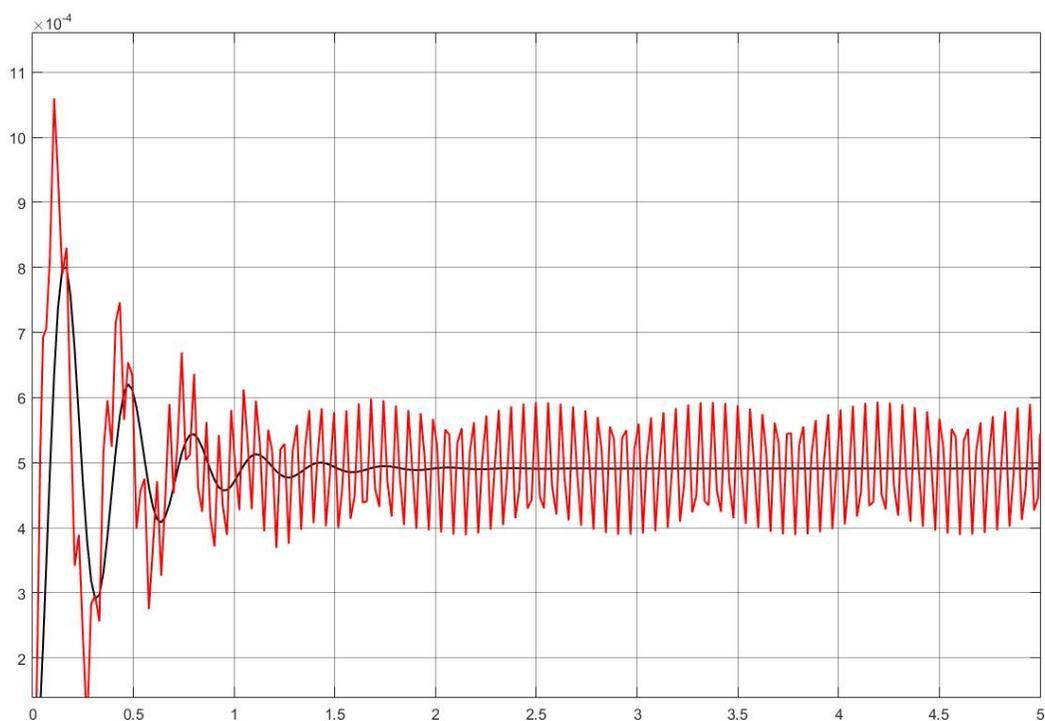


Рис. 6. Выходной сигнал при воздействии ускорения $1g$ и при одновременном воздействии ускорения $1g$ и вибрации $x_{в3}$

Исходя из результатов, показанных на рис. 6, можно сделать вывод, что при воздействии вибрации с амплитудой $x_{вз} = 5$ м, погрешность измерения возрастет до 32 %, что многократно превышает допустимое значение.

Таким образом, при увеличении вибрации, действующей на ЧЭ датчика, вибропогрешность также возрастает, поэтому необходимо применять системы виброзащиты.

В настоящее время применяются различные виды виброзащиты: пассивные (простейшие резиновые и резинометаллические амортизаторы, пружинные и тросовые виброизоляторы) и активные системы подавления вибрации. Преимуществом активных систем защиты является способность подавлять вибрации на низких частотах. Одним из перспективных направлений развития систем активной виброзащиты является применение пьезоэлектрических актюаторов. Современным лидером на рынке по производству систем активной виброзащиты на основе пьезоактюаторов является американская компания Technical Manufacturing Corporation, продукция которой защищена двумя патентами США [6, 7].

Работа подобной виброзащиты заключается в следующем: датчик перемещения преобразует отклонения маятника в напряжение, которое приводит в действие исполнительное устройство (пьезоэлектрические актюаторы). Возникает сила, стремящаяся вернуть виброзащищаемый объект в начальное положение. Таким образом, система активной виброзащиты поддерживает положение объекта в одном положении.

Передаточная функция пьезоэлектрического актюатора, который является инерционным (апериодическим) звеном, выглядит следующим образом:

$$W_a(s) = \frac{K_a}{T_a s + 1}, \quad (1)$$

где K_a – коэффициент передачи пьезоактюатора; T_a – постоянная времени пьезоактюатора; s – оператор Лапласа.

По результату моделирования, показанному на рис. 7, можно оценить влияние на выходной сигнал датчика активной системы виброзащиты с параметрами $K_a = 1 \cdot 10^{-4}$ мм/В, $T_a = 0,0467$ с.

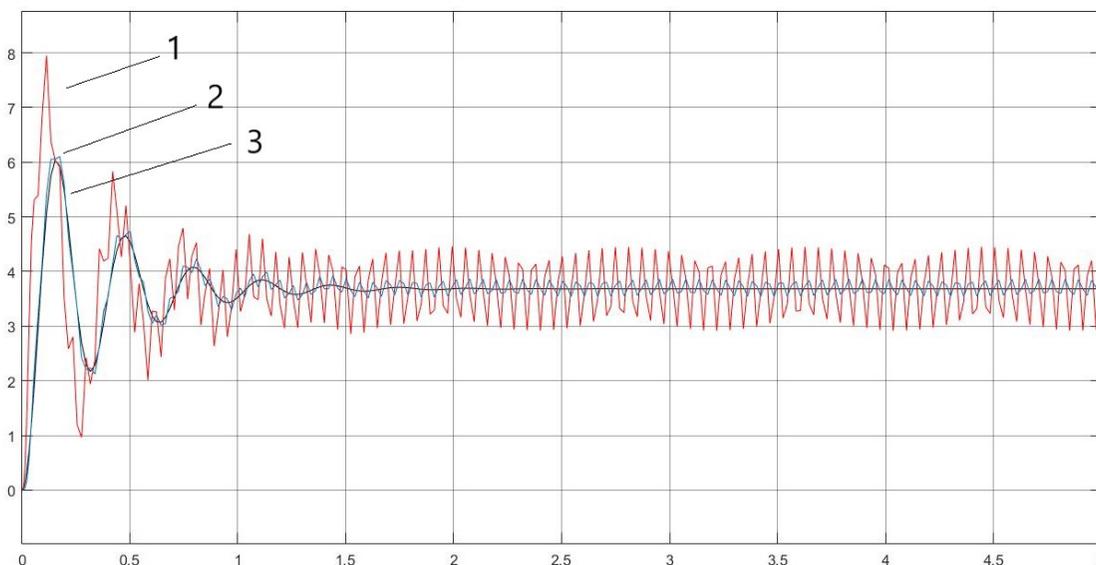


Рис. 7. Результаты моделирования:

1 – сигнал при воздействии ускорения и вибрации без виброзащиты; 2 – сигнал при воздействии ускорения и вибрации с виброзащитой; 3 – сигнал при воздействии ускорения

При введении виброзащиты в систему датчика погрешность, вызванная влиянием линейной вибрации, уменьшилась и не превышает допустимое значение. Шум, оставшийся в выходном сигнале, будет устранен на последующем этапе фильтрации.

Библиографический список

1. *Располов В. Я.* Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.
2. Системные проблемы надежности, качества, математического моделирования и инфотелекоммуникационных технологий в инновационных проектах: монография / отв. ред. проф. НИУ ВШЭ Ю. Н. Кофанов. М.: НИУ ВШЭ, 2014. С. 219–221.
3. ГОСТ РВ 20.57.416–98. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы испытаний: гос. воен. стандарт. М.: Стандартиформ, 2015. 148 с.
4. *Афанасьев А. С., Полушкин В. М., Соболев В. А. и др.* Влияние внешней воздействующей вибрации на микроэлектромеханические системы-акселерометры // Лесной вестник 2019. Т. 23, № 5. С. 138–143.
5. *Гаврилов А. А., Шипунов А. Н.* Виброустойчивость микромеханического акселерометра // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2013. № 3. С. 308–315.
6. US Patent № 5,660,255. Stiff actuator active vibration isolation system / Dale W. Schubert, Andrew Michael Beard, Steven Frank Shedd, Marion Richard Earles Jr., Andreas H. Von Flotow. 1997.
7. US Patent № 5,823,307. Stiff actuator active vibration isolation system / Dale W. Schubert, Andrew Michael Beard, Steven Frank Shedd, Marion Richard Earles Jr., Andreas H. Von Flotow. 1998.

УДК 621.396.98:629.7.05

Е. С. Князева

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Н. Коврегин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

УПРАВЛЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЕМ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНО-СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

В настоящее время в области авиационного оборудования закрепились тенденции использования в качестве навигационных систем (НС) навигационных комплексов – инерциально-спутниковых навигационных систем (ИСНС). Преимущественно в таких НС информационным «ядром» выступают бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС). Преимущество таких систем заключается в их миниатюрности и, как следствие, возможности применения на любом типе летательного аппарата (ЛА), в частности, все больше стали развиваться БИНС с микромеханическими датчиками, так называемые МЭМС-БИНС. МЭМС-БИНС имеют множество преимуществ: малые габариты, низкая цена, малый вес, такие БИНС можно устанавливать на беспилотных летательных аппаратах. Однако у такого типа БИНС есть большой недостаток – малая точность, которая при интеграции со спутниковой навигационной системой, хоть и улучшается, но все же не всегда достаточна для решения различных навигационных задач. Впрочем, и ИСНС, построенные с применением традиционных БИНС на оптических или лазерных гироскопах, не всегда отвечают требованиям некоторых задач, например, специальной задачи навигации – микронавигации различных точек ЛА, в частности, фазового центра радиолокационной станции. Зачастую высокую потенциальную точность ИСНС снижают характерная для спутниковых навигационных систем (СНС) низкая помехоустойчивость, «срывы» измерений при маневрировании ЛА, выходе из зоны видимости и другими факторами, приводящими к неработоспособности или снижению их эффективности в высокочастотной и сложной сигнально-шумовой (помеховой) обстановке. Таким образом, актуальной является задача повышения точности и помехоустойчивости таких систем посредством разработки нового функционального алгоритмического обеспечения.

Объектом исследования является НС, основанная на БИНС, решающая задачи как традиционной навигации, так и специальные задачи микронавигации. Предметом исследования является функциональное алгоритмическое обеспечение.

Несмотря на недостатки, присущие БИНС и СНС, так как они обладают высокой потенциальной точностью, является актуальной задача разработки адаптивно-робастного алгоритма комплексирования ИСНС. Микронавигация фазового центра антенны (ФЦА) обеспечивает высокую точность позиционирования, но на сегодняшний день не выполняются необходимые требования по точности [1].

Целью работы является повышение помехоустойчивости и точности ИСНС, разработка адаптивно-робастного алгоритма комплексирования.

Основным направлением решения проблемы является разработка распределенной системы навигации, основой которой является БИНС, корректируемая несколькими радиотехническими спутниковыми датчиками [2–4]. Такой подход повышает надежность и помехоустойчивость системы, поэтому в работе будет рассмотрен такой тип системы.

Важным этапом для повышения точности оценок навигационных параметров является подготовка измерений. Прежде всего, данные от аппаратуры СНС и численные параметры БИНС должны быть приведены к единой точке измерения [3], это можно осуществить с помощью преобразований:

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = C_1 \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix},$$

где $[\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$ – вектор проекций угловых скоростей в ССК; C_1 – матрица направляющих косинусов; $[\dot{\psi} \ \dot{\theta} \ \dot{\gamma}]^T$ – вектор угловых скоростей углов ориентации.

$$\begin{bmatrix} V_{вр.x} \\ V_{вр.y} \\ V_{вр.z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix},$$

где $[V_{вр.x} \ V_{вр.y} \ V_{вр.z}]^T$ – вектор проекций вращательной составляющей скорости на оси ССК; $[x \ y \ z]^T$ – вектор координат ФЦА ГНСС в ССК.

$$\begin{bmatrix} V_{вр.N} \\ V_{вр.H} \\ V_{вр.E} \end{bmatrix} = C_2 \begin{bmatrix} V_{вр.x} \\ V_{вр.y} \\ V_{вр.z} \end{bmatrix},$$

где $[V_{вр.N} \ V_{вр.H} \ V_{вр.E}]^T$ – вектор проекций вращательной составляющей скорости на оси навигационной системы координат (НСК); C_2 – матрица направляющих косинусов.

$$\begin{bmatrix} V_{пост.N} \\ V_{пост.H} \\ V_{пост.E} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_N \\ V_H \\ V_E \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_{вр.N} \\ V_{вр.H} \\ V_{вр.E} \end{bmatrix},$$

где $[V_N \ V_H \ V_E]^T$ – вектор проекций полной скорости на оси НСК; $[V_{пост.N} \ V_{пост.H} \ V_{пост.E}]^T$ – вектор проекций поступательной скорости на оси НСК.

При использовании вышеописанного подхода, если работа антенны приемников считается условно синхронизированной (время рассинхронизации мало), зачастую необходимо выделять лишь только один канал. На данном этапе для формирования точного наблюдения можно использовать различные алгоритмы выбора канала. В ходе работы нами был рассмотрен рекуррентный метод наименьших квадратов [5].

Функционал имеет вид:

$$J_k(\hat{x}_k, \hat{a}_k) = (z_k - H\hat{x}_k)^T (z_k - H\hat{x}_k) + (\hat{x}_k - \hat{a}_k \hat{x}_{k-1})^T (\hat{x}_k - \hat{a}_k \hat{x}_{k-1}) + \alpha (\hat{a}_k - \hat{a}_{k-1})^T (\hat{a}_k - \hat{a}_{k-1}),$$

где z_k – вектор наблюдений; H – матрица наблюдений; \hat{x}_k – оценка полезного сигнала; \hat{a}_k – сглаживающий коэффициент; α – размерный эмпирический коэффициент регуляризации.

Тогда решение в скалярном виде для N однотипных измерителей, коими являются N приемников и антенн аппаратуры СНС, имеет вид

$$\hat{a}_k = \frac{\alpha(1+N)}{\alpha(1+N) + N\hat{x}_{k-1}^2} \hat{a}_{k-1} + \frac{\hat{x}_{k-1}}{\alpha(1+N) + N\hat{x}_{k-1}^2} (z_{1k} + z_{2k} + \dots + z_{Nk});$$

$$\hat{x}_k = \frac{\hat{a}_{k-1}\hat{x}_{k-1} + z_{1k} + z_{2k} + \dots + z_{Nk}}{N},$$

где N – число датчиков.

На рис. 1–3 показаны ошибки оценки, получаемые с помощью моделирования проекций скоростей и на выходе алгоритма. Черным цветом обозначена ошибка оценки приемником 2, синим – ошибка оценки приемником 1, зеленым – ошибка оценки на выходе алгоритма РМНК.

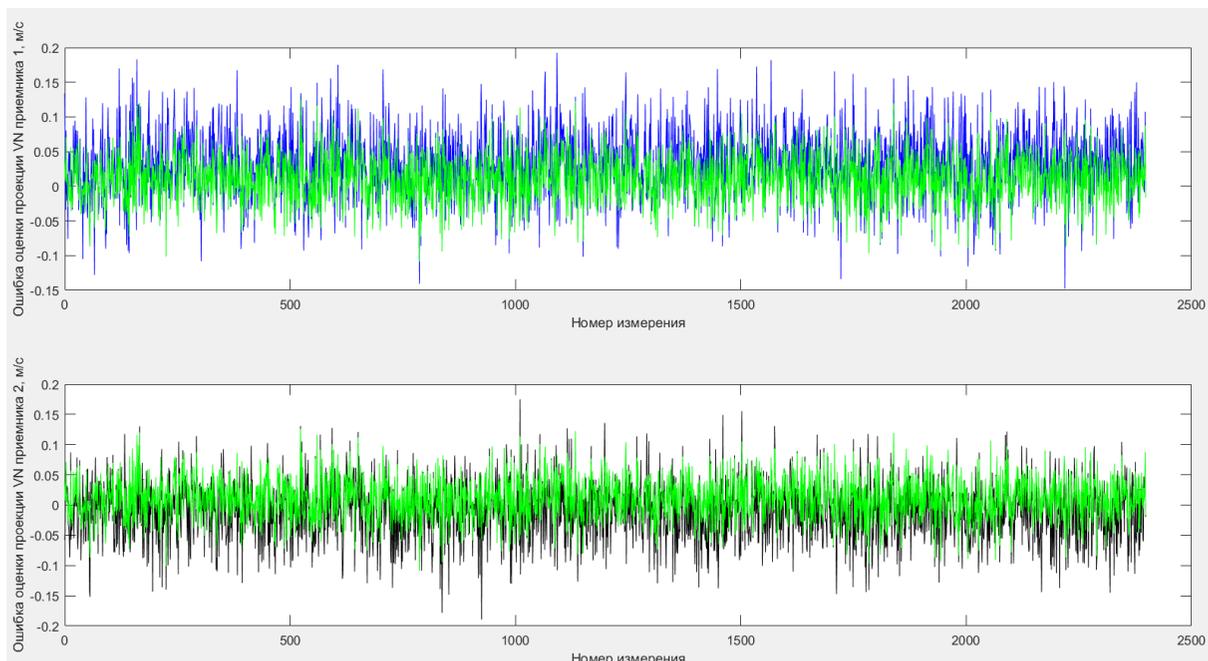


Рис. 1. Ошибка оценки проекции VN МПВ1 и МПВ2

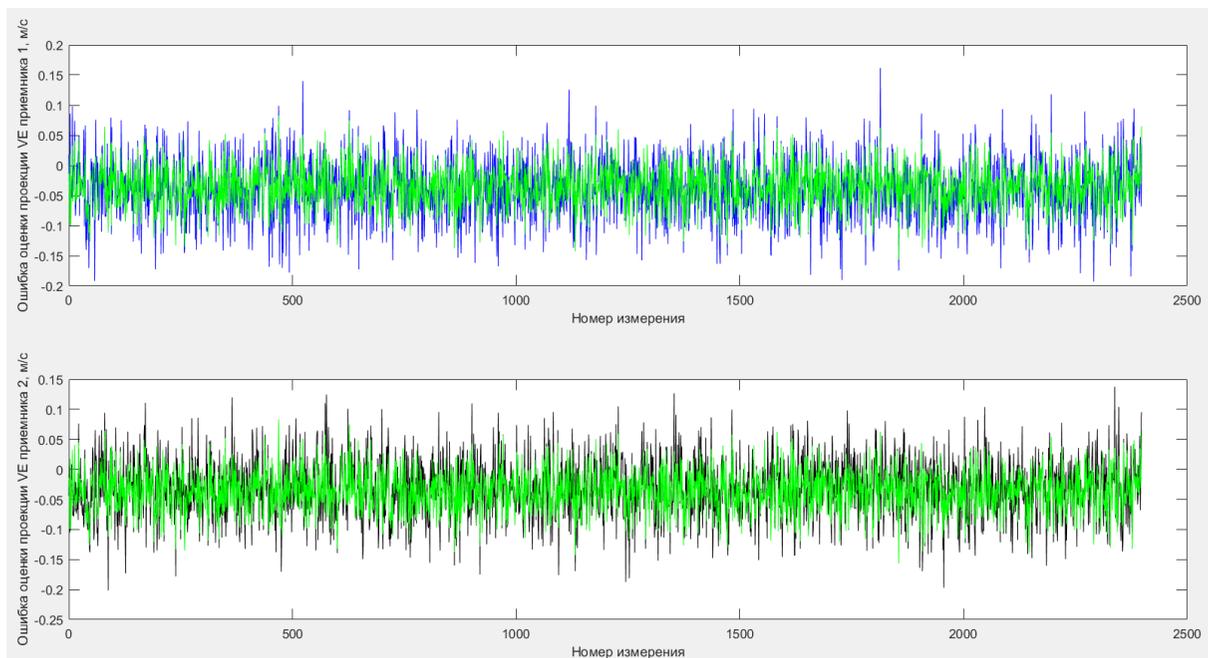


Рис. 2. Ошибка оценки проекции VE МПВ1 и МПВ2

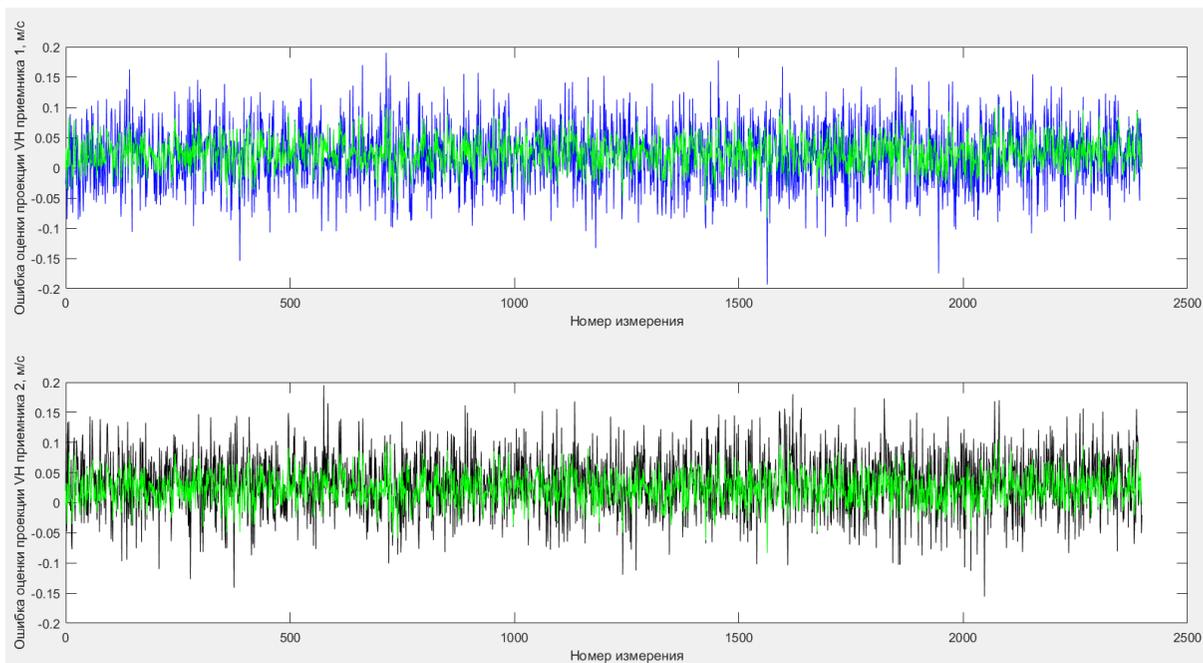


Рис. 3. Ошибка оценки проекции VN МПВ1 и МПВ2

В результате моделирования СКО ошибки оценки составили $\sigma_{VN}=0,0345$ м/с, $\sigma_{VE}=0,0346$ м/с, $\sigma_{VN}=0,0348$ м/с. РМНК обеспечивает выигрыш около 40 % в сравнении с усреднением.

В целях исследования ИСНС была построена модель приемной аппаратуры ГНСС. На основе параметров идеальной траектории движения ЛА были получены оценки координат. На рис. 4–6 показана ошибка оценки навигационных параметров.

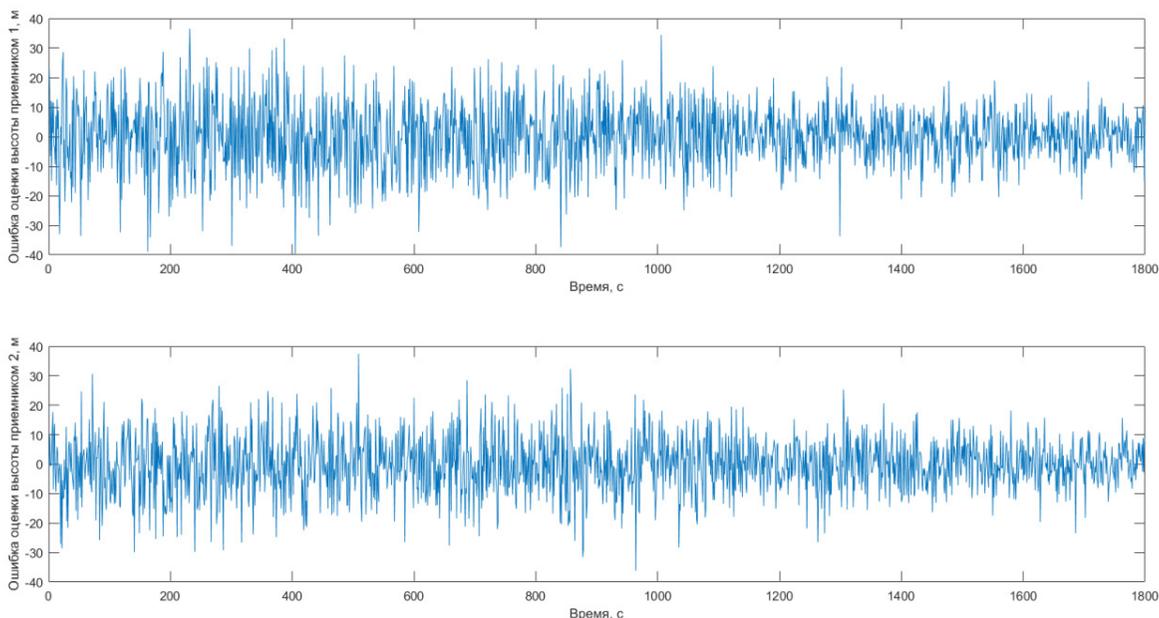


Рис. 4. Ошибка оценки определения высоты

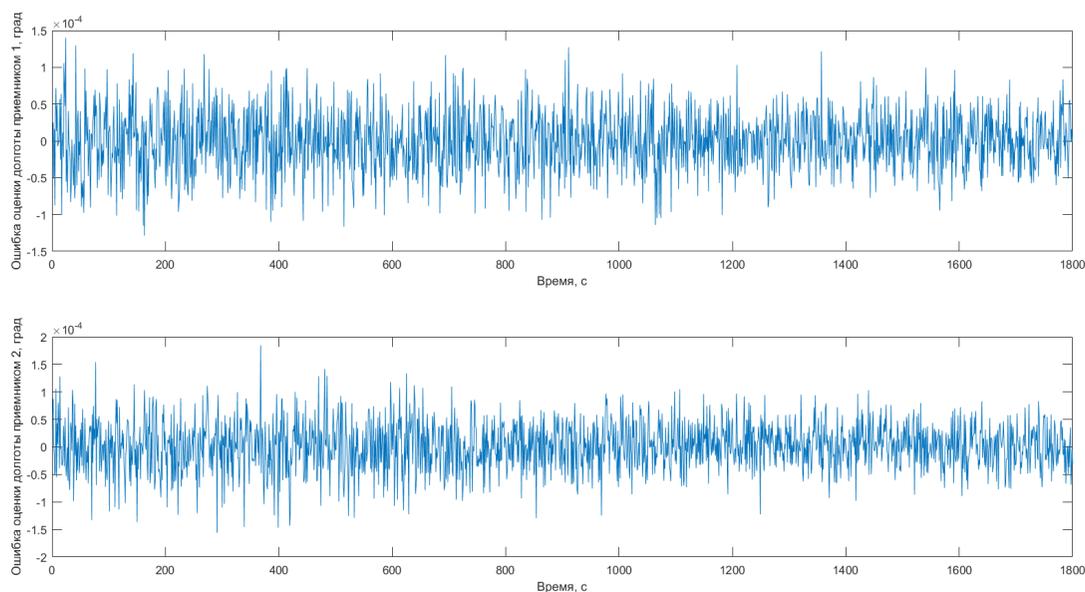


Рис. 5. Ошибка оценки определения долготы

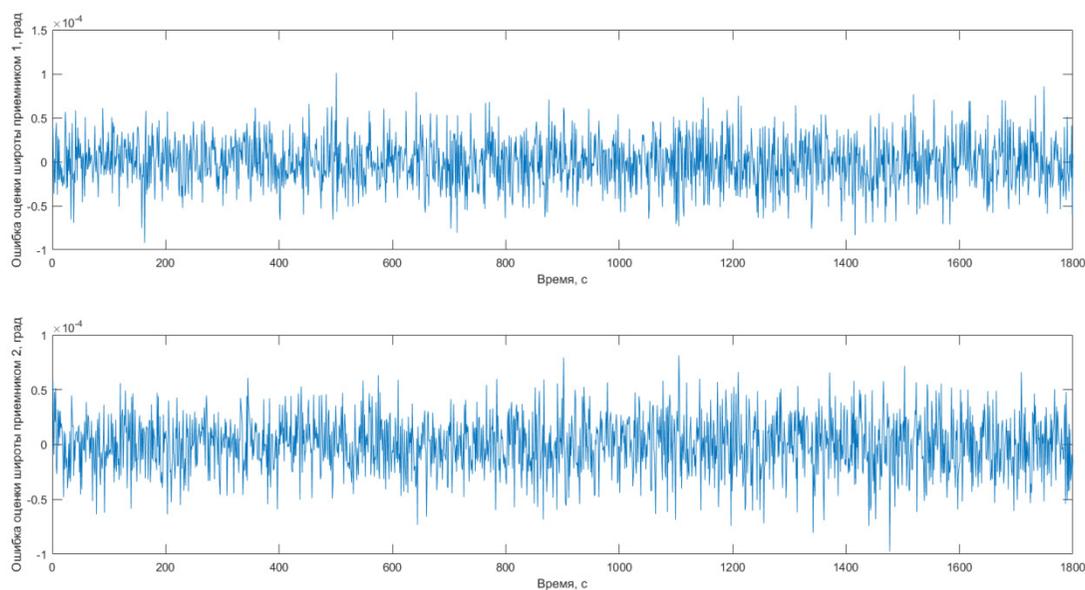


Рис. 6. Ошибка оценки определения широты

Среднеквадратичные отклонения ошибки оценки координат составили: $2\sigma_{B1}=4,140 \cdot 10^{-5}^\circ$; $2\sigma_{B2}=3,790 \cdot 10^{-5}^\circ$; $2\sigma_{L1}=6,969 \cdot 10^{-5}^\circ$; $2\sigma_{L2}=7,619 \cdot 10^{-5}^\circ$; $2\sigma_{H1}=19,111$ м; $2\sigma_{H2}=16,749$ м. Считая, что средний радиус Земли – примерно 6 371 200 м, получим коэффициент преобразования угловой меры в метрическую, равный 111 198 м/°, тогда СКО широты можно представить в виде $2\sigma_{B1}=4,604$ м; $2\sigma_{B2}=4,214$ м. Коэффициент преобразования угловой меры для долготы меняется в зависимости от широты, описанная модель имеет рабочую широту 59,9°, на такой широте коэффициент преобразования составляет 55 968 м/° и тогда $2\sigma_{L1}=3,9$ м; $2\sigma_{L2}=4,264$ м. Такие СКО, в целом, соответствуют СКО определения координат современных СНС приемников.

Для решения вышеописанной проблемы необходимо решить следующие основные задачи:

- разработка структуры и содержания алгоритма;
- разработка процедур комплексной обработки информации (КОИ);
- исследование разработанного алгоритма.

Ожидаемым результатом исследования является разработка функционального алгоритмического обеспечения комплексной обработки информации в распределенной ИСНС.

Библиографический список

1. Ильин Е. М., Козорез Д. А. и др. Облик бортовой интегрированной навигационной системы летательного аппарата, обеспечивающей высокоточное позиционирование фазового центра антенны бортовой РЛС // Вестн. СибГУТИ. 2016. № 3. С. 33–45.
2. Инерциально-спутниковая система микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой / А. В. Чернодаров, А. П. Патрикеев, В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина // Новости навигации. 2016. № 4. С. 12–15.
3. Чернодаров А. В., Патрикеев А. П., Коврегин В. Н. и др. Летная отработка распределенной системы инерциально-спутниковой микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой // Науч. вестн. МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 01. С. 222–231.
4. Использование инерциально-спутниковой навигационной системы для определения параметров движения фазового центра антенны радиолокатора / А. В. Чернодаров, А. П. Патрикеев, В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина // XXIII Санкт-Петербург. Международ. конф. по интегрированным навигационным системам: сб. докл. СПб., 2016. С. 266–274.
5. Артемьев В. М., Наумов А. О., Кохан Л. Л. Адаптивная фильтрация комплексированных измерений методом наименьших квадратов // Информатика. 2016. № 3. С. 25–30.

УДК 629.7.05;51-74

Л. С. Мамедова

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

А. В. Небылов – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

ИГРОВАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ КАК МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВСТРЕЧИ МАЛЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Автоматический летательный аппарат (АЛА) [1] – это искусственный мобильный объект, главной отличительной чертой которого является отсутствие на борту человека-оператора, и который способен самостоятельно и (или) целенаправленно перемещаться в воздухе для выполнения различных задач в автономном режиме и (или) посредством дистанционного управления.

По принципу полета АЛА подразделяются на следующие категории: самолетные (с жестким крылом или целиком «летающее крыло»); с гибким крылом; вертолетные (вращающееся крыло); с машущим крылом; аэростатические; гибридные. Классификацию по массогабаритным характеристикам у АЛА рассмотрена на примере АЛА самолетного типа управления. Соответственно, по основной массе АЛА самолетного типа подразделяются на легкие; средние; тяжелые. По назначению АЛА классифицируются следующим образом: АЛА научного применения; АЛА гражданского применения; АЛА военного применения.

АЛА научного применения подразделяется на АЛА, предназначенные для выполнения фундаментальных задач, и АЛА, предназначенные для наблюдения за окружающим миром. АЛА гражданского назначения могут выполнять самые разные функции – от картографирования и поиска полезных ископаемых до грузовых и пассажирских перевозок, а также в развлекательных целях (аэрошоу). АЛА военного применения подразделяются в соответствии с классификацией обычных ЛА военного применения.

Дифференциальные игры преследования впервые в своих трудах исследовал и описал американский математик Руфус Филипп Айзекс (1914–1981), который впервые проанализировал игру о так называемом «водителе-убийце» в 1951 г. В СССР линейные дифференциальные игры преследования рассматривались такими уважаемыми математиками, как Н. Н. Красовский и Л. С. Понтрягин.

Теория систем автоматического управления развивалась по мере того, как развивались другие науки. В результате были выделены множества САУ: обыкновенные; обучающиеся; игровые; самонастраивающиеся; самооптимизирующиеся.

Все они используют различные подходы, предназначенные для предсказания поведения системы в зависимости от условий задачи. Наиболее распространенными являются: стохастический метод; детерминированный метод; статистический метод.

Стохастический подход заключается в том, что анализ и предсказание поведения системы происходит с поправками на любой случайный фактор. Детерминированный подход основан на классической теории управления, где чаще всего устанавливается однозначное соответствие между входным и выходным сигналами. Применение детерминированной математической модели в таком подходе возможно тогда, когда пренебрежение случайными процессами не приведет к сильному изменению результата, более того, сможет снизить итоговую ошибку оценки. Статистический подход, основанный на классической теории вероятности, предполагает использование законов распределения для образования выборки с последующим поиском среднего значения (математического ожидания), разброса выборки (дисперсии) и конечной ошибки. Игровой подход основывается на теории о линейной дифференциальной игре преследования. Линейная игра преследования исходит из идеи о конфликте интересов игроков, когда один игрок стремится убежать, в то время как его противник старается догнать беглеца. Одним из ключевых моментов игрового подхода является тот факт, что каждый из игроков пытается минимизировать свой проигрыш. Отсюда процесс прогнозирования может быть с большей долей вероятности упрощен.

Пусть имеются два малых автоматических летательных аппарата. В рамках линейной динамической задачи они будут называться игроками с поправкой на их аэродинамические свойства и соответствующими индексами. Пусть оба игрока в определенный момент времени обнаруживают друг

друга. Один игрок, заметив другого, стремится «убежать», в то время как его соперник пытается его «догнать». При этом «догоняющему» игроку требуется максимально приблизиться к противнику [2], а именно – обеспечить встречу с ним.

Для каждого из двух АЛА необходимо записать уравнения пространственного движения. В соответствии со вторым законом Ньютона после деления на массу эти уравнения находятся в следующем виде (1), (2):

$$\dot{V}_1 = F'_1 + a_1^{уп}, \quad \dot{S}_1 = V_1, \quad (1)$$

$$\dot{V}_2 = F'_2 + a_2^{уп}, \quad \dot{S}_2 = V_2, \quad (2)$$

где V_1 и V_2 – векторы скорости первого и второго АЛА; F'_1 и F'_2 – векторы внешних сил, деленные на массы АЛА; $a^{уп}$ – управляющее объектом ускорение, возникающее за счет маневрирования АЛА; $S_1(t)$ и $S_2(t)$ – векторы координат АЛА в земной системе.

Индекс «1» является обозначением для игрока, который «догоняет»; индекс «2» – для игрока, который «убегает». Уравнения в скалярной форме могут быть переписаны в матричном виде.

Уравнение, описывающее движение «догоняющего» игрока, может быть переписано в матрично-векторное дифференциальное уравнение (3):

$$\dot{x}_1(t) = Ax_1(t) + Bu_1(t), \quad (3)$$

или в то же уравнение, но в развернутой форме (4):

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{v}_1 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_3 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\dot{x}_1(t)} + \underbrace{\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}}_A + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_B \underbrace{\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}}_{u_1(t)}, \quad (4)$$

Аналогично записываются уравнения для игрока 2 (5):

$$\dot{x}_2(t) = Ax_2(t) + Bu_2(t). \quad (5)$$

Предполагается, что расстояние между игроками 1 и 2 на момент обнаружения друг друга достаточно мало для них, тогда $F'_1 \approx F'_2$. Так как конечным результатом будет являться разница между функциями в конечный момент времени $S_1(t_k) - S_2(t_k)$, внешними силами, действующими на оба игрока, пока можно пренебречь.

Критерием качества выбирается квадратичный функционал, конечная формула которого представлена в виде (6):

$$J = \frac{d}{2} * [S_1(t_k) - S_2(t_k)]^T [S_1(t_k) - S_2(t_k)] + \int_{t_0}^{t_k} [c_1^{-1}(a_1^T(t)a_1(t)) - c_2^{-1}(a_2^T(t)a_2(t))]dt, \quad (6)$$

где d , c_1 и c_2 – весовые коэффициенты функционала, которые образуются в связи с накладыванием ограничений в систему по каждому из параметров (координаты, управляющее ускорение и т. д.).

Физический смысл функционала заключается в следующем. Первое слагаемое является терминальной формой записи, квадратичной, поэтому перемножение $[S_1(t_k) - S_2(t_k)]$ – это штраф на состояние каждого из игроков в момент встречи. Второе слагаемое – штраф на процесс управления на интервале всего движения. Коэффициенты выбираются методом равных вкладов. Таким образом, общий штраф минимизируется. При сильных внешних воздействиях или же маневре цели коэффициенты могут выйти за пределы. В первом слагаемом функционала существует конфликт интересов

игроков, а именно – состояние или координаты известны и обозначены, для игрока 1 они берутся со знаком плюс, координаты игрока 2 – со знаком минус. Таким образом, определяется их стратегия, первый игрок старается уменьшить штраф, второй игрок же старается его увеличить. Первое слагаемое является положительно определенным скаляром, а именно, простым числом. Его раскрытие состоит в формуле (7):

$$\begin{aligned} [S_1(t_k) - S_2(t_k)]^T [S_1(t_k) - S_2(t_k)] &= \left[\begin{bmatrix} x_{1_1} \\ x_{1_2} \\ x_{1_3} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{2_1} \\ x_{2_2} \\ x_{2_3} \end{bmatrix} \right]^T \left[\begin{bmatrix} x_{1_1} \\ x_{1_2} \\ x_{1_3} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{2_1} \\ x_{2_2} \\ x_{2_3} \end{bmatrix} \right] = \\ &= [x_{1_1} - x_{2_1}]^2 + [x_{1_2} - x_{2_2}]^2 + [x_{1_3} - x_{2_3}]^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Минимизация квадратичного функционала J приводит к пространственной минимизации относительного расстояния между игроками 1 и 2. Затем вычисляется и минимизируется скалярное подынтегральное выражение для игрока 1 (8):

$$\begin{aligned} \int_{t_0}^{t_k} [c_1^{-1} (a_1^T(t) a_1(t)) - c_2^{-1} (a_2^T(t) a_2(t))] dt, \\ a_1^T(t) a_1(t) = \begin{bmatrix} a_1(t)_1 & a_1(t)_2 & a_1(t)_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1(t)_1 \\ a_1(t)_2 \\ a_1(t)_3 \end{bmatrix} = a_1(t)_1^2 + a_1(t)_2^2 + a_1(t)_3^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Аналогичные действия выполняются для игрока 2 (9):

$$a_2^T(t) a_2(t) = a_2(t)_1^2 + a_2(t)_2^2 + a_2(t)_3^2. \quad (9)$$

Таким образом, оптимальный закон управления для обоих игроков может быть получен [2] в виде (10) и (11):

$$a_1(t) = \frac{-c_1(t_k - t) \{S_1(t) - S_2(t) + [V_1(t) - V_2(t)](t_k - t)\}}{\frac{1}{d} + (c_1 - c_2) \frac{(t_k - t)^3}{3}}, \quad (10)$$

$$a_2(t) = \frac{-c_2(t_k - t) \{S_1(t) - S_2(t) + [V_1(t) - V_2(t)](t_k - t)\}}{\frac{1}{d} + (c_1 - c_2) \frac{(t_k - t)^3}{3}}. \quad (11)$$

Знак «минус» в этих уравнениях указывает на наличие обратной связи.

Всего может рассматриваться три случая: когда оба игрока летят равномерно; когда игрок 2 начинает маневрировать относительно соперника, но игнорирует его присутствие; интеллектуальная борьба, целью которой является обеспечение встречи.

В настоящей работе, так как первые два случая являются сильно упрощенными ситуациями, более детально будет рассмотрен третий случай, поскольку он представляет наибольший интерес и является основой настоящего исследования.

Для доказательства применения данного подхода была составлена модель, имитирующая интеллектуальную встречу в среде MatLab Simulink. Цель проектирования заключается в наглядной демонстрации применения игрового подхода в реализации системы обеспечения встречи малых АЛА [3].

Полная схема модели, представляющая собой реализацию формул (10) и (11), составлена в соответствии с рис. 1. Входными переменными в данной схеме являются: коэффициенты c_1 , c_2 и d ,

начальная полная скорость V_0 – скорость относительно оси x – V_x . Время моделирования t_1 составляет 100 с. Выходными переменными являются координаты относительно продольного и бокового движения (x, y, z). Переходными процессами в схеме являются вычисления с учетом ограничений по углам, а также с учетом ограничений по заданной начальной скорости для игрока 1. Траектория полета игрока 2 в данном случае не представляет интереса, поэтому координаты для него строятся исходя из образных данных.

Блок маневрирования для игрока 2 вынесен отдельно. Предполагается, что игрок 2 летит по тригонометрическому закону с определенной фазой отклонения. Динамическая модель игрока 1 приближена к динамической модели автоматического летательного аппарата, созданного на базе легкомоторного самолета ЯК-54. Аэродинамические коэффициенты для передаточных функций по продольному и боковому отклонениям АЛА приближены к реальным значениям.

Результаты моделирования приведены на рис. 2; 3. На рис. 2 изображена разность координат двух игроков по времени, таким образом, не только отслеживаются координаты обоих игроков в течение времени моделирования, но и показано, как игрок 1 стремится минимизировать штраф, накладываемый на траекторию, которую ему приходится строить исходя из позиции противника. В итоге система управления минимизирует штраф 1 игрока до 0, что происходит в конце моделирования, и, таким образом, встреча оказалась обеспеченной.

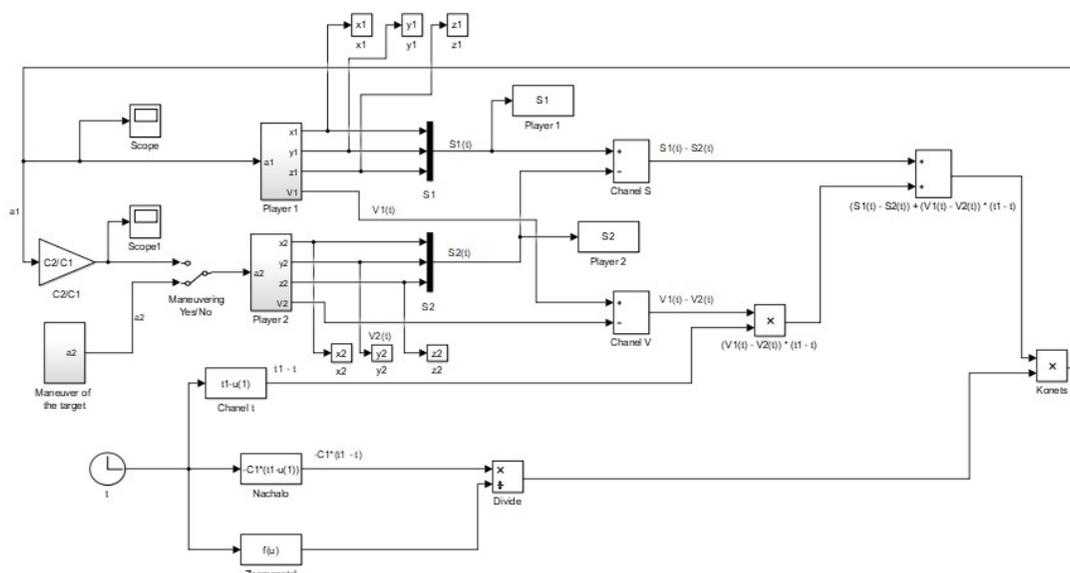


Рис. 1. Общая модель работы алгоритма

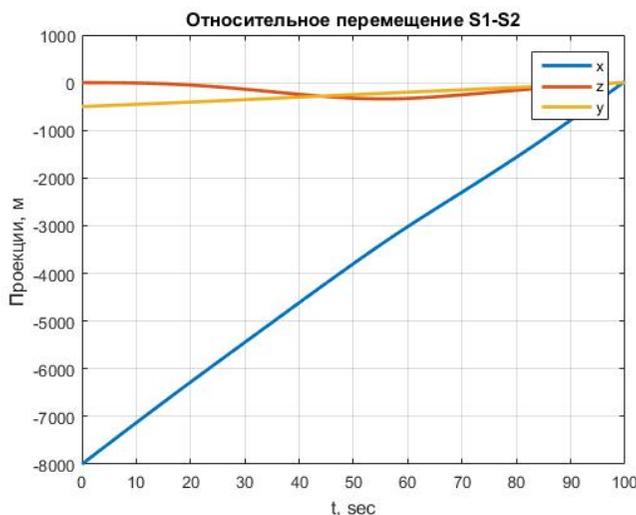


Рис. 2. Диаграмма перемещения двух игроков относительно друг друга

Более наглядно это можно рассмотреть на рис. 3, так как здесь продемонстрированы траектории полета обоих игроков в трехмерном пространстве. Так как из рис. 2 видно, что минимальное расстояние между игроками в конечный момент времени стало равно 0, встреча оказалась обеспечена, а это значит, что цель управления оказалась достигнута.

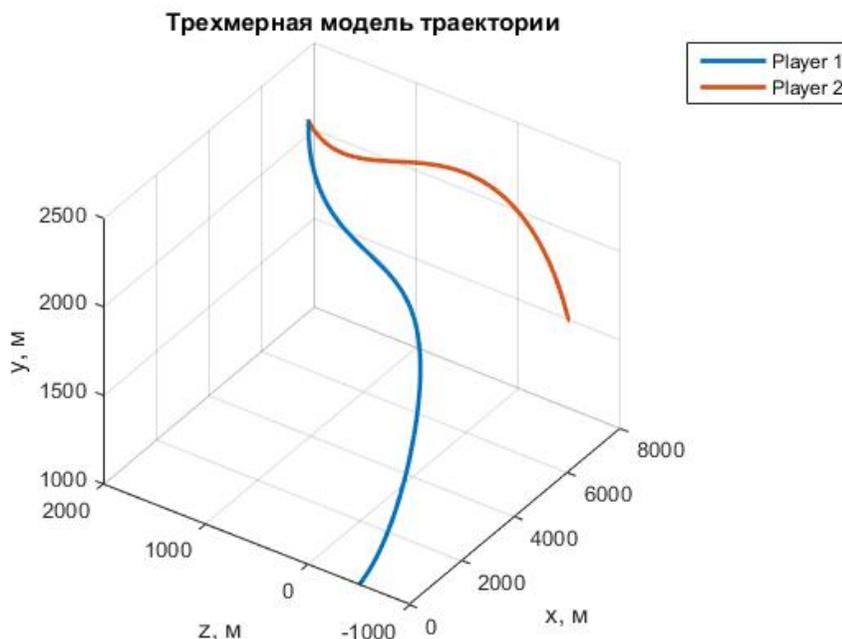


Рис. 3. Трехмерная модель прогнозирования полета двух игроков

Таким образом, была рассмотрена задача управления посредством применения игрового подхода. Отдельно следует сказать, что на модель исследования накладываются ограничения, которые сопоставимы с использованием реальных моделей АПА, в частности, ограничения по маневренности, скорости и другим характеристикам. Кроме того, оба игрока, в соответствии с приведенной выше классификацией, должны принадлежать одному классу, в противном случае, эта задача в рамках настоящего исследования окажется трудновыполнимой. В дальнейшем данное исследование должно быть использовано для разработки системы обеспечения встречи малых автоматических летательных аппаратов, а также для доказательства надежности использования игрового подхода по сравнению с программированием АПА в условиях группового полета.

Библиографический список

1. *Куприков М. Ю.* Беспилотный летательный аппарат. URL: www.bigenc.ru. (дата обращения: 15.04.2019).
2. *Брайсон А.* Прикладная теория оптимального управления. Оптимизация, оценка и управление / пер. с англ. Э. М. Макашова, Ю. П. Плотникова; под ред. А. М. Летова. М.: Мир, 1972. 545 с.
3. *Panferov A. I., Nebylov A. V., Brodsky S. A.* Optimization of the control system for collecting a group of vehicles. URL: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319312017?via %3Dihub#!](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319312017?via%3Dihub#!) (дата обращения: 17.12.2019).

УДК 629.7.05

А. С. Мурзаев

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Н. Коврегин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**АДАПТИВНО-РОБАСТНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ИНЕРЦИАЛЬНО-РАДИОЛОКАЦИОННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Современное состояние бортовых навигационных комплексов характеризуется постоянным усложнением задач, подлежащих решению. Известно, что навигационные системы (НС) на борту летательного аппарата (ЛА) могут решать не только традиционные задачи навигации, но и специальные задачи: навигацию определенной точки ЛА, например, навигацию фазового центра антенны (ФЦА) многофункциональной радиолокационной станции (МФРЛС) [1,2]. Для правильного решения таких задач необходима достаточно точная и достоверная непрерывная информация. НС авиационного типа традиционно строятся на основе комплексированных бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), которые выступают в качестве информационного «ядра», корректируемого данными от аппаратуры глобальной спутниковой навигационной системы (ГНСС). Однако при таком традиционном варианте комплексирования, система имеет некоторые недостатки, например, снижение точности в высокودинамичной, статистически и параметрически неопределенной, сложной сигнально-помеховой обстановке как из-за возможных «срывов» ГНСС-определений, так и из-за усиленного влияния фактора рассредоточенности датчиков при маневрировании ЛА. Таким образом, использование в качестве коррекции только данных аппаратуры ГНСС не позволяет достичь требуемой высокой точности и надежности, предъявляемых к НС для решения специальных задач. В силу этого существует необходимость по использованию данных от МФРЛС, работающего в режиме доплеровского измерителя скорости (ДИС), при моноимпульсном измерении радиальной скорости в направлении центра картографируемого участка, в качестве дополнительного скоростного корректора, а также радиовысотомера в качестве дополнительного корректора высоты.

Объектом исследования данной работы является интегрированная НС, в основе которой лежит БИНС с возможностью коррекции от радиотехнических каналов, в том числе МФРЛС. Предметом исследования является функциональное алгоритмическое обеспечение.

Целью работы является повышение точности и помехоустойчивости рассмотренных НС посредством разработки помехоустойчивых алгоритмов информационной интеграции инерциальных и радиолокационных каналов с минимизацией потерь потенциальной точности. Такие алгоритмы могут быть построены с применением адаптивно-робастной и непараметрической ранговой фильтрации.

НС, решающие задачи навигационного обеспечения МФРЛС при земле обзоре, имеют жесткие требования к точности позиционирования ЛА-носителя. Требования обусловлены необходимостью обеспечения когерентности обработки принимаемого радиосигнала на протяжении всего интервала синтезирования. Для МФРЛС X-диапазона, работающей в режимах высокого и сверхвысокого разрешения, НС должны обладать следующими характеристиками точности [3]:

- среднеквадратическая ошибка (СКО) вычисления составляющих линейной скорости ЛА на интервале синтезирования 11 с должна быть не больше $7.3 \cdot 10^{-4}$ м/с, а СКО вычисления ускорения для ФЦА – не больше $1.3 \cdot 10^{-4}$ м/с²;
- СКО вычисления углов ориентации ЛА в течение сеанса картографирования должна быть не больше 0.1° ;
- СКО вычисления координат фазового центра антенны в течение сеанса картографирования должна быть не больше 16 мм.

В настоящее время ни одна из известных НС не решает такую специальную задачу с требуемой точностью. Самые высокоточные инерциально-спутниковые системы за 11-секундный интервал времени могут обеспечить минимальную ошибку привязки ФЦА лишь на уровне 1-3 метра.

Кроме того, даже такая потенциальная точность может быть снижена при маневре ЛА и случайных «срывах» навигационных решений ГНСС. Для обеспечения стабильной работы зачастую используют распределенные системы [4-6], которые предполагают использование нескольких ГНСС антенн

и приемников. Но даже такая мера не всегда приводит к надежной работе НС. На рисунках 1-4 представлены данные работы двух типовых приемников и двух типовых антенн при работе на ЛА. Красными точками обозначены моменты времени, когда навигационная информация была недостоверна от обоих приемо-вычислительных модулей (МПВ); черными и синими точками моменты времени, когда достоверным был лишь один из приемников; зелеными точками, когда данные от обоих МПВ были достоверны.

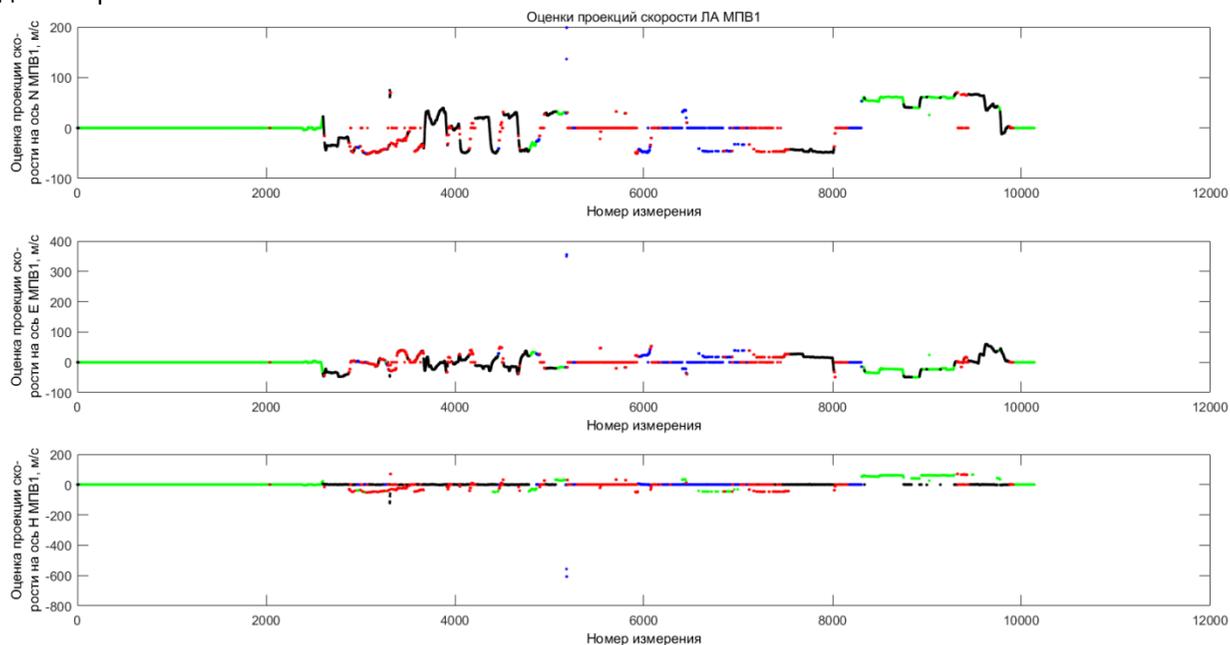


Рис. 1. Оценки проекций скорости ЛА МПВ 1 ГНСС

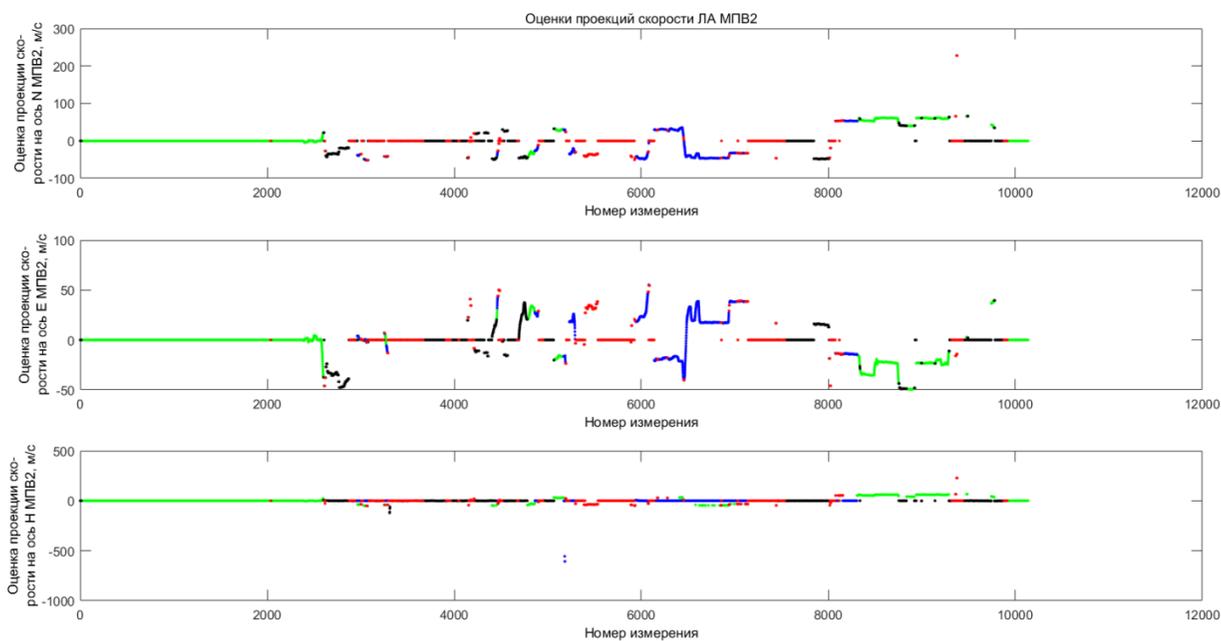


Рис. 2. Оценки проекций скорости ЛА МПВ 2 ГНСС

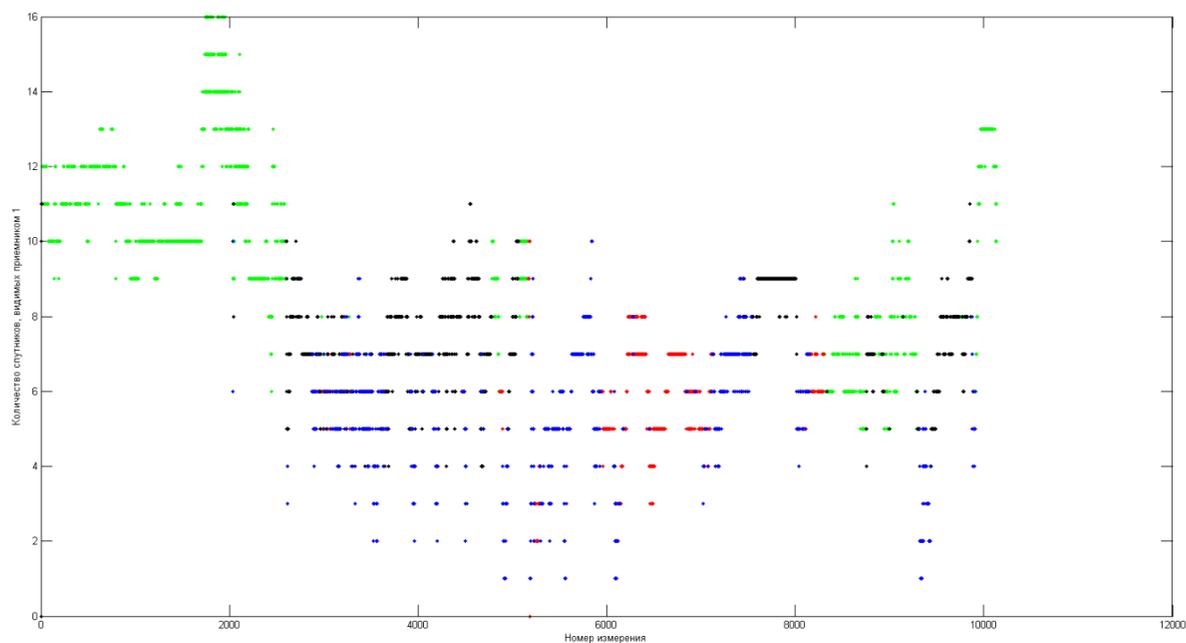


Рис. 3. Количество спутников, видимых антенной приемника 1

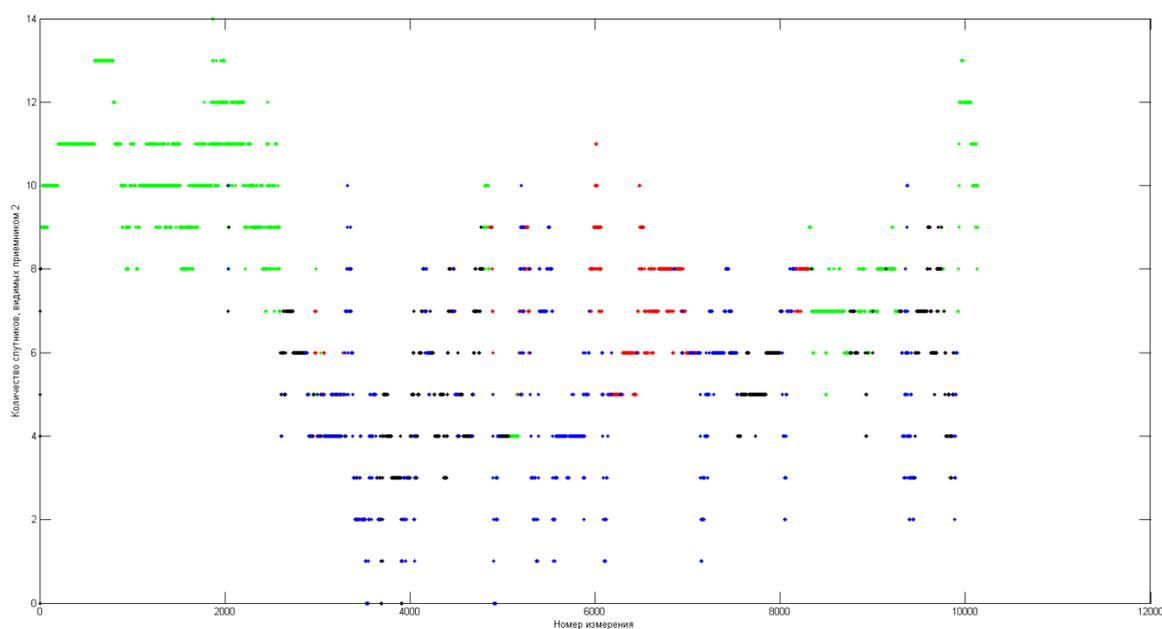


Рис. 4. Количество спутников, видимых антенной приемника 2

Из рис. 1; 2 следует, что в отсутствии маневров ЛА ГНСС стабильно выдает достоверные навигационные решения, при маневрировании качество работы аппаратуры ГНСС сильно ухудшается, что сказывается на точностных характеристиках интегрированных инерциально-спутниковых систем. Для выдачи достоверного навигационного решения аппаратуре ГНСС обычно достаточно не менее 4 спутников, однако рис. 3; 4 показывают, что в некоторых случаях даже 8–10 видимых спутников недостаточно при неблагоприятных условиях окружающей сигнально-помеховой обстановки. Данные факторы подтверждают необходимость применения дополнительных радиотехнических корректоров для обеспечения надежной и достоверной информацией БИНС.

Для решения обозначенной проблемы и разработки функционального алгоритмического обеспечения адаптивно-робастной комплексной обработки инерциальной и радиолокационной навигационной информации летательного аппарата необходимо решить следующие подзадачи:

- разработка структуры инерциально-радиолокационной навигационной системы (ИРНС).

Состав ИРНС может включать: информационное «ядро» – БИНС, радиотехнические корректоры – аппаратура ГНСС, МФРЛС, радиовысотомер;

- создание математических моделей подсистем, входящих в состав ИРНС. Математическая модель БИНС может быть построена с использованием различных способов определения элементов матриц направляющих косинусов, например, с использованием уравнения Пуассона, с использованием кватернионов (параметров Родрига-Гамильтона) или смешанного способа.

Хорошо известны и описаны методы разработки математических моделей приемной аппаратуры ГНСС, например, в [7].

Модель измерения скорости в МФРЛС можно представить следующей формулой [3]:

$$V_{РЛС}^g(T) = (V_n^g + \delta V_n^g) \cos \alpha_k \cos \beta_k + (V_e^g + \delta V_e^g) \sin \alpha_k \cos \beta_k + (V_h^g + \delta V_h^g) \sin \beta_k$$

где T – момент окончания процесса картографирования; $V^g(T) = (V_n^g \ V_e^g \ V_h^g)^T$ – вектор скорости ЛА на момент времени T в осях остановленной горизонтированной системе координат (ОГСК), α_k, β_k – углы линии визирования центра картографируемого участка в ОГСК, $\delta V^g(T) = (\delta V_n^g \ \delta V_e^g \ \delta V_h^g)^T$ – вектор случайных ошибок измерения скорости в осях ОГСК.

В качестве математической модели радиовысотомера можно рассматривать стохастическую модель описанную в [8,9].

- разработка структуры и математического содержания алгоритмического обеспечения;
- моделирование и исследование ИРНС;
- разработка процедур комплексной обработки информации.

Ожидаемым результатом исследований и разработок является создание унифицированного алгоритмического обеспечения комплексной обработки информации инерциальной и радиотехнической информации.

Библиографический список

1. Кондратенков Г. С. Авиационные системы радиовидения. М.: Радиотехника, 2015. 648 с.
2. Антипов В. Н., Горяинов В. Т., Кулин А. Н. и др. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / под ред. В. Т. Горяинова. М.: Радио и связь, 1988.
3. Ильин Е. М., Козорез Д. А. и др. Облик бортовой интегрированной навигационной системы летательного аппарата, обеспечивающей высокоточное позиционирование фазового центра антенны бортовой РЛС // Вестн. СибГУТИ. 2016. № 3. С. 33–45.
4. Инерциально-спутниковая система микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой / А. В. Чернодаров, А. П. Патрикеев, В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина // Новости навигации. 2016. № 4. С. 12–15.
5. Чернодаров А. В., Патрикеев А. П., Коврегин В. Н. и др. Летная отработка распределенной системы инерциально-спутниковой микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой // Науч. вестн. МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 01. С. 222–231
6. Использование инерциально-спутниковой навигационной системы для определения параметров движения фазового центра антенны радиолокатора / А. В. Чернодаров, А. П. Патрикеев, В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина // XXIII Санкт-Петербург. Международ. конф. по интегрированным навигационным системам: сб. докл. СПб., 2016. С. 266–274.
7. Математическая модель приемной аппаратуры спутниковой навигационной системы, входящей в состав сильно-связанной интегрированной системы ориентации и навигации / В. В. Савельев, М. Б. Богданов, А. В. Прохорцов, В. А. Смирнов // Известия ТулГУ. 2016. № 5. С. 171–182.
8. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / под ред. М. Н. Красильщикова и Г. Г. Себрякова. М.: Физматлит, 2009. 556 с.
9. Ориентация и навигация подвижных объектов / под ред. Б. С. Алешина, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. М.: Физматлит, 2006. 424 с.

УДК 629.7.052

М. И. Пурцакин

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

А. В. Небылов – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**КАНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛОЙ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА ГЛИССИРУЮЩЕГО ВОДНОГО ТАКСИ**

В данной работе объектом исследования является скоростное водное такси,двигающееся в условиях интенсивного морского волнения, и канал измерения высоты. Предметом исследования является влияние характеристик морского волнения и параметров движения на высоту полета. Задача исследования состоит в повышении качества измерения высоты.

Задача повышения качества измерения высоты полета является актуальной ввиду того, что продольная устойчивость аппарата может нарушиться из-за зависимости аэродинамической силы от высоты движения, а также из-за отсутствия минимального запаса высоты. Грубые ошибки управления, такие как отказ какого-либо элемента автоматики, приводят к стремительному развитию аварийной ситуации.

Требования, выдвигающиеся к качеству измерения высоты полета глиссирующего водного такси, следующие: диапазон измерения высоты h – от 0 до 3 м, допустимая величина погрешности – 0.1 м, допустимая постоянная времени измерителя – 0.05 с.

Высота движения водного такси отсчитывается от среднего уровня морской поверхности и локальной области под ним. Средний уровень морской поверхности – это усредненная высота волн на участке, дальнейшее увеличение которого практически не сказывается на его средней высоте.

Для измерения высоты полета водного такси используется метод активной локации, заключающийся в излучении сигнала в электромагнитном или ультразвуковом частотных диапазонах.

Наиболее применимы позиционные электромагнитные высотомеры: радиовысотомеры, световые (лазерные) и гамма-высотомеры (изотопные).

Действие радиовысотомера на малых высотах над морской поверхностью обладает принципиальными особенностями, определяющими точность и режим работы радиовысотомера. Практически не оказывают влияния на работу радиовысотомера малых высот внутриприемные шумы, однако возникает необходимость специальных мер, которые уменьшат влияние переотражений от корпуса глиссирующего водного такси.

Более всего распространены радиовысотомеры непрерывного излучения с частотной модуляцией по пилообразному, синусоидальному или случайному законам.

Лазерные высотомеры благодаря достаточно узкому лучу (порядка 1 угл. мин.) позволяют измерять расстояние с высокой точностью. Главный минус – ненадежная работа в плохих метеорологических условиях и импульсный режим работы.

Предназначены специально для измерения малых высот изотопные высотомеры, которые построены по принципу измерения сцилляционным счетчиком интенсивности γ -лучей, отраженных от подстилающей поверхности. Простота конструкции – главное достоинство изотопного высотомера. Серьезный недостаток заключается в том, что при работе над невзволнованной поверхностью он работает достаточно точно, однако при работе над сильно взволнованным морем появляются дополнительные ошибки. Его работа зависит от погодных условий, это стоит учитывать при его применении.

Для точности локационного высотомера большое значение имеют отражательные свойства подстилающей поверхности, так как подстилающая поверхность не является зеркальной, то в отраженном сигнале присутствует не только когерентная составляющая и помимо инструментальных ошибок и методических погрешностей остальные параметры тоже флюктуируют, в том числе и информационный, это снижает точность проводимых измерений [1, 2].

Выходной сигнал локационного измерителя при низковысотном полете над взволнованным морем представляется как:

$$x_{\text{лв}}(t) = h(t) + v_{\text{лв}}(t) = h(t) + y(t) + \Delta h(t), \quad (2)$$

где $h(t)$ - истинная высота водного такси относительно среднего уровня взволнованной поверхности; $\upsilon_{лв}$ – результирующая погрешность измерения $h(t)$; $y(t)$ – ордината точки профиля волны, находящейся в центре облучаемой высотомером площадки; $\Delta h(t)$ – погрешность высотомера.

Диаметр облучаемой площадки не превышает единиц метров, если расстояние между водной поверхностью и измерителем несколько метров. При взволнованной морской поверхности средняя длина волны существенно больше, к примеру, при пятибалльном волнении она будет около 40 метров, поэтому облучаемый участок воспринимается плоскостью, угол наклона которой соответствует склонам крупных морских волн. Погрешность измерения расстояния до такой плоскости должна быть меньше или равна погрешности измерителя, которая установлена в паспортных данных, при отсутствии жесткой стабилизации его антенны. На сегодняшний день при постоянной времени 0,1 с погрешность будет равна примерно 10-1, так как при волнении средней интенсивности высоты волн равняются нескольким метрам, погрешностью высотомера можно пренебречь, а мелкие волны и рябь будут сглаживаться в выходном сигнале высотомера. Низкочастотные составляющие локационного высотомера интересны только для анализа результирующей точности измерения высот. Пространственную характеристику высотомера в первом приближении можно считать равномерной. Во втором приближении можно учесть сглаживающие свойства высотомера как пространственного фильтра, условно пропуская погрешность через аperiodическое звено второго порядка с малыми постоянными времени. Постоянные времени зависят от диаметра облучаемой области и скорости движения аппарата.

Для анализа высотомера как пространственного фильтра необходимо учитывать форму диаграммы обратного рассеяния подстилающей поверхности, которая нестационарна и непредсказуема.

Сглаживающие свойства высотомера при пятибалльном морском волнении начинают проявляться лишь при полете на высотах, превышающих четыре метра.

Погрешность экспоненциально коррелирована со спектральной плотностью. Для дисперсии и максимальной величины этой погрешности запишем формулу:

$$\delta_{\Delta h}^2(\omega) = \frac{G_{\Delta h}(0)}{2T_g}, \Delta h_{\max} \approx 3\delta_{\Delta h} = 3\sqrt{\frac{G_{\Delta h}(0)}{2T_g}}. \quad (3)$$

При пятибалльном волнении и скорости полета 100 м/с уровень спектральной плотности волновой составляющей погрешности $G(0)$ может достигать 0.1 м²с. Введя ограничение $G_{\Delta h}(0) \leq 0.02 * 0.1$ и приняв $T_g = 0,1$ с, получим выражение максимальной ошибки высотомера

$$\Delta h_{\max} \approx 3\sqrt{\frac{0.02 * 0.1}{0.1}} = 0.3 \text{ м.}$$

Так как современные локационные высотомеры измеряют с достаточно высокой точностью, то возможность пренебрежения собственной погрешностью высотомера можно считать доказанной в случае исследования результирующей погрешности измерения полета на малых высотах.

Кроме флюктуационной погрешности у высотомера существует еще квазипостоянная составляющая, которая возникает из-за зависимости положения нулевой точки шкалы высотомера и от вида подстилающей поверхности. При переходе от измерения над водной поверхностью к измерению над сушей или льдом, возникает квазипостоянная составляющая поверхности, которая достигает 0.1 метра и более, также возникает смещение нулевой точки. Квазипостоянную составляющую погрешности невозможно подавить комплексированием измерителей, поэтому необходимо совершенствовать непосредственно высотомеры.

Примем облучаемую локационным высотомером площадку равномерно засвеченным кругом с диаметром d . Ординаты этой морской волны описываются формулой $z(x) = z_m \cos(kx + \varphi)$, где z_m – амплитуда волны; k – пространственная частота формы; x – расстояние вдоль оси, перпендикулярной гребня волны; φ – начальная фаза, которую можно сделать нулевой, выбрав соответствующее начало

отсчета.

Тем не менее для повышения точности и помехоустойчивости измерения необходимо комплексирование системы, т. е. совместно использовать несколько независимых источников информации [3]. При оценке текущей высоты полета $h(t)$ могут быть использованы показания следующих датчиков: трех локационных высотомеров и трех инерциальных датчиков, предназначенных для измерения абсолютного линейного ускорения водного такси (рис. 1).

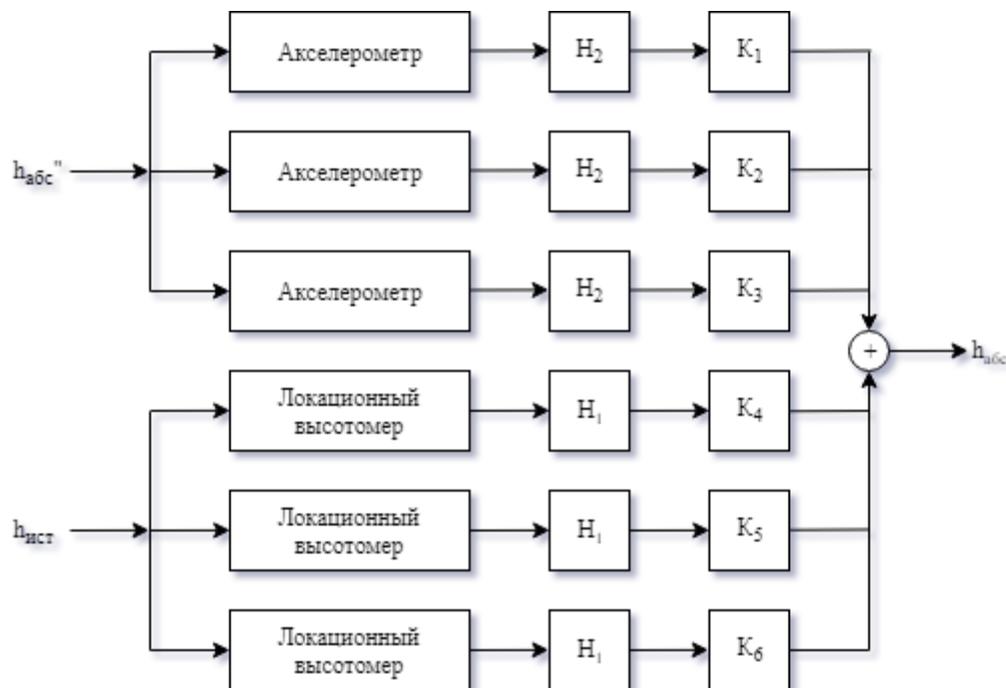


Рис. 1. Схема измерения абсолютной высоты глссирующего водного такси

Комплексирование датчиков в единую измерительную систему обеспечивает результирующую точность измерений, которая превышает достижимую точность при раздельном использовании датчиков. Это возможно за счет подавления в выходном сигнале каждого датчика спектральных составляющих, искаженных шумами измерения в более сильной мере, чем в выходных сигналах других датчиков. Чем больше различие в спектральных характеристиках погрешностей датчиков, тем сильнее проявляется преимущество комплексированной системы в точности.

В качестве основной меры точности измерений в зависимости от особенности их использования целесообразно принять либо максимальную (практически максимальную), либо среднеквадратичную величины асимптотически несмещенной оценки [4]. Наилучшим образом характеризует качество измерения высоты полета водного такси максимальная величина ошибки, так как большие отклонения этой координаты от среднего значения недопустимы.

При проведении моделирования измерительной системы, моделируемые дискретные передаточные функции были найдены на основе дискретной аппроксимации оптимальных непрерывных прототипов. Передаточные функции полных каналов измерителя $H_i(s)$, $i = 1...6$, которые следует найти, в общем случае выглядят следующим образом:

$$H_i(s) = \frac{b_{i0} + b_{i1}s + \dots + b_{in}s^n}{1 + a_{i1}s + \dots + a_{in}s^n}, \quad (4)$$

где $\{a_i\}_1^n, \{b_{ij}\}_{j=0}^n \in [0, \infty)$ – коэффициенты, подлежащие определению.

Реализовываем измерительную систему как единую схему фильтра с 6 входами, не разделенную на отдельные каналы, так как знаменатели передаточных функций $H_i(s)$ единообразны. Из адди-

тивной смеси погрешности с погрешностью другого датчика фильтру необходимо выделить погрешность одного датчика [5].

Результаты моделирования представлены на рис. 3, где ψ - направление движения; σ_e – среднеквадратическое отклонение; V – скорость полета.

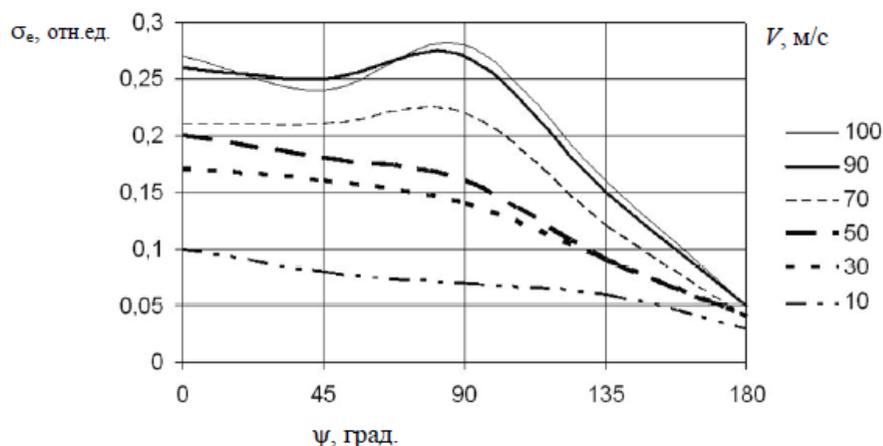


Рис. 3. Результаты моделирования системы измерения параметров полета глиссирующего водного такси

По итогам моделирования системы измерения параметров полета глиссирующего водного такси видно, что в значительной степени точность измерений зависит от взаимного расположения векторов скорости объекта и генерального направления распространения волн. В определенном диапазоне высот волн трехпроцентной обеспеченности, система с неизменяющимися коэффициентами обеспечивает более низкую точность по сравнению с требуемой точностью. Данный случай недопустим по критериям безопасности полета и необходимо наложение ограничений на направление движения глиссирующего водного такси или запрет полета в условиях сильного морского волнения, так как это может привести к аварии.

Библиографический список

1. Небылов А. В. Измерение параметров полета вблизи морской поверхности. СПб.: ГУАП, 1994. 308 с.
2. Бесекерский В. А., Елисеев Л. Л., Небылов А. В. Радиоавтоматика: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1985. 271 с.
3. Бесекерский В. А., Небылов А. В. Робастные системы автоматического управления. М.: Наука, 1983. 240 с.
4. Небылов А. В. Гарантирование точности управления. М.: Наука, 1998. 304 с.
5. Nebylov A., Watson J., Editors. Aerospace Navigation Systems. UK: Wiley & Sons, 2016. 392 p.

УДК 629.7.05

Д. М. Руцик

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. А. Тупышев – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ФЕДЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Введение

С увеличением количества воздушных судов растут требования к точности и надежности приборов позиционирования летательного аппарата (ЛА). Широкое распространение получили навигационные комплексы (НК), включающие в себя несколько разнотипных измерителей координат, информация с которых комплексно обрабатывается для достижения требуемого уровня точности [1-2]. Комплексный подход к обработке информации предусматривает использование менее точных, но автономных инерциальных навигационных систем (ИНС) и курсовертикалей и корректирующих их показания радиотехнических средств и спутниковой навигационной системы (СНС).

В настоящее время для решения задачи обработки навигационной информации, поступающей с датчиков, применяется оптимальный централизованный фильтр Калмана (ФК), основная идея которого – работа с вектором состояния, включающим в себя погрешности всех датчиков НК. Несмотря на широкое распространение, ФК имеет существенный недостаток – наличие неполадок в одном из датчиков может привести к неверному оцениванию всего вектора состояния, вследствие чего неработоспособным оказывается весь НК.

Альтернативой ФК выступает метод федеративной фильтрации (ФФ), при котором информация сначала обрабатывается в частных фильтрах калмановского типа, а оценка рассчитывается в блоке безынерционного осреднения (ББО). ФФ используется как составляющая модульного построения НК, где различные составляющие комплекса разделены на обособленные измерительные модули, а обработка осуществляется для каждого модуля отдельно. Такой подход к осуществлению обработки информации обеспечивает более высокую надежность и снижает вычислительные затраты по сравнению с централизованной фильтрацией [1, 3]. Серьезный недостаток ФФ заключается в том, что использование одних и тех же устройств коррекции в частных фильтрах приводит к появлению корреляции выходных оценок сигнала на выходе этих фильтров; если не учесть это в ББО, определение точности полученной навигационной информации сильно усложнится.

Необходимо подробнее рассмотреть централизованную и федеративную фильтрацию, чтобы понимать, что происходит с сигналами датчиков и по каким критериям производится оценка точности.

Обработка информации централизованным фильтром

Как уже было сказано выше, централизованная фильтрация предполагает сбор данных с каждого датчика комплекса в едином блоке комплексной обработки информации, как правило, для этого используется централизованный ФК. В качестве первичных измерителей будем использовать две инерциальные навигационные системы (ИНС), а для их коррекции применим СНС и автоматический радиоконпас (АРК). Таким образом, принципиальная схема комплексной обработки информации централизованным ФК будет выглядеть, как показано на рис. 1.

Сигналы от ИНС ξ , направляемые в блок обработки, включают в себя координаты ЛА $X_{\text{ИНС}}$, $Y_{\text{ИНС}}$, $Z_{\text{ИНС}}$, проекции векторов скорости $V_{\text{ИНС}x}$, $V_{\text{ИНС}y}$, $V_{\text{ИНС}z}$ на оси X , Y , Z , курсовой угол K и другие параметры, которые для простоты опускаются. От СНС поступает информация о координатах и скорости ЛА $S_{\text{СНС}}$. АРК предоставляет данные о курсовом угле радиостанции.

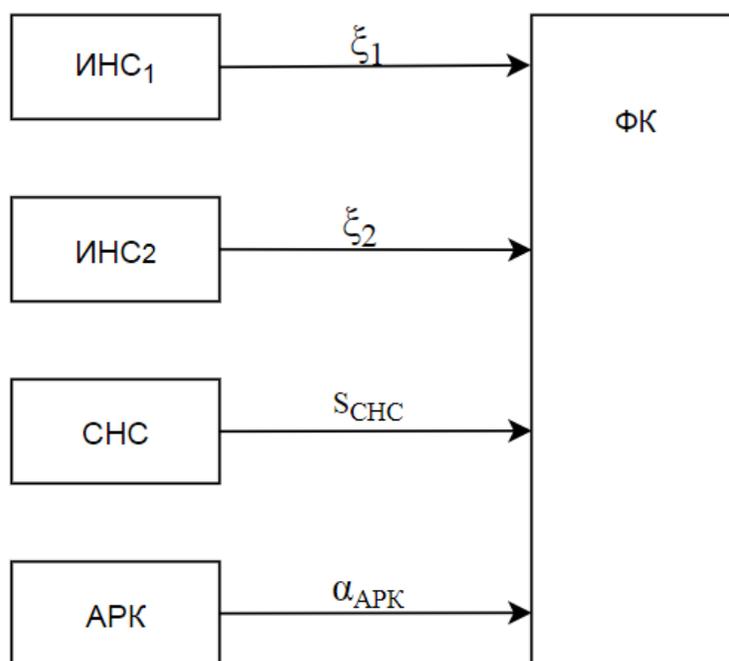


Рис. 1. Централизованная обработка сигнала

Информация, обрабатываемая в централизованном фильтре, может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned}
 z_1(k) &= \xi_1(k) - \xi_2(k); \\
 z_2(k) &= X_{ИНС}(k) - X_{СНС}(k); \\
 z_3(k) &= Y_{ИНС}(k) - Y_{СНС}(k); \\
 z_4(k) &= Z_{ИНС}(k) - Z_{СНС}(k); \\
 z_5(k) &= V_{ИНС_x}(k) - V_{СНС_x}(k); \\
 z_6(k) &= V_{ИНС_y}(k) - V_{СНС_y}(k); \\
 z_7(k) &= V_{ИНС_z}(k) - V_{СНС_z}(k); \\
 z_8(k) &= K_{ИНС}(k) - K_{АРК}(k).
 \end{aligned}$$

Разностные уравнения обрабатываются для получения вектора состояния, который в свою очередь применяется для коррекции показаний ИНС [4-5]. Общий для всех погрешностей вектор состояния как раз и является тем существенным недостатком централизованной фильтрации, о котором говорилось выше. Сбой в работе хотя бы одной ИНС может привести к неверному выводу вектора состояния и, соответственно, к неправильной работе всего комплекса.

Федеративная обработка информации

Децентрализация обработки сигналов является главной причиной для внимательного изучения федеративной фильтрации как приемника привычной обработки при помощи ФК. Как говорилось ранее, федеративная фильтрация удобна с точки зрения модульного принципа построения современного бортового оборудования и уменьшения вычислительных затрат на обработку сигнала. Принципиальная схема такой фильтрации представлена на рис. 2.

Как можно заметить, применяются те же самые датчики (ИНС, СНС, АРК), но способ соединения их принципиально иной. Каждая ИНС теперь имеет собственный частный фильтр калмановского

типа, на каждый из которых помимо сигналов с ИНС поступает информация от корректирующих датчиков. Обработка происходит внутри частных фильтров, их выходным сигналом являются оценки векторов состояния и характеризующие их точность ковариационные матрицы.

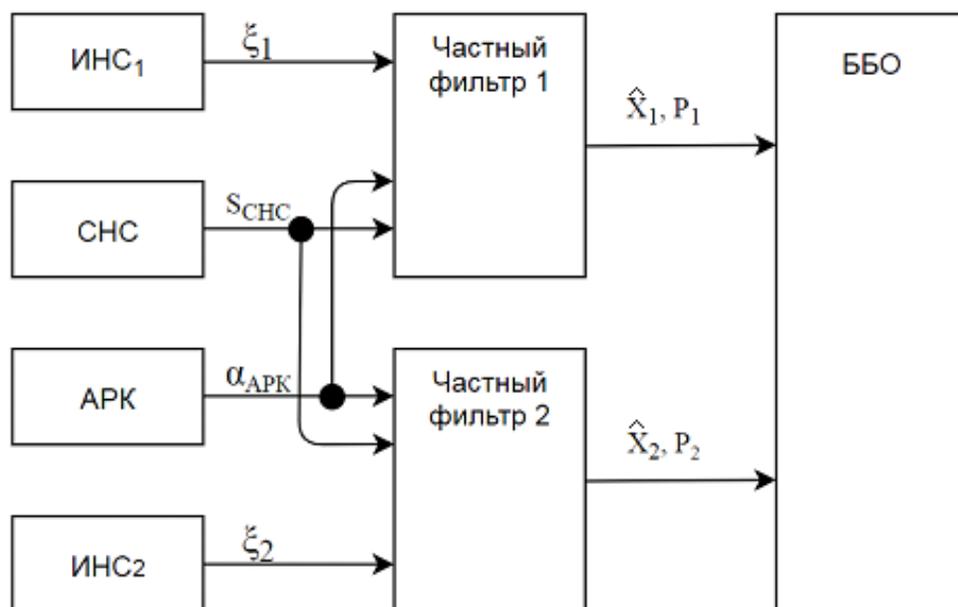


Рис. 2. Федеративная обработка сигнала

Как и в случае с централизованным фильтром, в федеративных фильтрах обработке подвергаются разностные уравнения следующего вида:

$$\begin{aligned}
 z_{11}(k) &= X_{ИНС_1}(k) - X_{СНС}(k); & z_{21}(k) &= X_{ИНС_2}(k) - X_{СНС}(k); \\
 z_{12}(k) &= Y_{ИНС_1}(k) - Y_{СНС}(k); & z_{22}(k) &= Y_{ИНС_2}(k) - Y_{СНС}(k); \\
 z_{13}(k) &= Z_{ИНС_1}(k) - Z_{СНС}(k); & z_{23}(k) &= Z_{ИНС_2}(k) - Z_{СНС}(k); \\
 z_{14}(k) &= V_{ИНС_{x_1}}(k) - V_{СНС_x}(k); & z_{24}(k) &= V_{ИНС_{x_2}}(k) - V_{СНС_x}(k); \\
 z_{15}(k) &= V_{ИНС_{y_1}}(k) - V_{СНС_y}(k); & z_{25}(k) &= V_{ИНС_{y_2}}(k) - V_{СНС_y}(k); \\
 z_{16}(k) &= V_{ИНС_{z_1}}(k) - V_{СНС_z}(k); & z_{26}(k) &= V_{ИНС_{z_2}}(k) - V_{СНС_z}(k); \\
 z_{17}(k) &= K_{ИНС_1}(k) - K_{АРК}(k); & z_{27}(k) &= K_{ИНС_2}(k) - K_{АРК}(k).
 \end{aligned}$$

Частные оценки поступают на вход ББО, после чего производится их взвешенное осреднение, и в результате образуется комплексная оценка вектора состояния и расчетная ковариационная матрица.

При всех достоинствах ФФ нужно отметить, что использование одних и тех же источников корректировочной информации в частных фильтрах приводит к корреляции параметров \hat{X}_1 и \hat{X}_2 , которую теперь необходимо учитывать в ББО. В противном случае ковариационная матрица P на выходе ББО не может рассматриваться как мера точности выработки навигационных параметров.

Существуют различные способы противостоять этой проблеме [1, 6]. Один из способов – применение принципов репродукции измерений, при которых измерительная информация считается независимой. Иначе говоря, считается, что на вход частных фильтров помимо сигнала от ИНС приходит информация из двух независимых СНС и двух АРК, т. е. подразумевается, что существует пара блоков из трех измерителей, соединенных в паре частных фильтров, хотя в действительности это дублированная информация с одной СНС и одного АРК.

На основании вышеизложенного материала планируется провести детальное исследование централизованного и федеративного методов фильтрации с целью выявления их точностных характеристик при работе с моделями реальных приборов и систем, входящих в состав современных НК.

Библиографический список

1. *Тупышев В. А., Литвиненко Ю. А.* Комплексирование показаний нескольких ИНС с использованием принципа репродукции измерений // Гироскопы и навигация. 2012. С. 83–94.
2. *Бабич О. А.* Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение. 1991. 512 с.
3. *Тупышев В. А.* Разработка методов комплексной обработки информации в навигационных комплексах с модульным принципом построения. URL: https://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_1926248 (дата обращения: 24.03.2020).
4. *Тупышев В. А.* Методы синтеза алгоритмов фильтрации с гарантированными качеством оценивания параметров в задачах обработки навигационной информации: автореферат. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн „ЦНИИ „Электроприбор“», 2011. 35 с.
5. *Матвеев В. В., Располов В. Я.* Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн „ЦНИИ „Электроприбор“». 2009. 280 с.
6. HomoLuden. Генератор федеративного фильтра Калмана с использованием генетических алгоритмов. URL: <https://habr.com/ru/post/178453/> (дата обращения: 26.03.2020).

УДК 621.37.621.391

И. В. Светлов

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИНИТНО-ВРЕМЕННОГО МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ СКОРОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

На сегодняшний день происходит непрерывный процесс совершенствования авиационного оборудования летательных аппаратов. Это связано с постоянно усложняющимися задачами, которые это оборудование выполняет или стремится выполнять. В основе этих задач лежат повышение безопасности, получение информации о параметрах, которые характеризуют работу систем, положение в пространстве и движение летательного аппарата.

В настоящее время используются различные методы обработки и фильтрации сигналов, но наиболее широкое распространение получил метод фильтрации Калмана. Благодаря ряду достоинств, данный метод может обеспечить необходимую точность [1]:

- критерием оптимальности является среднеквадратическая ошибка оценки;
- оптимален уже при переходном процессе;
- оценка сигналов осуществляется по рекуррентным формулам;
- использование всех измерений с момента начала работы для формирования текущих оценок.

Но наряду с достоинствами фильтрация Калмана имеет ряд недостатков [1]:

- заметная чувствительность к отклонениям характеристик наблюдаемых сигналов от заданных значений при определении параметров фильтра Калмана.
- достаточно большой объем исходной информации;
- модель оцениваемого сигнала должна иметь свойство марковости;
- необходимость вычисления нелинейного уравнения Риккати для работы алгоритма;
- необходимость представления сигнала в пространстве состояний;

Поэтому в данной работе представлен альтернативный метод фильтрации: финитно-временной метод фильтрации на примере сигналов скорости летательного аппарата.

Критерием оптимальности для финитно-временного метода оценивания является минимум дисперсии ошибки оценки [2]:

$$D_E = \text{Tr} \left[M \left[E \times E^T \right] \right] \quad (1)$$

Финитно-временной алгоритм оценивания основан на следствии теоремы ортогонального проецирования, по которому определяется оптимальная матрица преобразования размерностью $n \times n$ [3]:

$$A_i^* = K_{XZ_i} \cdot K_{Z_i}^{-1} \quad (2)$$

Оценка для финитно-временного алгоритма:

$$\hat{X}_i = A_i^* \cdot Z_i \quad (3)$$

Корреляционная матрица оценки сигнала:

$$K_{\hat{X}_i} = A_i^* \cdot K_{Z_i} \cdot A_i^{*T} \quad (4)$$

Матрица наблюдаемого сигнала при финитно-временном алгоритме без обратной связи:

$$Z_i = \begin{bmatrix} Z_i \\ Z_{i-1} \\ \vdots \\ Z_{i-r+1} \end{bmatrix}_{r \times 1} \quad (5)$$

При анализе рассматриваемых алгоритмов основным параметром для сравнения является статистическая дисперсия ошибки оценки, определяемая формулой:

$$Dwef_i = Dwef_{(i-1)} + \frac{1}{(i-1)} \cdot [(wef_i - Mwef_i)^2 - Dwef_{(i-1)}], \quad (6)$$

где wef_i – ошибка оценки наблюдаемого сигнала, $Mwef_i$ – математическое ожидание ошибки оценки.

В работе в качестве критерия оптимизации рассматриваются средние квадраты ошибки оценки сигналов, полученных от измерителей ДИСС (Доплеровский измеритель скорости и сноса) AD-2000 и ДВС (Датчик воздушной скорости) в составе СВС-96 [3].

Модели измерений являются линейными с аддитивной погрешностью, не коррелированной друг с другом. Модели сигналов – случайные стационарные, эргодические, дискретные, с нормальными законами распределения погрешности, результатов измерения.

В работе рассматриваются два комплексных оптимально-инвариантных финитно-временного алгоритма фильтрации, при условии, что низкочастотная погрешности являются стационарными гауссовскими марковскими 1-го и 2-го порядка процесса, вторая погрешность в виде дискретного белого шума. Хотя для работы финитно-временного метода фильтрации условие марковости не обязательно, марковский процесс следует использовать для сравнения с методом фильтрации Калмана.

Корреляционные функции погрешностей ДВС и ДИСС 1-го вида:

$$K_X(\tau) = \sigma_X^2 \exp\{-\alpha_X |\tau|\}, \quad (7)$$

$$K_Y(\tau) = \sigma_Y^2 \cdot \delta(\tau), \quad (8)$$

Корреляционные функции погрешностей ДВС и ДИСС 2-го вида:

$$K_X(\tau) = \sigma_X^2 \exp\{-\alpha_X |\tau|\} [\cos\beta_X |\tau| + \left(\frac{\alpha_X}{\beta_X} \sin\beta_X |\tau|\right)], \quad (9)$$

$$K_Y(\tau) = \sigma_Y^2 \cdot \delta(\tau), \quad (10)$$

где $\delta(\tau)$ – дельта-функция (функция Дирака).

В процессе моделирования используются следующие исходные данные:

- математические ожидания M равны нулю;
- объем выборки $N = 10000$;
- среднеквадратическое отклонение погрешности ДВС $\sigma = 4 \text{ м / с}$;
- среднеквадратическое отклонение погрешности ДИСС $\sigma = 0,8 \text{ м / с}$;
- объем памяти финитно-временной обработки $r1 = 4$;
- параметр корреляционной функции $\alpha = 0,01 \text{ 1/с}$, $\beta = 0,01 \text{ 1/с}$;
- дискрет $d = 4 \text{ с}$. Как известно, по теореме Котельникова дискрет не должен превышать значения:

$$d < \frac{\pi}{\alpha \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} - 0,05 \cdot \frac{\pi}{2}\right)}. \quad (11)$$

Сравнительные результаты моделирования для исследуемых алгоритмах приведены на следующих графиках:

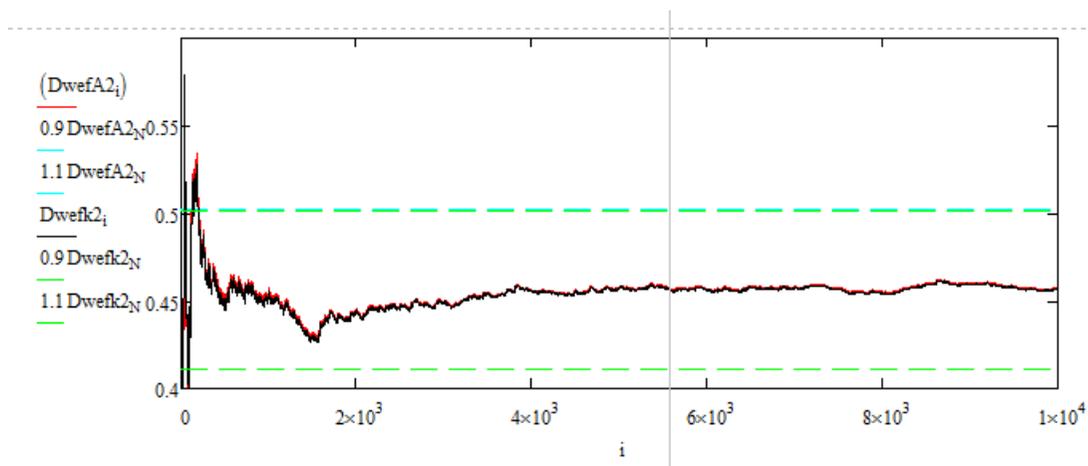


Рис. 1. Изменение дисперсии ошибок оценок статистической фильтрации Калмана ($Dwefk2_i$) и статистической финитно-временной фильтрации ($DwefA2_i$) сигнала 1-го порядка при номинальных данных во времени

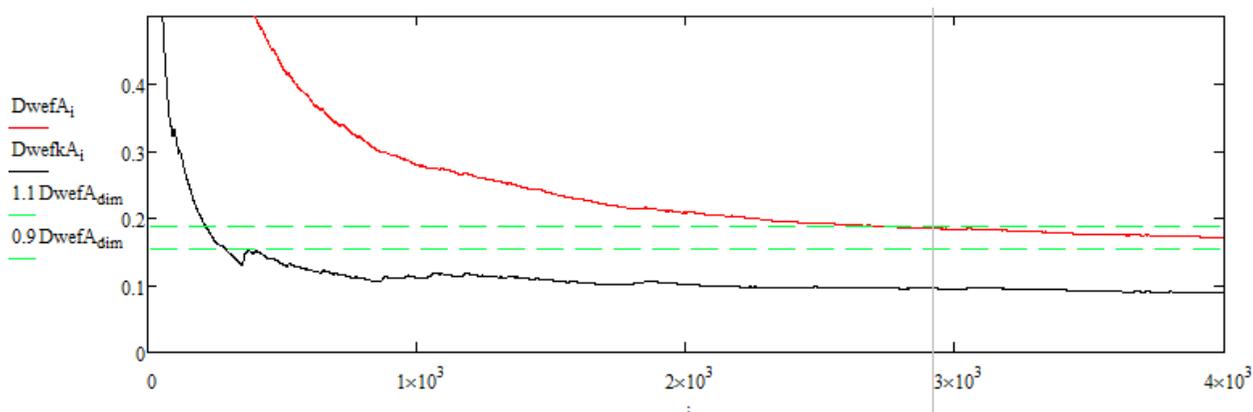


Рис. 2. Изменение дисперсии ошибок оценок фильтра Калмана ($DwefkA_i$) и финитно-временного фильтра ($DwefA_i$) сигнала 2-го порядка при номинальных данных во времени

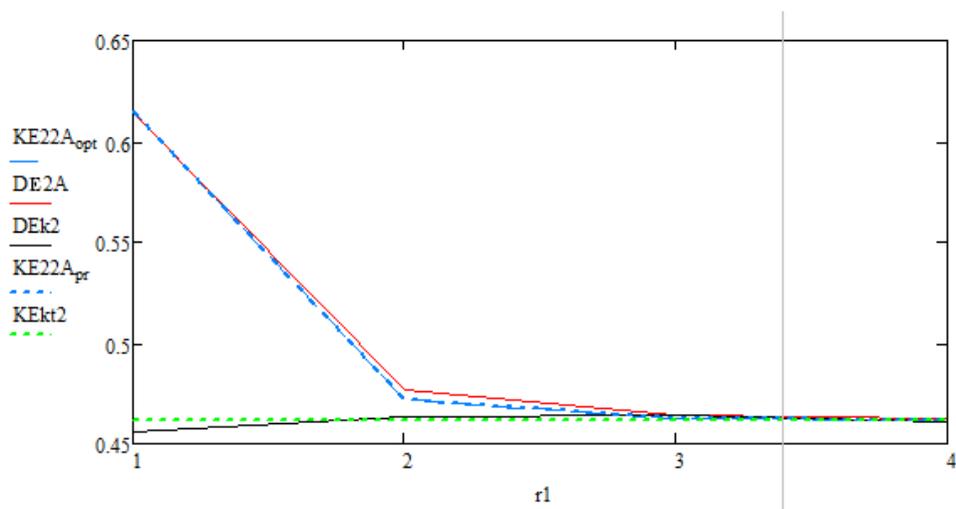


Рис. 3. Изменение дисперсии ошибок оценок практического фильтра Калмана ($DEK2$), теоретического фильтра Калмана ($KEkt2$) и финитно-временного фильтра ($DE2A$) сигнала 1-го порядка при номинальных данных от объема памяти $r1$

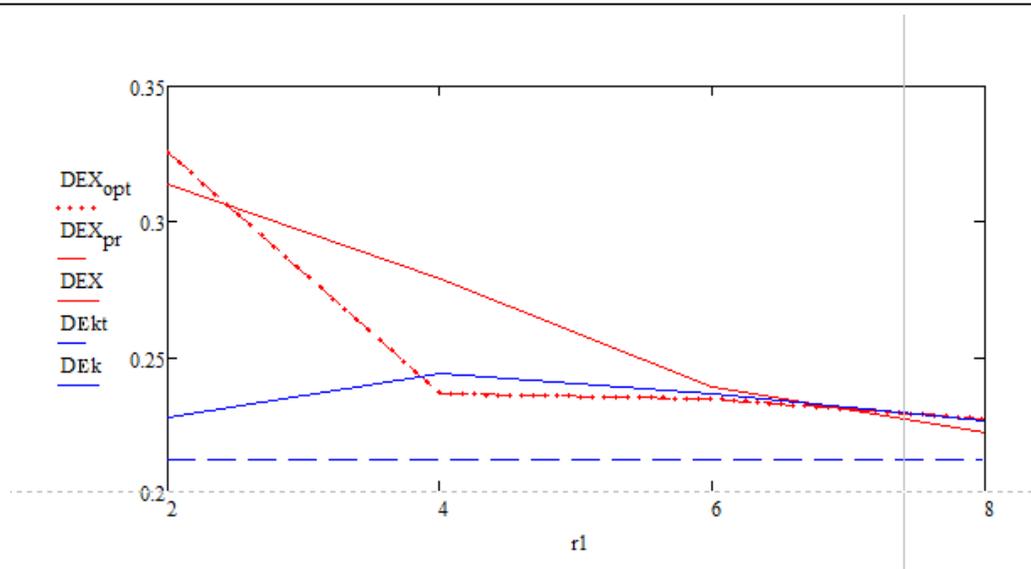


Рис. 4. Изменение дисперсии ошибок оценок практического фильтра Калмана (DEk), теоретического фильтра Калмана (DEkt) и финитно-временного фильтра (DEX) сигнала 2-го порядка при номинальных данных от объема памяти r_1

В результате данной работы было показано, что финитно-временная обработка при корреляционной функции $K_X(\tau) = \sigma_X^2 \exp\{-\alpha_X |\tau|\}$ низкочастотной погрешности ближе по точности фильтрации к методу Калмана, но также применим и к корреляционной функции $K_X(\tau) = \sigma_X^2 \exp\{-\alpha_X |\tau|\} [\cos\beta_X |\tau| + (\frac{\alpha_X}{\beta_X} \sin\beta_X |\tau|)]$ вида. Увеличение памяти r_1 приближает линейный оптимальный финитно-временной метод по точности к фильтрации Калмана. Финитно-временная обработка является более универсальной по сравнению с фильтром Калмана.

Библиографический список

1. Иванов Ю. П. Финитно-временной метод оптимальной фильтрации дискретных сигналов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 5. С. 23–27.
2. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов; под ред. В. А. Боднера. Л.: Машиностроение, 1984. 207 с.
3. Turbulence in the free atmosphere / N. K. Vinnichenko, N. Z. Pinus, S. M. Shmeter, G. N. Shur. 1980. 309 p.

УДК 629.7.052

Д. А. Семина

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

А. В. Небылов – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**КАНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ГЛИССИРУЮЩЕГО ВОДНОГО ТАКСИ**

Глиссирующее водное такси конструктивно похоже на самолет с существенными особенностями, которые дают возможность глиссирования на малой высоте [1].

В данной работе объект исследования – водное такси, двигающееся в условиях интенсивного морского волнения, и канал измерения путевой скорости. Предметом исследования является влияние характеристик морского волнения и параметров движения на скорость водного такси. Задача исследования состоит в повышении качества измерения путевой скорости.

Путевая скорость при известном курсе позволяет произвести счисление пути и в этом смысле необходима при навигационных вычислениях и других штурманских расчетах. Кроме того, значение текущей путевой скорости необходимо при оптимизации режимов работы движительных агрегатов и двигателей, при управлении взлетом и посадкой.

Выдвигаемые требования к качеству измерения путевой скорости полета водного такси следующие: диапазон измерения путевой скорости V – от 0 до 200 м/с, допустимая величина погрешности – 0.5 м/с, допустимая постоянная времени измерителя – 0.1 с.

Вектор путевой скорости V образуется как сумма вектора воздушной скорости V_B и вектора скорости ветра v (рис. 1). Продольная ось аппарата Ox образует с вектором воздушной скорости угол скольжения β . Пятибалльное развитое ветровое морское волнение соответствует средней скорости ветра около 9,5 м/с. При порывах скорость ветра может превосходить среднее значение по крайней мере в два раза [2–4] и достигать величины $v \approx 20$ м/с. Например, при номинальной путевой скорости $V = 150$ м/с воздушная скорость может отличаться от нее на (± 13) %, максимальное значение угла сноса при боковом направлении ветра составит $\beta_c = \arctg(20 / 50) = 7,6^\circ$

Доплеровский и аэрометрический датчики часто измеряют довольно существенно различающиеся значения скорости. Аэрометрический датчик с осью чувствительности, расположенной вдоль оси Ox , измеряет воздушную скорость, доплеровский датчик (ДИСС) измеряет скорость путевую, т. е. с учетом скорости ветра.

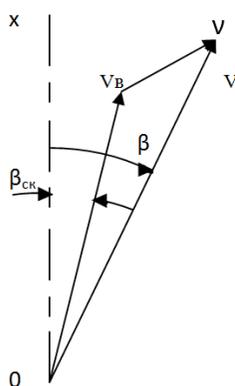


Рис. 1. Навигационный треугольник

ДИСС имеет двух-, трех-, или четырехлучевую антенную систему.

Ширина каждого луча доплеровской системы не должна превышать нескольких градусов, чтобы не увеличивать погрешность измерений средней доплеровской частоты, являющаяся главным информационным параметром.

Применение частотно-модулированного излучения дает возможность измерять помимо радиальной составляющей скорости по доплеровскому сдвигу частоты отраженного сигнала, наклонную дальность по его временной задержке, что позволяет использовать одну аппаратуру для реализации ДИСС и радиовертиканта.

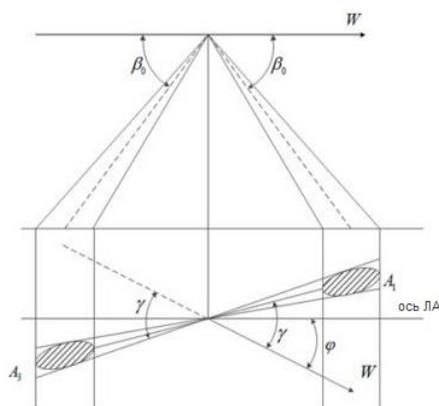


Рис. 2. Расположение лучей (на примере двухлучевого ДИСС)

Двухлучевой ДИСС (рис. 2) позволяет измерять лишь две составляющие вектора скорости аппарата, таким образом вопрос об измерении вертикальной скорости при его применении не стоит. В многолучевом ДИСС (трех- или четырехлучевом ДИСС) сигнал вертикальной скорости V_y в общем может позволить повысить результирующую точность измерения вертикальной скорости и высоты в интегрированной системе, которая состоит из локационного высотомера, инерциального датчика и ДИСС. Однако даже если в многолучевом ДИСС не вырабатывается сигнал вертикальной скорости, его преимуществом является инвариантность оценок путевой скорости и угла сноса к вертикальной составляющей относительной скорости водного такси, обеспечиваемая за счет взаимной компенсации соответствующих доплеровских частот по каждому из лучей.

Трехлучевой ДИСС способен измерять три компоненты вектора относительной скорости аппарата, поэтому четырехлучевой доплеровский датчик является избыточным.

Результирующая погрешность установленного на глиссирующем водном такси ДИСС как локационного датчика путевой скорости можно представить в виде суммы случайных составляющих без взаимной корреляции :

$$v_{лс}(t) = \Delta V(t) + \delta_D(t) + \dot{x}(t) + ky(t), \quad ((1))$$

где $\Delta V(t)$ - погрешность за счет направленного квазирегулярного перемещения отражающих элементов морской поверхности вследствие морских течений; $\delta_D(t)$ - погрешность за счет неточности измерения средней доплеровской частоты отраженного сигнала, зависящая от ширины его спектра и принятого метода радиотехнической обработки; третье и четвертое слагаемое вызваны волновым (орбитальным) движением точек подстилающей морской поверхности в продольном направлении и в вертикальном направлении.

Результирующая погрешность инерциального датчика включает его собственную погрешность и погрешности, вызванные неточностью стабилизации оси чувствительности. Собственная погрешность датчика включает погрешность медленного ухода нуля шкалы датчика $\delta_1(t)$, погрешности, вызванной отклонением коэффициента передачи датчика от номинального значения $\delta_2(t)$ и погрешности неточности стабилизации оси чувствительности датчика $\delta_3(t)$:

$$\delta(t) = \delta_1(t) + \delta_2(t) + \delta_3(t). \quad (2)$$

Современные датчики ускорения имеют зону нечувствительности равняющуюся примерно $5 \cdot 10^{-4}$

$^4 \text{ м/с}^2$. Так как вибрационные ускорения имеют большую мощность, статическую характеристику датчика принимаем линейной. Все слагаемые формулы (2) представляют собой случайные процессы со стационарными централизованными вторыми производными без взаимной корреляции.

Значимая характеристика датчика – величина ухода нуля шкалы δ_{1M}^2 . Для акселерометров она примерно равна $(1-20) \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$. Экспериментальные исследования показывают, что время корреляции процесса δ_{1M}^2 длится от десятков минут до нескольких часов. Главными причинами ухода нуля являются изменение температуры окружающей среды, колебания напряжения источника электропитания, перемещения трущихся поверхностей и др. Ввиду наличия большого числа факторов, которые изменяют функции δ_{1M}^2 и δ_{1M}^3 можно предположить, что их значения распределены по нормальному закону, поэтому дисперсии этих функций можно принять равными $D_{12} \cong (\delta_{1\text{max}}^2)^2 / 9, D_{13} \cong (\delta_{1\text{max}}^3)^2 / 9$.

Для датчика вертикальных ускорений в составляющую ухода нуля необходимо добавить еще одну составляющую $\delta_{\Delta g}$, которая возникает вследствие недостаточно точной компенсации ускорения силы тяжести. Неточность компенсации гравитационного ускорения можно отнести к погрешности $\delta_1(t)$, которая способна превысить уход нуля шкалы датчика.

Для обеспечения высокой точности измерения за счет подавления в выходном сигнале спектральных составляющих, которые искажены шумами, необходимо комплексирование разнотипных датчиков в единую интегрированную измерительную систему. В данной работе для измерения путевой скорости рассматривается комплексирование ДИСС и акселерометра с продольной осью чувствительности, а также применяем робастный подход, при условии, что для погрешности доплеровского датчика известна спектральная плотность, а для погрешности акселерометра известна максимальная величина дисперсии первой производной скорости [5].

При известной дисперсии первой производной акселерометра и равномерном уровне спектральной плотности датчика ДИСС, ставится задача оптимизации по критерию минимума дисперсии суммарной ошибки, которая имеет аналитическое решение [6].

Передачная функция полного канала измерителя $\{H_i(s)\}_{i=1}^1$ в общем виде записываем следующим образом:

$$H_i(s) = \frac{b_{i0} + b_{i1}s + \dots + b_{in}s^n}{1 + a_1s + \dots + a_ns^n}, \quad (3)$$

где $\{a_i\}_1^n, \{b_{ij}\}_{j=0}^n \in [0, \infty)$ – коэффициенты, подлежащие определению.

Подлежащие параметрической оптимизации передаточные функции канала ДИСС $H_1(s)$, канала акселерометра $H_2(s)$, а также передаточная функция измеряемого параметра и динамической ошибки $H_3(s)$, имеют следующий вид:

$$H_1(s) = b_{10} / A(s)H_1(s), \quad (4)$$

$$H_2(s) = b_{21}s / A(s), \quad (5)$$

$$H_3(s) = 1 - H_1(s) - H_2(s) = [1 - b_{10} + (a_1 + b_{21})s] / A(s), \quad (6)$$

где $A(s) = 1 + a_1s$.

Передачная функция $H_3(s)$, вводится для того, чтобы учесть неинвариантность системы. Она связывает измеряемую скорость с динамической ошибкой измерения.

Целевую функцию оптимизации по критерию минимума дисперсии суммарной ошибки принимаем в виде:

$$\bar{D}_e = D_{e1} + \bar{D}_{e2} + \bar{D}_{eg} \rightarrow \min. \quad (7)$$

где D_{e1} – дисперсия ошибки по каналу ДИСС; \bar{D}_{e2} – дисперсия ошибки по каналу акселерометра; \bar{D}_{eg} – дисперсия динамической ошибки.

Поскольку спектральная плотность погрешности ДИСС S_{v1} известна, величина D_{e1} выражается следующей формулой:

$$D_{e1} = S_{v1} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |H_1(j\omega)|^2 d\omega = \frac{b_{10}^2 S_{v1}}{2a_1}. \quad (8)$$

Запишем формулы для дисперсий остальных составляющих ошибки:

$$\bar{D}_{e2} = b_{21}^2 D_{v2}, \quad (9)$$

$$\bar{D}_{eg} = D_g [\max\{1 - b_{10}, 1 - \frac{b_{21}}{a_1}\}]^2. \quad (10)$$

Подвергнув аналитическому исследованию на минимум полученную функцию трех переменных, были найдены выражения для оптимальных значений параметров измерителя:

$$a_1^0 = \frac{S_{v1}}{4D_{v2}}, b_{10}^0 = \left(\frac{3D_{v2}^{1/2} S_{v1}^{2/2}}{4^{2/2} D_g} + 1\right)^{-1}, b_{21}^0 = a_1^0 b_{10}^0. \quad (11)$$

Рассмотрим случай, когда глиссирующее водное такси должно передвигаться с постоянной скоростью 100 м/с. Для вычисления оптимальных значений параметров, были использованы следующие числовые значения:

$$S_{v1} = 1m / c^2, D_{v2} = 10^{-3} m^2 / c^4, D_g = 0.5m^2 / c^2.$$

Оптимизация параметров дает следующие результаты:

$$a_1^0 = 6.30c, b_{10}^0 = 0.808c, b_{21}^0 = 5.09c, \bar{D}_e = 0.124m^2 / c^2.$$

На основе полученных данных была построена имитационная модель в среде Simulink пакета MATLAB, представленная на рис.3.

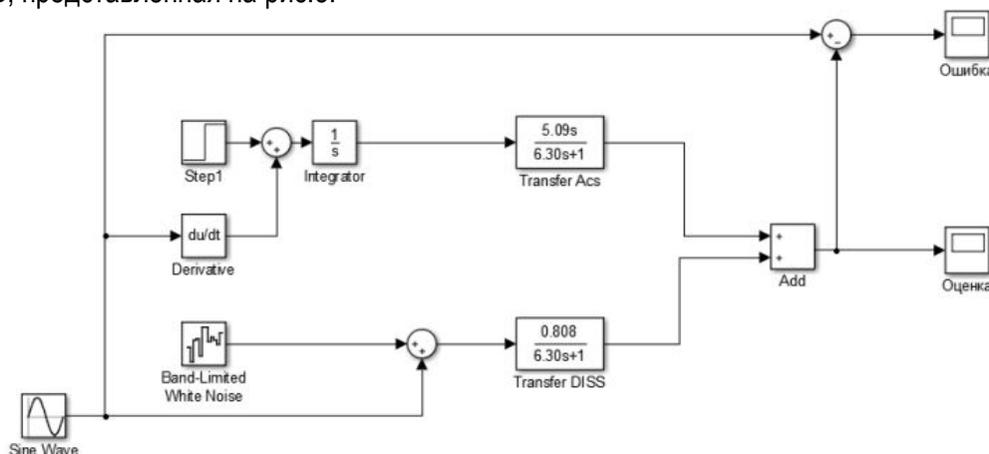


Рис. 3. Имитационная модель

В результате моделирования были получены графики оценки и ошибки скорости, представленные на рис. 4 и 5.

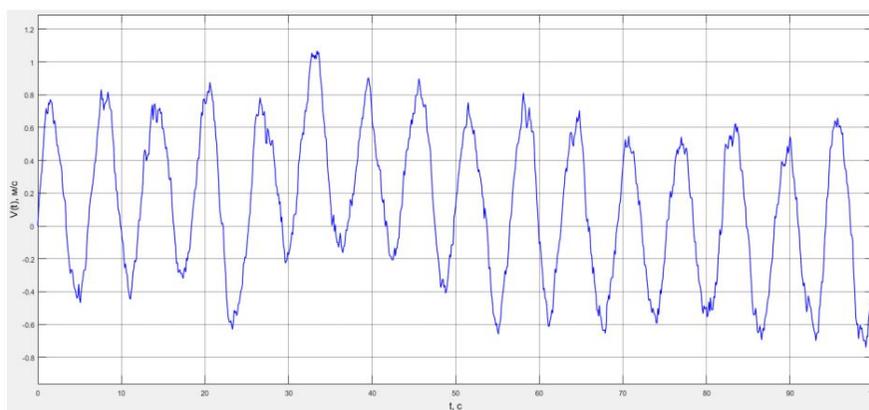


Рис. 4. График оценки скорости

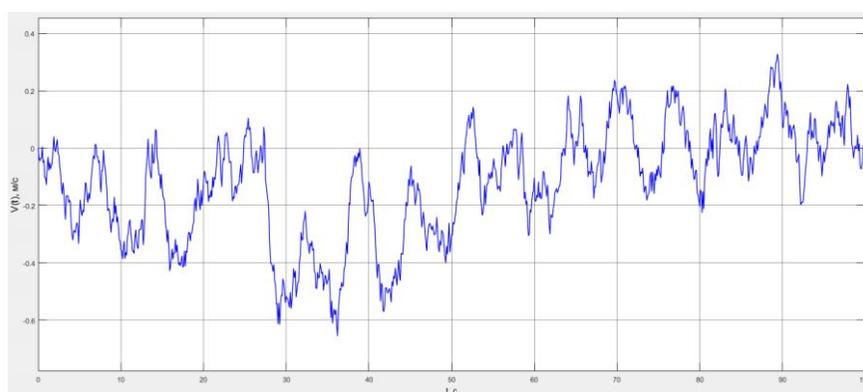


Рис. 5. График ошибки скорости

Полученная минимально возможная величина дисперсии суммарной ошибки имеет следующие значения: $D_e = 0.124 \text{ м}^2 / \text{с}^2$ ($\delta_e = 0.36 \text{ м} / \text{с}$), которая характеризует потенциальную точность системы при неизвестной спектральной плотности погрешности акселерометра.

Библиографический список

1. Небылов А. В. Измерение параметров полета вблизи морской поверхности. СПб.: ГУАП, 1994. 308 с.
2. Боднер В. А. Приборы первичной информации. М.: Машиностроение, 1981. 344 с.
3. Ветер, волны и морские порты / под ред. Ю. М. Крылова. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 264 с.
4. Лукомский Ю. А., Чугунов В. С. Системы управления морскими подвижными объектами. Л.: Судостроение, 1988. 272 с.
5. Небылов А. В. Гарантирование точности управления. М.: Наука. Физматлит, 1998. 304 с.
6. Nebylov A., Watson J. Aerospace Navigation Systems. UK: Wiley & Sons, 2016. 392 p.

УДК 681.51

А. Ю. Федоринов

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА И СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Введение

В настоящее время для оценки сигналов, наблюдаемых на фоне помех, широко используется фильтрация Калмана. В данной работе рассматривается спектрально-финитный метод оценки сигналов и проводится сравнительный анализ исследуемого подхода обработки информации с фильтрацией Калмана.

Фильтрация Калмана получила широкое распространение по ряду причин, прежде всего это достоинства данного метода:

- 1) критерий оптимальности фильтрации – средний квадрат ошибки оценки;
- 2) метод оптимален как при установившемся, так и при переходном процессе;
- 3) оценка сигналов осуществляется по рекуррентным формулам;
- 4) применение использования всех измерений с момента начала работы для формирования текущих оценок.

Наряду с достоинствами, необходимо отметить недостатки фильтрации Калмана:

- 1) требование рекуррентной обработки сигналов основано на свойстве марковости полезного сигнала, что вызывает необходимость ограничиваться моделью сигналов в пространстве состояний и, в общем случае, приводит к снижению универсальности метода, повышению размерности вектора оцениваемых процессов и к использованию обратной связи по получаемой оценке;
- 2) низкая помехозащищенность и робастность алгоритмов оценки из-за наличия в них обратной связи, которая приводит к неустойчивой работе алгоритма работы при изменении исходных данных в процессе работы и при накоплении ошибок вычислений;
- 3) достаточно большой объем исходной информации, включающий в себя знание модели сигнала и моментов распределений сигнала и помех измерения;
- 4) отсутствие универсальности алгоритмов оценки при использовании моделей помехи в виде белого шума и коррелированной помехи измерения;
- 5) необходимость вычисления нелинейного уравнения Риккати для работы алгоритма.

Исследование и сравнение будет проводиться на примере использования комплексной системы, состоящей из гиро-агрегата и индукционного датчика. Модель измерения имеет следующий вид:

$$Y_{ki} = X_i + H_k \quad (1)$$

где H – погрешности измерителей, $k=1,2$

$$Z_i = Y_{1i} - Y_{2i} = H_{1i} - H_{2i} \quad (2)$$

$$Z_i = \begin{bmatrix} Z_i \\ Z_{i-1} \\ \vdots \\ Z_{i-r+1} \end{bmatrix}_{r \times 1} \quad (3)$$

На вход фильтра разностного сигнала, подается сигнал в виде разности погрешностей измерителей, одна из которых имеет низкочастотный характер, а другая – высокочастотный.

Корреляционные функции погрешностей гиро-агрегата и индукционного датчика вида:

$$K_X(\tau) = \sigma_X^2 \exp\{-\alpha_X |\tau|\}, \quad (4)$$

$$K_Y(\tau) = \sigma_Y^2 \cdot \delta(\tau), \quad (5)$$

где $\delta(\tau)$ – дельта-функция (функция Дирака).

Из рассмотрения фильтрации Калмана в сопоставительном аспекте вытекает необходимость поиска нового и улучшенного способа фильтрации сигналов. Спектрально-финитный метод обработки информации – путь решения задач поиска.

Данный способ фильтрации основан на представлении сигнала в виде ряда Карунена-Лозва – частного случая ряда Фурье, в спектральной области. На выходе фильтра разности сигнала,

$$Y_i = \sum_r^1 c_{ki} \varphi_k \quad (6)$$

где φ_k – оптимальный базис, а коэффициенты c_k определяются из скалярного произведения:

$$c_{ki} = (X_i, \varphi_k) \quad (7)$$

Базис определяется из следующего выражения:

$$(K_X, \varphi_k) = \lambda_k \varphi_k \quad (8)$$

Базис является оптимальным с точки зрения сходимости ряда и базируется на знании корреляционных функций полезного сигнала

Из определения собственных чисел и векторов видно, что в выражении φ_k является собственным вектором матрицы K_X – корреляционной матрицы полезного сигнала, т. е. базис является оптимальным только для полезного сигнала.

Для того, чтобы сжать измерительную информацию, используемую при оценивании сигнала, оно происходит в спектральной области.

Суть алгоритма работы фильтра состоит в следующем: для получения оптимальной оценки на выходе фильтра, используется оператор A^* – оптимальный по критерию среднего квадрата ошибки оценки – который определяется из следствия теоремы ортогонального проецирования В. С. Пугачева [2].

$$A^* = K[X_s Y_s^T] * K[Y_s Y_s^T]^{(-1)} \quad (9)$$

Поскольку помеха и полезный сигнал являются некоррелированными случайными процессами, то:

$$A^* = K[X_s X_s^T] K[Y_s Y_s^T]^{-1} = K_s X K_s Y^{-1} \quad (10)$$

Оптимальная оценка сигнала во временном представлении будет определяться через оптимальный оператор следующим образом:

$$A^* = B B^* A^* B B^T; \quad (11)$$

$$\hat{X}_i = A^* * Y_i \quad (12)$$

где $B B$ – матрица собственных векторов корреляционной функции полезного сигнала, т. е. $B B = \varphi$.

Корреляционная матрица оценки сигнала:

$$K_{\hat{X}} = A^* * K_Y * A^{*T} \quad (13)$$

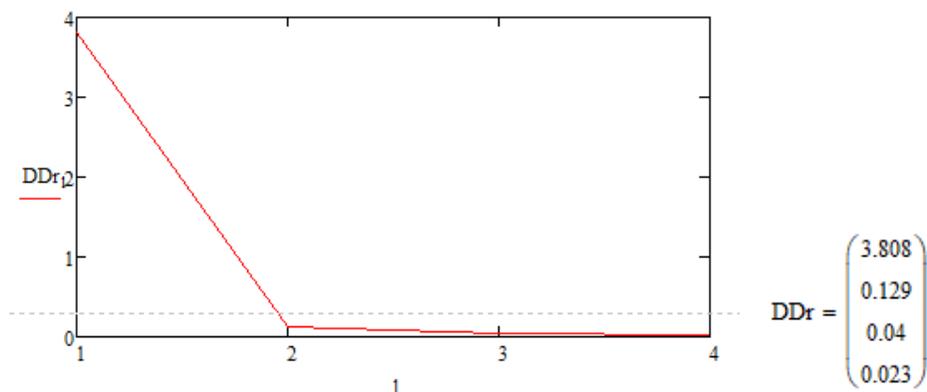


Рис. 1. График зависимости объема информации от компоненты

На рис. 1 представлено, сколько информации несет каждая компонента и из него следует, что наибольшей информативностью обладают первая и вторая компонента.

Оценка точности и эффективности алгоритмов оценивания

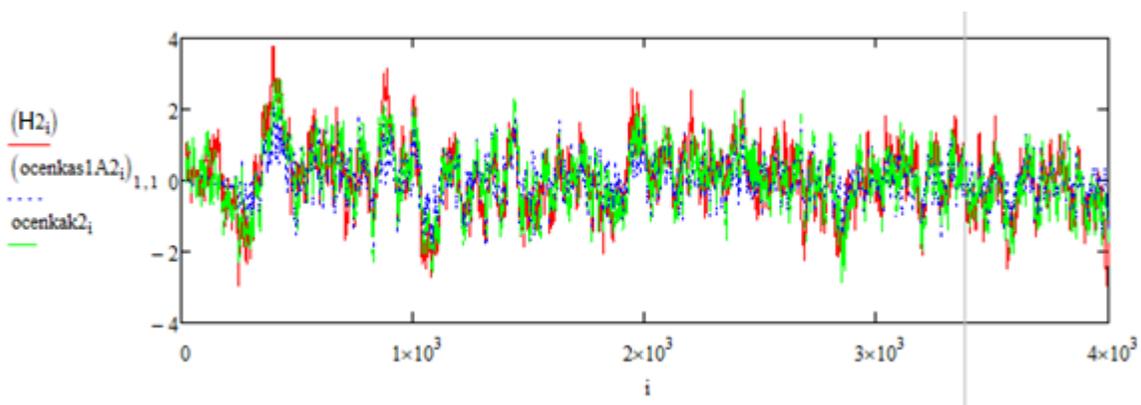


Рис. 2. График реализации низкочастотных погрешностей и оценок исследуемых алгоритмов при номинальных данных от времени.

На рис. 2. H_{2i} – сигнал помехи; $ocenkas1A_{2i}$ – оценка на выходе фильтра разностного сигнала, реализующего адаптивный алгоритм спектрально-финитной фильтрации, при котором известна помеха и неизвестен полезный сигнал; $ocenka_{2i}$ – оценка на выходе фильтра разностного сигнала, реализующего алгоритм фильтрации Калмана.

Как видно из рис. 2, реализации оценок алгоритмов и сигнал помехи практически совпадают. При этом реализация оценки, полученной с использованием алгоритма спектрально-финитной фильтрации практически совпадает с оценкой, полученной с использованием фильтрации Калмана.

Рассмотрим дисперсии ошибок оценок.

На рис. 3 $D_{wefTA_{2i}}$ – дисперсия ошибок оценок сигнала на выходе фильтра разностного сигнала, реализующего алгоритм спектрально-финитной фильтрации; $D_{wefk_{2i}}$ – дисперсия ошибок оценок сигнала на выходе фильтра разностного сигнала, реализующего адаптивный алгоритм фильтрации Калмана.

Как видно из рис. 3, дисперсии ошибок оценок спектрально-финитного алгоритма асимптотически стремится к фильтрации Калмана. При этом величины дисперсий всех алгоритмов отличаются незначительно.

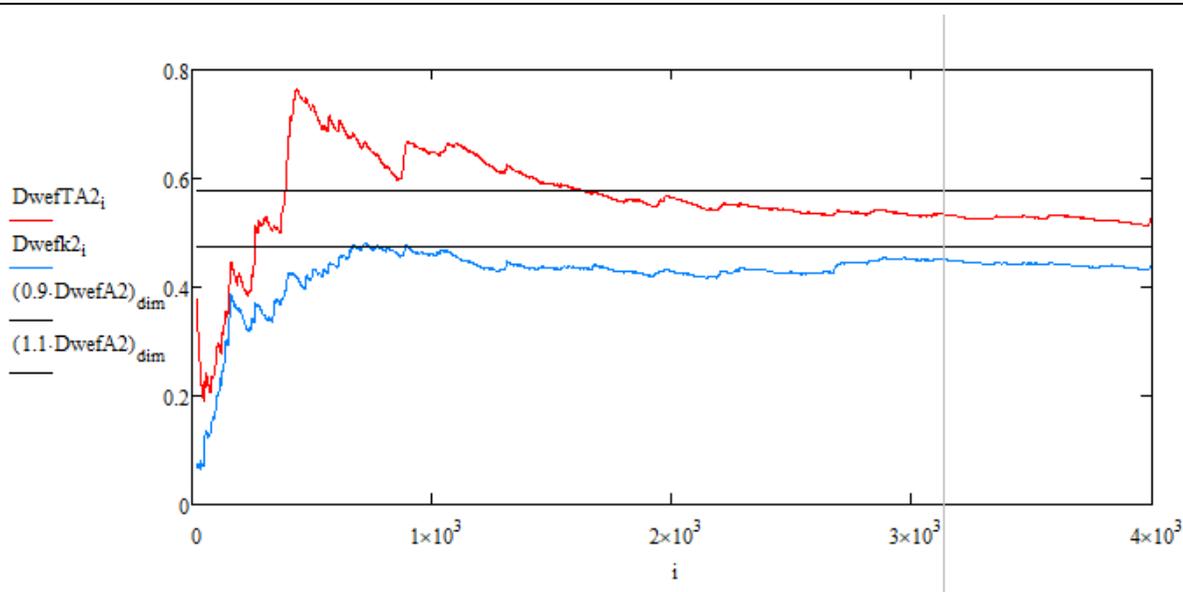


Рис. 3. График зависимости дисперсий ошибок оценок исследуемых алгоритмов от времени

При моделировании спектрально-финитного метода обработки сигналов были выявлены его достоинства и недостатки.

Достоинства, вытекающие из способа получения метода следующие:

- 1) простая реализация;
- 2) универсальный алгоритм относительно модели помех;
- 3) определяемые коэффициенты «С», могут быть использованы для решения важных задач, например, для оценки достоверности прогноза невыхода сигнала из заданных пределов
- 4) устойчивость, из-за отсутствия обратной связи;

Однако сложностью становится задача определения собственных чисел и собственных векторов для корреляционных матриц.

Заключение

Рассмотренный метод спектрально-временной оценки произвольных сигналов на фоне произвольных дискретных помех обеспечивает оптимальную оценку в классе линейных по критерию следа матрицы корреляционных моментов ошибок оценок.

Предлагаемый метод оценки является универсальным с точки зрения моделей сигналов и помех при использовании линейной модели измерения. Он отличается сжатием информации при представлении сигналов, что ведет к экономности модели измерения и высокой устойчивости работы. Реализация метода оценивания является более простой по сравнению с классическими методами оценки сигналов.

Библиографический список

1. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М.: Техносфера, 2013. 528 с.
2. Иванов Ю. П., Бирюков Б. Л. Информационно-статистическая теория измерений. Модели сигналов и анализ точности систем: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2008. 160 с.
3. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление / пер. с англ.; под ред. А. С. Шаталова. М.: Энергия, 1973. 440 с.
4. Кирьянов Д. В. Mathcad 15. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.
5. The Mathematical Theory of Relativity by Arthur Stanley Eddington. Cambridge: Cambridge University Press, 1923. 448 p.

УДК 004.42

В. С. Чижов

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Р. Н. Малаханов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ ТАЙМЕРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА K1986BE93У

В настоящее время модуль таймера встраивается во все семейства микроконтроллеров (МК) и является одним из наиболее важных его компонентов. В почти любой задаче, которую выполняет микроконтроллер, имеется необходимость в использовании данного модуля. Актуальность работы заключается в том, что в документации на микроконтроллер не приводятся аналитические зависимости периодов и длительностей сигналов и формулы для просчета значений, записываемых в регистры, это означает, что каждому разработчику приходится каждый раз самостоятельно определять эти зависимости. Для облегчения данной задачи можно создать соответствующую математическую модель, облегчающую выбор необходимого нам режима работы с указанной необходимыми характеристиками, а также создать программное обеспечение для реализации алгоритма счета в выбранных режимах работы модуля таймера. В данной работе рассматривается построение математической модели модуля таймера на примере микроконтроллера модели K1986BE93У производства отечественной фирмы АО «ПКК Миландр», позволяющей рассчитать необходимые значения, что позволит сэкономить время, затрачиваемое разработчиками, что будут работать с данным микроконтроллером.

Структурная схема модуля таймера представлена на рис. 1. Таймер содержит основной 16-битный счетчик CNT, блок регистров управления и четыре канала схем захвата/ШИМ.

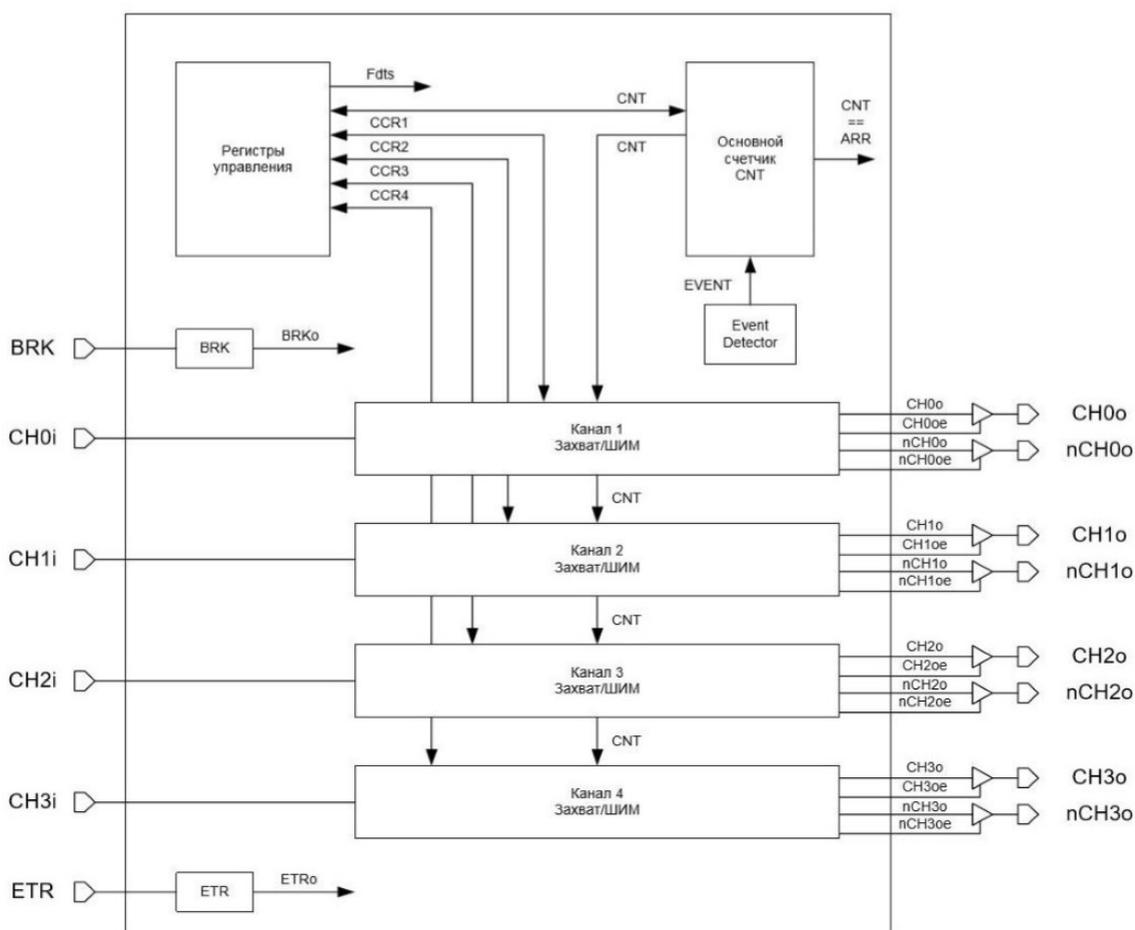


Рис. 1. Структурная схема модуля таймера

Все блоки таймеров общего назначения в микроконтроллере выполнены на основе 16-битного перезагружаемого счетчика, который синхронизируется с выхода 16-битного предделителя. Перезагружаемое значение хранится в отдельном регистре. Счет может быть суммирующим, вычитающим и реверсивным. Модуль таймера способен менять параметры счета и задачи в зависимости от конкретного события. Источниками событий для счета могут являться: внутренний тактовый сигнал, события в других счетчиках, внешний тактовый сигнал режим 1 и внешний тактовый сигнал режим 2.

Каждый из трех таймеров микроконтроллера содержит 16-битный счетчик, 16-битный предделитель частоты и 4-канальный блок захвата/сравнения. Их можно синхронизировать системной синхронизацией, внешними сигналами или другими таймерами [1].

Помимо составляющего основу таймера счетчика, в каждый блок таймера также входит четырехканальный блок захвата/сравнения. Данный блок выполняет как стандартные функции захвата и сравнения, так и ряд специальных функций. Таймеры с 4 каналами схем захвата и ШИМ с функциями формирования «мертвой зоны» и аппаратной блокировки. Каждый из таймеров может генерировать прерывания и запросы DMA.

Одним из основных параметров модуля таймера в микроконтроллере является коэффициент деления PSG системной тактовой частоты выбранного таймера TIMx_CLK. Он используется для получения требуемой частоты тактирования таймера CLK. Такой коэффициент называют коэффициентом деления частоты. Получение данного коэффициента проводится по следующей формуле:

$$PSG = INT\left(\frac{TIMx_CLK}{CLK} - 1\right), \quad (1)$$

где INT() – обозначение функции взятия целого значения.

Следует учитывать, что, в действительности, частота делится не на значение PSG, а на значение PSG+1. Кроме того, в дальнейшем также следует учитывать, что в регистры записываются только целые значения, что приводит к появлению методической погрешности. Чтобы запустить работу основного счетчика, необходимо задать:

- начальное значение основного счетчика таймера – CNT;
- значение регистра коэффициента деления частоты – PSG, при этом основной счетчик будет считать на частоте:

$$CLK = INT\left(\frac{TIMx_CLK}{PSG + 1}\right); \quad (2)$$

- значение основания счета для основного счетчика ARR;
- режим работы счетчика в регистре TIMx_CNTRL;
- разрешить работу счетчика CNT_EN.

Основной характеристикой любого таймера является период срабатывания T_c, который характеризует период генерации определенного события модулем таймера. Для того, чтобы вывести данную формулу без использования PSG, возьмем формулу периода единичного импульса:

$$T = \frac{1}{TIMx_CLK}; \quad (3)$$

с помощью добавления значения регистра коэффициента деления частоты мы можем увеличить этот период, получив период с учетом PSG:

$$T_c = \frac{PSG + 1}{TIMx_CLK}; \quad (4)$$

и, путем домножения на значение регистра основания счета ARR, мы получаем основную формулу таймера:

$$T_c = \frac{(PSG + 1) \cdot (ARR + 1)}{TIMx_CLK} \quad (5)$$

Фактически, данная формула позволяет нам узнать время срабатывания таймера при CNT = (ARR+1), при счете с периодом (PSG+1)/TIMx_CLK.

Значение регистра тактирования выбранного таймера TIMx_CLK задается заранее в регистре TIM_CLOCK. Его можно рассчитать по формуле:

$$TIMx_CLK = \frac{HCLK}{TIMx_BRG}, \quad (6)$$

где HCLK – сигнал системной тактовой частоты, применяемой для тактирования периферийных устройств; TIMx_BRG – коэффициент деления тактовой частоты, устанавливаемый в регистре MDR_RST_CLK->TIM_CLOCK, который может принимать значения 1, 2, 4...128.

Следует учитывать, что методическая погрешность любого цифрового прибора напрямую связана с периодом каждого импульса [2]. Такая погрешность называется погрешностью дискретизации и имеет вид:

$$\Delta = \frac{T}{2}; \quad (7)$$

следовательно, при увеличении периода каждого импульса будет увеличиваться и погрешность. Тогда формула методической погрешности для модуля таймера будет иметь вид:

$$\Delta = \frac{(PSG + 1) \cdot T}{2}. \quad (8)$$

Из этого следует, что предпочтительным является подбор значения регистра ARR, меняя значение регистра PSG лишь в том случае, если невозможно получение требуемого периода срабатывания T_c при помощи изменения только значения регистра ARR.

Формула импульсной последовательности в общем виде для модуля таймера имеет вид [3]:

$$e(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A \cdot \delta_0(t - nT_c), \quad (9)$$

где e(t) – выходной сигнал; δ₀ – единичная импульсная решетчатая функция; A – единичная амплитуда.

Таким образом, для каждого режима работы модуля таймера можно вывести формулы периода срабатывания и импульсной последовательности. В данной статье рассматриваются:

- суммирующий счет с внутренним тактированием;
- суммирующий счет с тактированием другим модулем таймера;
- суммирующий счет с внешним тактированием режим 1 [1];
- суммирующий счет с внешним тактированием режим 2 [1].

Режим захвата и режим сравнения, а также режим ШИМ будут рассматриваться отдельно в следующих работах. С помощью этих формул можно вывести формулы, необходимые для вычисления требуемого значения регистра. Эти формулы представлены в табл. 1.

Следует учитывать, что для режимов внешнего тактирования 1 и 2 существуют ограничения, связанные с тем, что данные формулы работают лишь при том условии, что все импульсы проходят через фильтр, который установлен на используемом канале [4]. Фильтр настроен на пропуск импульсов заданной длительности, которую можно рассчитать для режима 1 по формуле:

$$t_{умн} \geq \frac{(ARR + 1) \cdot CH_PSC}{CHy_CLK}, \quad (10)$$

где CHFLTR – значение одноименного поля регистра MDR_TIMERx->CHy_CNTRL, может принимать значения 1, 2, 4, 8 [1].

Таблица 1

Математическое описание режимов работы

Режим работы	Период срабатывания	Импульсная последовательность
Счет в режиме суммирования с внутренним тактированием	$T_c = \frac{(PSG + 1) \cdot (ARR + 1)}{TIMx_CLK}$	$e(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A \cdot \delta_0(t - nT_c)$
Счет в режиме суммирования с тактированием другими модулями таймера	$\begin{cases} T1 = \frac{(PSG1 + 1) \cdot (ARR1 + 1)}{TIMx_CLK} \\ T2 = (PSG2 + 1) \cdot (ARR2 + 1) \cdot T1 \\ T3 = (PSG3 + 1) \cdot (ARR3 + 1) \cdot T2 \end{cases}$	$\begin{cases} e1(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A \cdot \delta_0(t - nT1) \\ e2(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A \cdot \delta_0(t - nT2) \\ e3(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A \cdot \delta_0(t - nT3) \end{cases}$
Счет в режиме суммирования с внешним тактированием режим 1 [1]	$TCHy = \frac{(ARR + 1) \cdot CH_PSC}{CHy_CLK}$	$e(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A \cdot \delta_0(t - nTCHy)$
Счет в режиме суммирования с внешним тактированием режим 2 [1]	$TETR = \frac{(ARR + 1) \cdot ETRPSC}{ETR_CLK}$	$e(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A \cdot \delta_0(t - nTETR)$

Для режима 2 эта формула примет вид:

$$t_{umh} \geq \frac{(ARR + 1) \cdot ETRPSC}{ETR_CLK}; \tag{11}$$

где ETRFLTR – значение одноименного поля в регистре MDR_TIMERx->BRKETR_CNTRL, принимает значения 1, 2, 4, 8 [1].

Формулы, приведенные в табл. 1, дают полное математическое описание для указанных режимов. В целях подтверждения правильности, возьмем формулы суммирующего счета с внутренним тактированием и проведем экспериментальное подтверждение с использованием микроконтроллера и цифрового осциллографа. Остальные режимы отличаются лишь источником тактирования.

Для проведения экспериментального исследования в данном режиме программа должна выполнять инверсию выходного сигнала при каждом переполнении регистра счета CNT. Алгоритм работы программы имеет вид:

1. Подключение библиотек, необходимых для работы с данным МК.
2. Инициализация переменных.
3. Инициализация функции обработчика прерываний.
4. Инициализация и настройка структуры PortInIt, отвечающей за работу портов ввода-вывода МК.
5. Инициализация и настройка структуры тактирования микроконтроллера RST_CLK. Настройку следует проводить так, чтобы МК работал от внешнего генератора HSE, так как внутренние генераторы имеют большую погрешность.
6. Инициализация и настройка структуры Timer_CntInIt. В данной структуре необходимо задать лишь значения ARR, PSG и, при необходимости, начальное значение CNT.
7. Разрешение тактирования таймера и портов.
8. Разрешение работы таймера.

9. Основной рабочий цикл. После проведения всех этих операций модуль таймера начнет счет и, по достижению значением CNT значения основания счета (ARR+1), будет установлен флаг прерывания, после чего активизируется функция обработчика прерываний, инвертирующая выходной сигнал цифрового выхода используемого порта. Таким образом мы сможем экспериментально определить период срабатывания модуля таймера.

Результаты работы программы приведены на рис. 2.

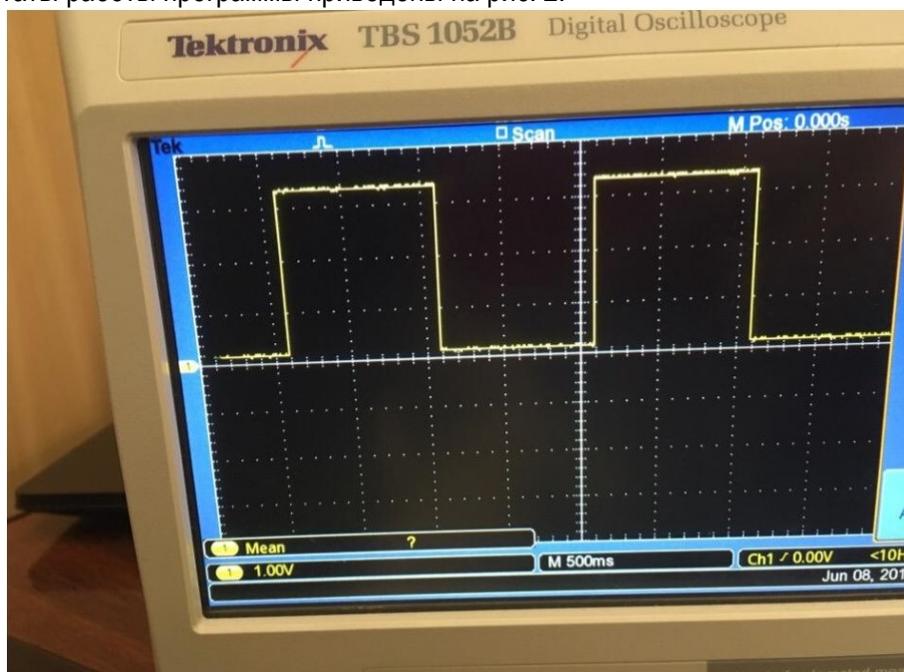


Рис. 2. Результаты работы программы

Как видно из рис. 2, микроконтроллер производит инверсию сигнала с интервалом в 1 с. Это полностью подтверждает теоретические расчеты, проведенные по формуле (5). Используемое значение тактовой частоты TIMx_CLK = 8 МГц, основания счета ARR = 999, коэффициента деления частоты PSG = 7999. С данными характеристиками, рабочая тактовая частота модуля таймера CLK, рассчитанная по формуле (2), будет равняться 1 КГц, из чего, с учетом того, что модуль считает до значения (ARR+1), следует, что период срабатывания по формуле (5) будет равняться 1 с.

Библиографический список

1. Миландр. Спецификация на серию 1986BE9x. URL: https://ic.milandr.ru/products/mikrokontrollery_i_protssory/1986ve93u. (дата обращения: 13.03.2020).
2. Сергеев А. Г. Метрология. М.: Логос, 2001. 408 с.
3. Малаханов Р. Н. Дискретные информационно-измерительные системы: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2009. 111 с.
4. STM32L4 – Timers. Revision 2.0. URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/c4/1b/56/83/3a/a1/47/64/STM32L4_WDG_TIMERS_GPTIM.pdf/files/STM32L4_WDG_TIMERS_GPTIM.pdf/jcr:content/translations/en.STM32L4_WDG_TIME_RS_GPTIM.pdf. (дата обращения: 13.03.2020).

УДК 621.3.087.92

В. Д. Шимков

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Р. Н. Малаханов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОДУЛЯ АЦП МИКРОКОНТРОЛЛЕРА МИЛАНДР

Разработка и исследование математической модели модуля АЦП на примере микроконтроллера 1986ВЕ93У производства фирмы АО «ПКК Миландр», позволяющей рассчитать необходимые значения, что позволит сэкономить время, затрачиваемое разработчиками, которые будут работать с данным микроконтроллером.

В настоящее время аналого-цифровой преобразователь (АЦП) встраивается во все семейства микроконтроллеров и является одним из наиболее важных его компонентов. Необходимость его использования присутствует во множестве практических задач.

В документации на микроконтроллер не приводятся аналитические зависимости тактовых частот и времени преобразований в зависимости от режимов работы. Это означает, что каждому разработчику приходится каждый раз самостоятельно определять эти зависимости.

В состав микроконтроллера входят два высокоскоростных 12-разрядных АЦП, с возможностью оцифровки информации от 16 внешних каналов, а также от встроенного в микроконтроллер датчика измерения температуры и встроенного датчика опорного напряжения [1].

При работе с каждым из двух АЦП можно использовать следующие основные режимы их работы:

- режим одиночного или многократного преобразования по одному каналу с использованием опроса бита окончания преобразования;
- режим одиночного или многократного преобразования по одному каналу с использованием прерывания по окончанию преобразования;
- режим преобразования с контролем границ;
- режим многократного преобразования по одному каналу с использованием прямого доступа к памяти;
- режим многократного преобразования с автоматическим переключением нескольких каналов и использованием прямого доступа к памяти.

Для ускорения преобразования одного канала можно использовать оба АЦП.

Основными характеристиками любого АЦП являются его разрядность и время преобразования. В микроконтроллере реализовано два 12-разрядных АЦП, что позволяет различать до $2^{12} = 4096$ различных уровней напряжения, подаваемых на вход. Время преобразования зависит от тактовой частоты, подаваемой на АЦП.

Процесс преобразования проходит в два этапа: вначале происходит заряд внутренней емкости до уровня внешнего сигнала, затем происходит преобразование уровня заряда в цифровой вид. Для точного преобразования внешнего сигнала в цифровой вид, за время первого этапа внутренняя емкость должна успеть зарядиться до уровня внешнего сигнала. Это время определяется соотношением номинальной внутренней емкости, выходным сопротивлением источника сигнала и входным сопротивлением тракта АЦП. Приведенная ниже формула позволяет определить максимальное выходное сопротивление источника R_{AIN} для обеспечения преобразования с высокой точностью [2]:

$$R_{AIN} < \frac{T_s}{f_{cADC} * C_{ADC} * \ln(2^N)} - R_{ADC} \quad (1)$$

где T_s – время заряда внутренней емкости записываемое в тактах; f_{cADC} – рабочая частота АЦП; C_{ADC} – внутренняя емкость АЦП (~ 15 – 20 пФ); N – требуемая точность, в разрядах; R_{ADC} – входное сопротивление тракта АЦП (~500 Ом).

Время заряда T_S определяется битами DelayGo[2:0] и схемой самого АЦП и представлено на рис. ниже. T_S определяется в тактах CPU_CLK, независимо от того, на какой частоте CPU_CLK или ADC_CLK идет само преобразование.

Таблица 1

Время заряда внутренней емкости АЦП и время преобразования

De- layGo[2:0]	Дополнительная за- держка перед началом преобразования	Общее время T_S заряда ем- кости АЦП перед началом преобразования	Общее время преобразо- вания АЦП
000	1 x CPU_CLK	4 x CLK + 1 x CPU_CLK	28 x CLK + 1 x CPU_CLK
001	2 x CPU_CLK	4 x CLK + 2 x CPU_CLK	28 x CLK + 2 x CPU_CLK
010	3 x CPU_CLK	4 x CLK + 3 x CPU_CLK	28 x CLK + 3 x CPU_CLK
011	4 x CPU_CLK	4 x CLK + 4 x CPU_CLK	28 x CLK + 4 x CPU_CLK
100	5 x CPU_CLK	4 x CLK + 5 x CPU_CLK	28 x CLK + 5 x CPU_CLK
101	6 x CPU_CLK	4 x CLK + 6 x CPU_CLK	28 x CLK + 6 x CPU_CLK
110	7 x CPU_CLK	4 x CLK + 7 x CPU_CLK	28 x CLK + 7 x CPU_CLK
111	8 x CPU_CLK	4 x CLK + 8 x CPU_CLK	28 x CLK + 8 x CPU_CLK

Для осуществления преобразования требуется как минимум 29 тактов синхронизации CLK. В качестве сигнала синхронизации может выступать частота процессора CPU_CLK, либо частота ADC_CLK, которые формируются в блоке RST_CLK. Источниками могут выступать различные генераторы, такие как HSI, HSE, LSI, LSE.

Вследствие того, что АЦП – цифровой прибор, то для него должна быть дискретная передаточная функция вида:

$$W(z) = k * z^{-n} \tag{2}$$

где n – количество тактов запаздывания; k – коэффициент передачи линейной статической характеристики АЦП.

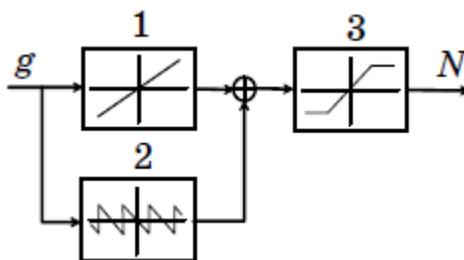


Рис. 1. Структурная схема АЦП

Представление погрешности от квантования по уровню в виде дискретного белого шума позволяет представить структурную схему АЦП, приведенную на рис.2 в виде более простой схемы, представленной на рис. 3. Погрешность от квантования по уровню представляется в виде шума квантования $f_1[n]$ [3–5].

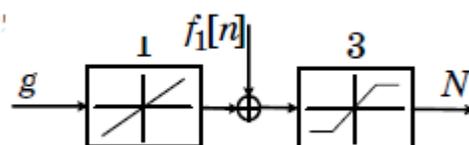


Рис. 2. Упрощенная структурная схема АЦП

Количество тактов запаздывания складывается из тактов необходимых непосредственно на преобразование, времени опроса бита или перехода на прерывание, времени заряда внутренней емкости, а также, при режиме преобразования с автоматическим переключением каналов нужно учитывать время переключения аналогового мультиплексора.

Время преобразования можно рассчитать с помощью следующей формулы:

$$T_p = \frac{N}{CLK} \quad (3)$$

где N – количество тактов запаздывания; CLK – тактовая частота.

Экспериментальное подтверждение будет проводиться для режима многократного преобразования с опросом бита окончания преобразования.

В заданном режиме перед началом преобразования на выходе порта устанавливается высокий уровень. После этого АЦП начинает преобразование. По окончании преобразования сигнал сбрасывается. Разность между сбросом и установкой сигнала и есть время преобразования АЦП. В исследовании использовалась частота генератора HSE = 8 МГц, и значения предделителя равные 2, 4 и 8. Количество тактов на преобразование N=29.

Ниже представлены расчетные значения времени преобразования для разных значений предделителя

$$T = \frac{N * PRESC}{HSE} = \frac{29 * 2}{8000000} = 7.25 \mu\text{с}, \quad T = \frac{N * PRESC}{HSE} = \frac{29 * 4}{8000000} = 14.5 \mu\text{с},$$

$$T = \frac{N * PRESC}{HSE} = \frac{29 * 8}{8000000} = 29 \mu\text{с}$$

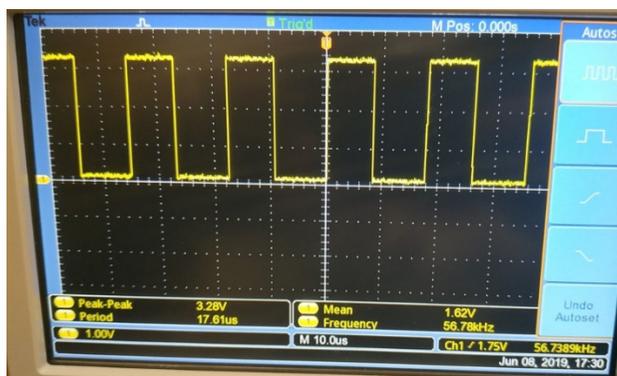


Рис. 3. Результат работы программы при значении предделителя, равном 2

Как можно видеть на экране осциллографа, время преобразования равно ~8,1 мкс. Разница между аналитическим и практическим значениями времени преобразования равна 0,85 мкс.

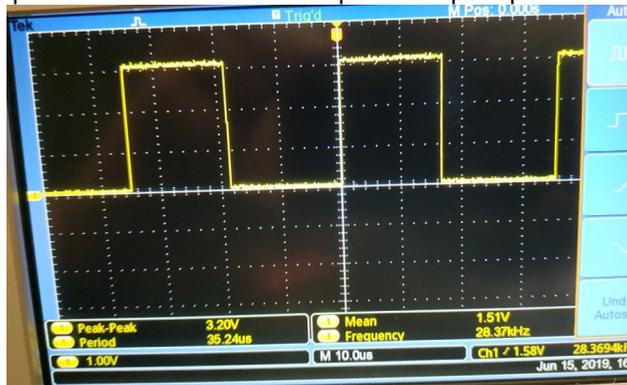


Рис. 4. Результат работы программы при значении предделителя, равном 4

Как видно из полученных данных, время преобразования приблизительно равно 16,1–16,2 мкс. Разница между аналитическим значением времени преобразования и значением, полученным на практике, равна – 1,7 мкс.

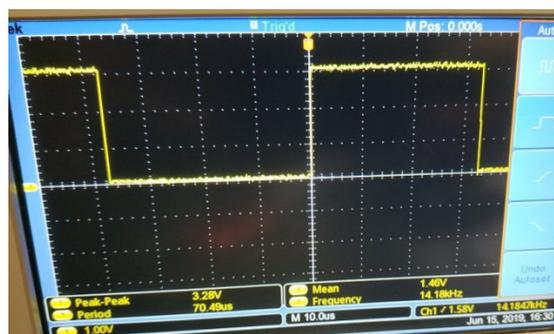


Рис. 5. Результат работы программы при значении делителя, равном 8

Исходя из картины, полученной на экране осциллографа, время преобразования приблизительно равно – 32,5 мкс. Разница между аналитическим и практическим значениями времени преобразования равна 3,5 мкс.

Разница между полученным результатом эксперимента и расчетным значением обуславливается тем, что процессор вынужден постоянно опрашивать флаг завершения преобразования, а также шумами и технологическими разбросами схемы. Однако, в первую очередь, различие возникает именно из-за времени, необходимого на опрашивание флага завершения преобразования.

Так как в формуле у нас изменяется только значение делителя, то попробуем вывести зависимость изменения значения ошибки от изменения значения делителя. Произведя необходимые вычисления, получим следующую формулу для вычисления времени преобразования.

$$T = \frac{N * PRESC}{HSE} + PRESC * 0.425 \quad (4)$$

В случае, когда делитель не используется, следует предполагать его равным единице.

Если не учитывать погрешности, связанные с шумами и технологическими разбросами схемы, то полученное время поправки – это время, затрачиваемое микропроцессором на опрос бита окончания преобразования.

Библиографический список

1. Благодаров А. В., Владимиров Л. Л. Программирование микроконтроллеров: методическое пособие на основе отечественных микросхем семейства 1986BE9x разработки и производства компании «Миландр». М., 2016. 242 с.
2. Миландр. Спецификация на серию 1986BE9x. URL: <https://ic.milandr.ru/upload/iblock/7d3/7d3f89e27e7035e50c7cd119313b6ef4.pdf> (дата обращения: 07.05.2019).
3. Бесекерский А. В., Изранцев В. В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. М., 1987. 318 с.
4. Малаханов Р. Н. Дискретные информационно-измерительные системы: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2009. 111 с.
5. Бесекерский В. А., Елисеев А. А., Небылов А. В. Радиоавтоматика. М.: Высшая школа, 1985. 271 с.

УДК 681.787.6

В. В. Яшагина

студент кафедры аэрокосмических информационно-вычислительных комплексов

А. П. Григорьев – старший преподаватель – научный руководитель

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДИРИЖАБЛЯ

Дирижабли сочетают в себе все современные возможности ЛА самолетного и вертолетного типов, а также обладают рядом неоспоримых преимуществ сформулированных в работах, благодаря чему могут быть широко использованы для гражданского применения: грузоперевозок, мониторинга линий электропередач, трубо-, газо- и нефтепроводов, для туристических полетов, в качестве ретрансляторов в сетях радиосвязи. Очевидны перспективы использования в научно-исследовательских задачах, которые предполагают организацию экспедиций и освоение труднодоступных регионов (к примеру, Арктики и Антарктики), реализацию различного рода наблюдений (метеорологических, геологических, биологических и орнитологических и пр.) и измерений параметров окружающей среды (состава воздуха, температуры, давления окружающей среды и пр.).

Тем не менее при штатной эксплуатации дирижабля во время полета возможны следующие неполадки:

- нарушение целостности оболочки аппарата (истончение обшивки, пробой);
- повышенное поверхностное напряжение конструкции (в особенности в местах установки силовых установок, гондолы и дополнительного технологического/ специального оборудования);
- нагрев/охлаждение и изменение давления газа, наполняющего мешки или баллон (зависит от схемы конструкции) дирижабля (при полетах на «высоких» эшелонах и под падающими лучами солнца близкими к 90°);
- утяжеление конструкции вследствие образования ледяного покрова (при полетах на «высоких» эшелонах);
- утечка и изменение химического состава газа (газовой смеси) [1, 2].

Чтобы своевременно решить возникающие проблемы, необходима дополнительная автономная система контроля состояния всей достаточно протяженной (длина некоторых дирижаблей может достигать более 200 м.) конструкции дирижабля (температура, давление, поверхностные напряжения, деформация, негерметичность, утечка газовой смеси и изменение ее состава, вес).

В качестве датчиков-преобразующей аппаратуры (ДПА) функционирующей в составе такой системы потенциально может быть использована проводная, бесконтактная и беспроводная ДПА работающая на различных физических принципах. Измерения могут быть проведены при помощи 3 видов измерителей:

- 1) классические измерители, представляющие собой терморезистивные, термоэлектрические термометры, тензоэлектрические и пьезоэлектрические датчики давления и деформации, пьезо- и емкостные вибродатчики;
- 2) беспроводные системы контроля температуры, давления или вибрации на основе датчиков на поверхностных акустических волнах (ПАВ);
- 3) перспективная лазерная волоконно-оптическая ДПА.

В данной работе рассматривается система измерения на основе явления интерференции, позволяющая измерять малые смещения, показатели преломления, неровности поверхности, температуры, акустической вибрации для контроля конструкции дирижабля. Принцип действия интерферометров заключается в разделении света от одного источника на два луча, проходящих по разным оптическим путям и снова объединяющихся для создания интерференционного изображения и установления разности фаз интерферирующих пучков в данной точке картины.

В качестве возможных решений задачи контроля конструкции дирижабля рассматриваются два вида интерферометров, которые используются для измерения различных физических параметров:

- 1) резонатор (интерферометр) Фабри – Перо (ИФП);

2) интерферометр на базе волоконной решетки Брэгга (ВРБ).

Резонатор Фабри – Перо представляет собой два соосных, параллельно расположенных друг к другу зеркала, между которыми возникает резонансная стоячая оптическая волна. Обычно в лазерах одно из зеркал делается более пропускающим для преимущественного вывода излучения в этом направлении [3, 4].

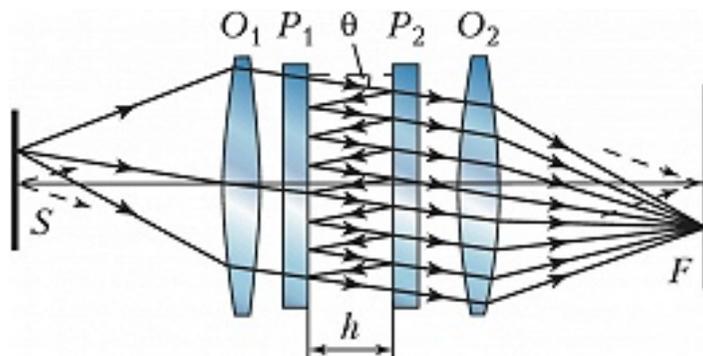


Рис. 1. Интерферометр Фабри – Перо



Рис. 2. Внешний вид резонатора Фабри – Перо

Таблица 1

Технические характеристики интерферометра

Характеристика	Значение
Разрешение по перемещению, нм	1
Диапазон измерения перемещения, мкм	200
Диапазон измерения деформации, ЕОД	±15000
Разрешение по деформации, ЕОД	0,05
Диапазон измерения температуры,	От -30 до +90
Разрешение по температуре, °С	0,0005
Число измерительных каналов	4
Время измерения, мс	20–300

Интерферометр на базе волоконной брэгговской решетки

Волоконная решетка Брэгга (ВРБ) представляет собой участок оптического волокна (ОВ), в сердцевине которого находится показатель преломления (ПП) и периодически изменяется в продольном направлении [4, 5].

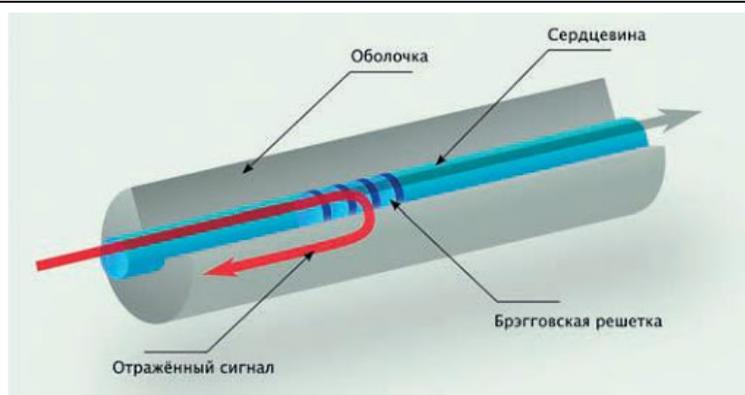


Рис. 3. Интерферометр на базе волоконной решетки Брэгга

Таблица 2

Технические характеристики опытного образца Волоконно-оптического интерферометра на базе ВРБ

Характеристика	Значение
Центральная длина волны при комнатной температуре, нм	1450–1620
Отклонение от центральной длины волны, нм	± 3
Коэффициент отражения R, %	1–99
Спектральная ширина резонанса на полувысоте (-3 дБ), нм	0,08–7
Добавление боковых пиков, дБ	>10
Длина выходных концов оптического волокна, м	0,7

Преимущества применения волоконно-оптических ДПА определяются следующими характеристиками:

- 1) компактность;
- 2) отсутствует необходимость во внешнем источнике питания;
- 3) отсутствует наведение магнитных полей;
- 4) противостоят высоким температурам, давлению, вибрации;
- 5) взрыво- и пожаробезопасность;
- 6) помехозащищенность и надежность;
- 7) высокая скорость и точность передачи информации.

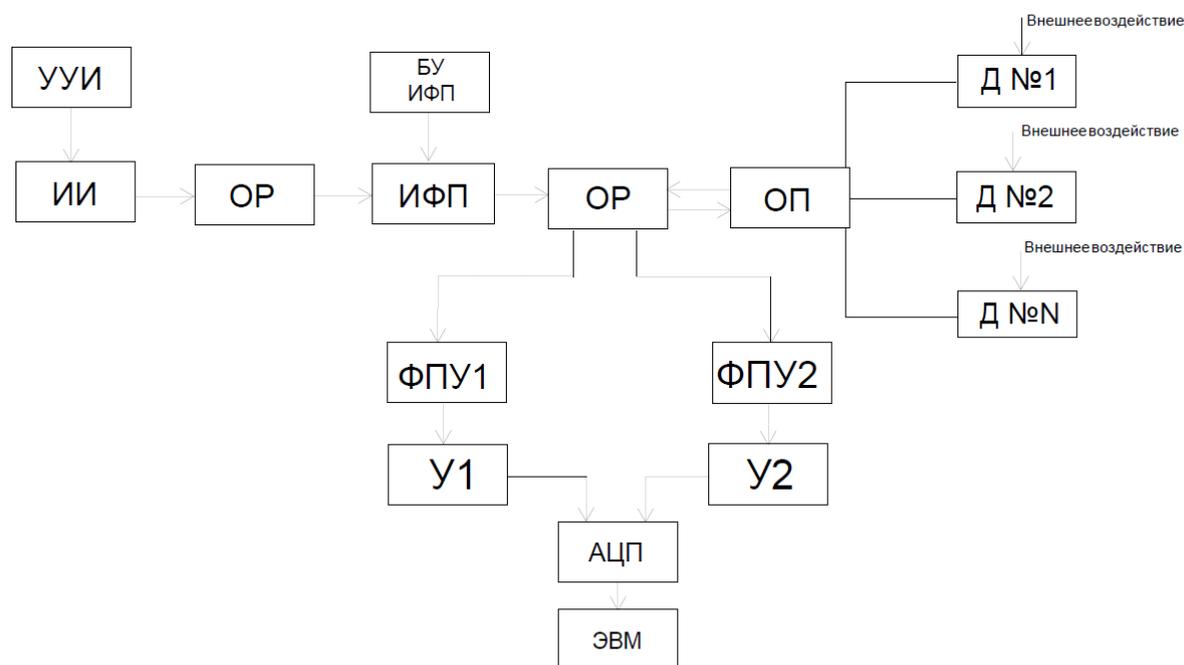
Технология на основе волоконной решетки Брэгга применяется так же в волоконно-оптических датчиках, которые имеют ряд преимуществ перед другими видами измерителей и являются на данный момент наиболее перспективными для широкого применения.

Выделяют следующие особенности данных детекторов:

- 1) долговечность;
- 2) небольшие затраты энергии на работу;
- 3) возможность применения совместно с микроэлектронными устройствами для обработки данных;
- 4) стабильность;
- 5) небольшие габариты;
- 6) малый вес;
- 7) высокая достоверность получаемой информации;
- 8) малая трудоемкость изготовления;
- 9) небольшая стоимость.

Волоконно-оптические датчики используются для измерения деформации, температуры, перемещения, давления, угла наклона, ускорения и вибрации. Вышеперечисленные особенности позволяют применять их в экстремальных условиях [5, 6].

В рамках данной работы была исследована схема системы контроля дирижабля специального назначения. В качестве рабочей модели резонатора выбран интерферометр Фабри-Перо, датчики представлены в виде оптически-волоконных детекторов. Структурно-функциональная схема системы контроля представлена на рис. 4.



- УУИ – Управляющее устройство излучением
- ИИ – источник излучения
- ОР – оптический разветвитель
- ИФП – интерферометр Фабри – Перо
- БУ ИФП – блок управления интерферометров Фабри – Перо
- ОП – оптический переключатель
- Д – датчик
- ФПУ – фотоприемное устройство
- У – усилитель
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина

Рис. 4. Структурно-функциональная схема

При помощи устройства управления излучением от источника излучения, обычно представленным суперлюминесцентным диодом (СЛД) специальной конструкции, создается сигнал. Излученный сигнал подается на интерферометр Фабри-Перо, подключенного к блоку управления, и попадает на оптический разветвитель. На датчики на основе волоконно-оптических решеток Брэгга, подключенных к оптическому переключателю, с помощью которого замыкается цепь на один из входов, поступает сигнал о внешнем воздействии. Сигнал с датчика подается на другой вход оптического разветвителя. На ФПУ1 регистрируется сигнал, отраженный от датчиков, а на ФПУ2 – сигнал с интерферометра, и, проходя через усилитель, попадают на входы АЦП, в окончательном обработанном виде поступает на элементы ЭВМ. Далее с полученными данными оперирует ЭВМ. После вычислений ЭВМ выдает информацию о длине волны излучения, отраженного от датчика и пересчитывает полученное значение в изменение необходимых параметров [5,7].

Таким образом, были проведены исследование и анализ существующих и перспективных методов измерения параметров окружающей среды для такого воздушного транспорта, как дирижабль, была исследована и разработана информационно-измерительная система контроля, построенная на альтернативных методах измерения.

Библиографический список

1. Григорьев А. П., Колесников Д. Г. Современное дирижаблестроение. Мировой опыт использования и перспективы применения // Труды седьмой науч.-техн. конф. молодых специалистов ФГУП «КБ «Арсенал»; Балт. гос. техн. ун-т. СПб.: Инфо-да, 2016. С. 277–280.
2. Кирилин А. Н. Дирижабли. М.: МАИ, 2013. 405 с.
3. Коломийцов Ю. В. Интерферометры. Основы инженерной теории, применение. Л.: Машиностроение, 1976. 296 с.
4. Ландсберг Г. С. Оптика: учеб. пособие для вузов. 6-е изд., стереот. М.: Физматлит, 2010. 848 с.
5. Медведков О. И., Королев И. Г., Божков А. С. и др. Волоконные решетки показателя преломления и их применение // Квантовая электроника. 2005. № 35. С. 1085–1103.
6. Особенности волоконно-оптических датчиков и где их можно применять. URL: <https://prodatchik.ru/vidy/volonno-opticheskie-datchiki/> (дата обращения: 27.05.2020).
7. Лазарев В. А. Измерительное устройство контроля деформации и температуры на основе наноразмерных волоконно-оптических датчиках // Научно-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики. 2008. С. 51– 58.

УДК 656.025.4

К. М. Бутомо

студент кафедры системного анализа и логистики

С. В. Уголков – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ХЛОРА****Введение**

На территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области сосредоточено большое количество промышленных предприятий, которые в своем производстве используют жидкий хлор. Он используется как сырье во многих производствах. Заменить хлор другими компонентами зачастую просто невозможно. Хлор необходим для таких стратегически важных отраслей промышленности как нефтяная, нефтеперерабатывающая, металлургическая, оборонная, строительная, автомобильная, целлюлозно-бумажная, и других.

Большинство специалистов и производителей отмечают, что важную роль в экономике хлорной отрасли играет процесс транспортировки хлора от производителя к потребителю. Например, резкий рост тарифов (до 50 %) в 2012–2013 гг. на железнодорожные перевозки и требование по обеспечению сопровождения тары с хлором, как веществом высокого класса опасности, привел к повышению стоимости хлора для потребителей почти на 30 % [1].

Востребованность в перевозке жидкого хлора возрастает, а перевозка опасных грузов является сложной задачей. Многие предприятия избегают заявок на перевозку такого рода груза из-за неопытности или незнания. В открытом доступе вопросы организации перевозок подобных грузов освещены явно недостаточно. Требования, предъявляемые к перевозкам жидкого хлора, изложенные на различных ресурсах, часто противоречат друг другу из-за постоянно меняющегося законодательства. В текстах международных соглашений, в национальных законах, правилах перевозок на разных видах транспорта, в инструкциях, предписаниях, тарифных руководствах и прейскурантах также просматриваются противоречия.

Основная часть

Промышленная перевозка жидкого хлора может совершаться на всех видах транспорта, кроме гражданской авиации, в соответствии с действующими на каждом виде транспорта правилами перевозки опасных грузов. Так как жидкий хлор является грузом повышенной опасности, то для его транспортирования характерно применение дополнительных мер безопасности.

Жидкий хлор транспортируется в цистернах, контейнерах-бочках и баллонах.



а) Цистерна для перевозки хлора, модель 15-1556-03



б) Хлорные контейнеры-бочки



в) Баллоны для хлора

Рис. 1. Тара для перевозки жидкого хлора

Одним из основных документов, которым регламентируется перевозка жидкого хлора автомобильным транспортом, является Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ) [2]. Однако все детали маршрута устанавливаются и согласовываются предварительно Ространснадзором (Российским транспортным надзором). По правилам ДОПОГ сопровождение при перевозке жидкого хлора не требуется. Тем не менее Ространснадзор может принять решение о сопровождении груза при согласовании маршрута и при выдаче соответствующего разрешения на проезд по автодорогам. При движении колонны автомобилей (числом пять и больше), сопровождение предписывается всегда.

ТС, предназначенные для перевозки грузов повышенной опасности, в том числе жидкого хлора, должны быть внесены в Реестр категорированных объектов транспортной инфраструктуры и средств ФДА (Федерального дорожного агентства). На автомобили и прицепы необходимо иметь соответствующее свидетельство (о допуске к транспортировке опасных веществ). Автомобили, транспортирующие опасные грузы, должны быть оснащены средствами спутниковой навигации (GPS или ГЛОНАСС), тахографами. Члены экипажа автомобиля должны иметь удостоверение об обучении и аттестации по программе ДОПОГ для соответствующего класса опасности грузов.

ТС, перевозящие грузы класса опасности 2, в том числе жидкий хлор, не могут осуществлять заправку топливом на АЗС общего пользования. Заправка ТС должна осуществляться на расстоянии не меньшем, чем 25 метров от местонахождения АЗС.

Жидкий хлор на автомобильном транспорте можно перевозить в баллонах или в контейнерах-бочках. Цистерны наполняются производителем и предназначены для транспортировки по железной дороге. Технические возможности тягачей не позволяют перевезти железнодорожную цистерну.

При расчетах времени перевозки жидкого хлора автомобилем необходимо учитывать, что перевозить такой груз можно только в дневное время суток.

Перевозка жидкого хлора железнодорожным транспортом осуществляется в соответствии с Правилами перевозок опасных грузов по железным дорогам [3]. Здесь исчерпывающе изложены необходимые условия для транспортировки жидкого хлора и противоречий в требованиях не наблюдается. Жидкий хлор по железным дорогам может перевозиться в цистернах (модель 15-1556-03), контейнерах-бочках и баллоны – в цельнометаллических полувагонах с глухим кузовом (например, модели 12-5190), в крытых вагонах (например, модели 11-280) [4].

Для транспортировки жидкого хлора по железным дорогам требуется бригада сопровождения.

Перевозка жидкого хлора водным транспортом регламентируется международными нормативными актами, в частности, Правилами морской перевозки опасных грузов (МОПОГ) [5], Европейским соглашением о международной перевозке опасных грузов по внутренним водным путям (ВОПОГ) [6] и другими. Также регулирование перевозок определяется законодательными актами РФ, в числе которых Кодекс внутреннего водного транспорта (КВВТ) [7], общие и специальные ведомственные правила и инструкции. Согласно этим документам, транспортировка жидкого хлора осуществляется на открытой палубе многоцелевых сухогрузных судов, предназначенных для перевозки генеральных, а также навалочных, крупногабаритных и тяжеловесных грузов, в том числе опасных грузов классов 1, 2, 3, 4, 5, 6.1, 8, 9 (например, судно проекта RSD32M) [8]. Хлор на палубе перевозится в контейнерах-бочках или баллонах.

Погрузочно-разгрузочная деятельность в отношении опасных грузов на внутреннем водном транспорте и в морских портах в обязательном порядке подлежит лицензированию. Лицензирование такой погрузочно-разгрузочной деятельности производится Федеральной службой по надзору в сфере транспорта, а также ее территориальными органами.

Для транспортировки жидкого хлора водным транспортом требуются сопровождающие ответственные лица.

Наиболее острыми проблемами при осуществлении транспортировки жидкого хлора разными видами транспорта являются проблемы расчета стоимости перевозок.

Так, на автомобильном транспорте не существует единого тарифа для расчета стоимости перевозки: каждая компания, осуществляющая перевозки, устанавливает свои расценки, исходя из внутренней и внешней экономической обстановки. Более того, разнятся и способы формирования тарифов: в то время как одни перевозчики рассчитывают стоимость в первую очередь в зависимости

от дальности перевозки, другие отталкиваются от массы или объема и номенклатуры перевозимого груза.

Подобная ситуация, с одной стороны, позволяет грузоотправителю выбрать подходящий для себя вариант среди всего многообразия конкурентного рынка, а с другой – затрудняет выведение некоего «общего» правила расчета стоимости перевозки. Перевозчику приходится ориентироваться на тарифы давно устаревшего Прейскуранта № 13-01-01[9] с учетом инфляционных коэффициентов, а также сравнивать реальные тарифы, устанавливаемые разными компаниями для автомобильных перевозок опасных грузов.

На железнодорожном транспорте сложилась парадоксальная ситуация: стоимость провоза хлора в цистернах дороже провоза хлора в контейнерах-бочках и баллонах почти в 5 раз. Это обусловлено тем, что согласно п.3.2.6. Определение платы за перевозку опасных грузов, п.п. 3.2.6.1. Плата за перевозку опасных грузов, отмеченных знаком «**» в Алфавитном указателе опасных грузов, допущенных к перевозке по железным дорогам в крытых вагонах Правил перевозок опасных грузов по железным дорогам [3] по правилам пункта 3.2 Тарифного руководства с увеличением в два раза отмечены только цистерны [10]. Перечисленные документы свидетельствуют, что хлор в контейнерах-бочках и баллонах поправочным коэффициентом не обладает.

На рис. 2 представлены разработанные маршруты по перевозке жидкого хлора разными видами транспорта из г. Волгограда в пос. Янино (Ленинградская область).



Рис. 2. Маршруты транспортировки разными видами транспорта

Расчет стоимости осуществления каждого из маршрутов показал, что на сегодняшний день перевозка жидкого хлора в контейнерах-бочках наиболее экономически выгодна на всех видах транспорта. Транспортировка в цистернах или баллонах обходится дороже. На железной дороге предпочтительнее использовать крытые вагоны модели 11-280.

Результаты расчетов (для перевозки жидкого хлора (200 тонн нетто) в контейнерах-бочках разными видами транспорта) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные результаты использования маршрутов

№ маршрута	Вид транспорта	Количество подвижного состава, вид	Расстояние перевозки, км	Время перевозки, сут.	Стоимость, руб / год
№ 1 (авто)	Волгоград-Янино	16х Седельный тягач MANTGA	1694	2	16 200 331,8
№ 2 (ж.д.)	ст. Волгоград – ст. Янино	5х Крытый вагон «11-280»	1740	3,2	982 514,8
№ 3 (водный, авто)	№3а порт Волгоград-порт Шлиссельбург	16х Седельный тягач MANTGA	3156	8	2 362 949,1
	№3б порт Шлиссельбург – Янино	Сухогруз проекта «RSD32M» «Навис-1»			

На современном этапе перевозка по маршруту №3 является довольно дорогостоящей. Кроме того, данная перевозка является менее технологичной и более длительной, так как необходима перевалка груза в порту. Выполнение дополнительных операций несет лишние временные и экономические затраты.

Перевозка по маршруту № 2 (железнодорожным транспортом) будет экономически выгоднее как по стоимости, так и по времени. Несмотря на то, что перевозка автомобильным транспортом происходит значительно быстрее по времени, данный вариант крайне не выгоден экономически в сравнении с перевозкой другими видами транспорта.

Заключение

Современные проблемы транспортировки жидкого хлора состоят, прежде всего, в несовершенстве законодательных нормативных актов. Очевидна необходимость унифицированного, единообразного подхода к требованиям, предъявляемым при перевозках такого рода грузов. Также насущной проблемой является приведение национального законодательства к требованиям международных соглашений, к которым присоединилась Российская Федерация.

Ввиду того, что жидкий хлор является грузом повышенной опасности, его транспортировка осуществляется только лицензированными государством перевозчиками. В связи с этим, на государственном уровне необходима разработка четких современных тарифных руководств для расчета перевозок с возможностью оперативно изменять тарифы в соответствии с инфляцией и постоянно изменяющимся состоянием рыночной экономики.

Библиографический список

1. Нужно вернуться к регулированию хлорной отрасли // Аналитический портал химической промышленности «Новые химические технологии». URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=8805 (дата обращения: 03.01.2020).

2. ДОПОГ. Действует с 1 января 2019 года. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов с приложениями: в 2 т. / Европейская экономическая комиссия. Комитет по внутреннему транспорту. Нью-Йорк, Женева: Организация объединенных наций, 2019.
3. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам (утв. Советом железнодорожного транспорта СНГ, протокол от 05.04.1996 г. № 15, ред. от 16.10.2019). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_97657/ (дата обращения: 03.01.2020).
4. Вагон.by: сайт о вагонном парке и вагонном хозяйстве. URL: <https://vagon.by> (дата обращения: 19.03.2020).
5. Правила морской перевозки опасных грузов (МОПОГ) РД 31.15.01-89: в 2 т. М.: Моркнига, 2020.
6. Европейское соглашение о международной перевозке опасных грузов по внутренним водным путям (ВОПОГ). – Постановлением Правительства РФ от 12.08.02 N 590 Российская Федерация присоединилась к указанному Соглашению. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902037400> (дата обращения: 19.03.2020).
7. Федеральный закон от 07 марта 2001 г. №24-ФЗ «Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» (с изм. на 2 августа 2019 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901782478#> (дата обращения: 10.03.2020).
8. Водный транспорт. URL: <https://fleetphoto.ru> (дата обращения: 19.03.2020).
9. Прейскурант N 13-01-01. Тарифы на перевозку грузов и другие услуги, выполняемые автомобильным транспортом. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901861760> (дата обращения: 10.03.2020).
10. Об утверждении Прейскуранта N 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами» (Тарифное руководство N 1, части 1 и 2) (с изменениями на 15 ноября 2018 года). Тарифное руководство от 17 июня 2003 года № 1. Постановление ФСТ России от 17 июня 2003 года №47-т/5 URL: <http://docs.cntd.ru/document/901868848> (дата обращения: 19.03.2020).

УДК 656.025.4

Н. С. Иванова

студент кафедры системного анализа и логистики

С. В. Уголков – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ ИЗ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РФ В Г. ГУАНЧЖОУ КНР

Введение

Транспортировка лесных ресурсов в мировой торговле и в международном сообщении играет важную роль в Российском импорте. Россия является обладателем крупнейших лесных ресурсов в мире, размеры вывоза древесины держатся на стабильно высоком уровне. На территории Российской Федерации сконцентрированы огромные запасы древесины, которыми она обеспечивает и себя, и другие государства.

Наиболее большие объемы леса вывозятся из Дальневосточного округа и из Хабаровского края, согласно данным 2018–2019 гг. Объясняется это тем, что данные районы граничат с КНР и приобретение древесины у около районных фирм существенно легче с точки зрения логистики. Также значительная доля местности занята породами хвойного леса, который активно используется для изготовления мебели, строительных материалов и бумаги. Это тоже привлекает Китай в связи с увеличением мебельных фабрик и развития мебельного производства.

Основная часть

Лесоматериалы изготавливают из древесины сосны, ели, пихты, лиственницы и кедра. В данной работе рассматривается организация перевозки круглого леса из ели.



Рис. 1. Внешний вид круглого леса

Маркировка включает в себя обозначение сорта, а также толщины круглого леса. В случае, если нормативно-технические документы устанавливают один сорт лесоматериалов, то, в таком случае, маркировка должна включать только толщину.

Реквизиты маркировки наносят на верхние торцы круглого леса водостойкими красками, если поставка будет осуществляться сплавом. Разрешается наносить маркировку иными средствами, обеспечивающими ее сохранность до доставки груза потребителю.

Важными физическими свойствами лесных грузов являются: влажность, твердость, удельная масса, запах, цвет и присутствие разных изъянов древесины. Все свойства груза зависят от породы дерева [1].

Для перевозки круглого леса железнодорожным транспортом между платформой модели 13-198-02 и полувагоном глухонным с глухим кузовом модели 12-5190 был выбран полувагон. Так как данная платформа является специализированной для перевозки лесоматериалов, то выбрать полувагон для данной поставки будет экономически целесообразно. Отсутствие крыши у полувагона поможет в процессе погрузки-выгрузки.



Рис. 2. Внешний вид полувагона глухонного модели 12-5190

Для осуществления перевозки автотранспортом используют специальные машины – лесовозы, либо прицепы с использованием специальных приспособлений для фиксации груза (рис. 3): металлические стойки, панели-щиты, гребенки. В данной работе был выбран лесовоз SCANIA R500 CB6x4ENZ с лесовозной надстройкой «ALUCAR» XL3 и гидроманипулятором Epsilon M100L97 с кабиной [2]. Лесовозы SCANIA можно легко подстроить под необходимые характеристики и под особенности работы.



Рис. 3. Внешний вид автопоезда

На речном транспорте перевозка может осуществляться плотами и баржами (рис 4). Для данной перевозки по речному транспорту были выбраны плоты, так как это экономически целесообразно, так как барж потребуется больше, чем плотов, скорость приблизительно одинаковая.

На морском транспорте следующий подвижной состав. В порту Владивосток приписано, единственное судно, которое годно для перевозки лесных грузов – это проект 17340, тип «Амур» (рис. 5). Тип судна: одновинтовой лесовоз-пакетовоз, однопалубный с удлиненным баком и ютом, надстройкой и машинным отделением в корме, с двумя грузовыми трюмами, с бульбообразным носом, крейсерской кормой, срезанной выше ватерлинии по типу транца [3].

Объем годовых экспортных поставок древесины из России можно рассчитать, исходя из потребностей Китая. Они составляют примерно 170 млн. кубометров в год, около 100 из них закрывает сам Китай, а еще не менее 30 млн. кубометров приходится на поставки в Китай из других стран. В

общей сложности, мы экспортируем Китаю 40 млн кубометров в год, что составляет 24 % потребления древесины.

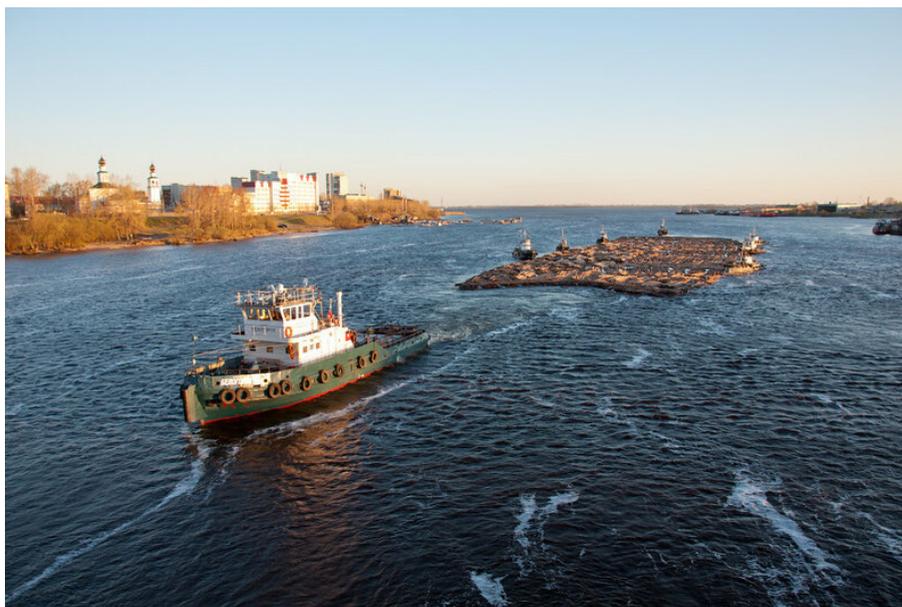


Рис. 4. Процесс перевозки лесного груза в плотках



Рис. 5. Внешний вид судна «Амур»

Компания Guangzhou Ouyuan Wood Co., Ltd, для которой и осуществляется поставка круглого леса, потребляет в год около 1,5 млн куб. метров древесины [4]. Естественно, сырьем для предприятия служит не только ель, но допускаем, что РФ снабжает предприятие только елью, остальные страны-другими породами дерева. Получаем, что годовой объем поставок ельника на данное предприятие составляет 360 000 м³ (270 тыс. тонн). Полувагонов модели 12-5190 в год для перевозки в свежеспиленном состоянии (740 кг/м³) и при 100 % влажности (750 кг/м³) в год понадобится 3790 единиц, в сутки 11 единиц.

На автомобильном транспорте, поскольку плечо подвоза автомобильным транспортом составляет маршрут 575 км Благовещенск – Харбин, расчет потребного количества подвижного состава производится по тоннажу свежеспиленного ельника, при 97 % влажности. Следовательно, 5027 автопоездов в год или по 14 лесовозов в сутки.

При организации перевозки на плотках на полноводных широких реках: Волга, Лена, Обь, Енисей можно организовать перевозку бревен общим объемом до 10-40 тыс. м³. В засушливый период уровень воды в Уссури падает на 0,15–0,3 м, поэтому точно можно отправлять плоты с сопровождением двух буксиров в объеме 5000 м³. Тогда за навигационный период понадобится 72 отправки плотов. Следовательно, 2,5 отправки в день, т. е. в один день 2 отправки, на следующий день – 3 отправки.

На морском транспорте общее количество судов для перевозки всей годовой партии составят 54 судна. Поскольку все суда ледового класса, они могут обеспечить круглогодичную проводку по маршруту Владивосток – Гуанчжоу самостоятельно.

Определим маршруты перевозок и тарифного расстояния на видах транспорта (рис. 6).



Рис. 6. Определение маршрутов и тарифного расстояния

Маршрут № 1 включает в себя Благовещенск – Харбин автомобильным транспортом, Харбин – Гуанчжоу железнодорожным транспортом. Тарифное расстояние составит 3517 км.

Маршрут № 2 включает в себя Благовещенск- Лесозаводск речным транспортом, Лесозаводск – Гуанчжоу железнодорожным транспортом. Тарифное расстояние составит 5301 км.

Маршрут № 3 включает в себя Благовещенск – Владивосток железнодорожным транспортом, Владивосток – Гуанчжоу морским транспортом. Тарифное расстояние составит 4472 км.

Круглый лес хранят на открытых площадках, так как он не подвержен погодным условиям. Укладывают в штабели на подготовленной, очищенной поверхности, на постоянных складах основанием служит железобетон. Также площадку оборудуют кюветами и дренажем, высота основания – 250 мм. Круглый лес укладывают плотно или на антисептированных прокладках. Предельная высота укладки – 1,5 метра [5].

После спиливания дерева подтаскивают к транспортным путям. Место, где хранится трелеванная древесина, называется верхний склад. Сейчас верхний склад теряет свою значимость, и лес сразу доставляется на нижний склад. Нижний склад является лесоперерабатывающим предприятием.

Погрузо-разгрузочные работы круглого леса производятся механизированным способом. Для погрузо-разгрузочных работ в лесной промышленности используются все типы кранов.

Определение оптимального маршрута перевозки целесообразно проводить сравнением расчетных показателей провозных платежей и сроков доставки груза.

На автомобильном транспорте не существует единого тарифа для расчета стоимости перевозки. Тем не менее, используя тарифы прежнего прейскуранта № 13-01 и учитывая инфляционные

коэффициенты, можно рассчитать провозную плату за транспортировку лесоматериалов автомобильным транспортом. Круглый лес относится к 1 тарифному классу по Приложению № 2 прейскуранта.

Расчеты за перевозку на железнодорожном транспорте проводились по тарифному руководству 10-01, по договору о Международном железнодорожном транзитном тарифе. На речном транспорте согласно Тарифному руководству № 14-01.

При перевозке грузов морским транспортом используется фрахтование.

Обязательные таможенные платежи рассчитываются в зависимости от направления перевозки. Обычно, для экспортируемых лесоматериалов таможенная пошлина равна 0 %, кроме того НДС также не предусматривается. Ранее уплачивался сбор за таможенное оформление в размере 750 рублей за каждую экспортную декларацию. С 4 сентября 2018 года таможенный сбор при экспорте также не уплачивается.

Ставки вывозных таможенных пошлин устанавливаются в порядке, установленном Правительством РФ, исходя из установленной формулы расчета [6].

Сравним все рассмотренные варианты перевозки по стоимости и времени доставки. Результаты отображены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ способов перевозки по скорости и стоимости доставки

Маршрут	Вид транспорта	Общее время	Общая стоимость (рубли)
Маршрут № 1	Автомобильный	6 ч 38 мин	445 365 823,21
	Железнодорожный	5,3 суток	3 513 285 129
	Всего	5 сут. 14 ч 38 мин	3 958 650 952, 21
Маршрут № 2	Речной лесосплав	3,78 суток	1 826 577 000
	Железнодорожный	6,8 суток	3 797 901 991
	Всего	10,5 суток	5 624 478 991
Маршрут № 3	Железнодорожный	2,7 суток	472 177 207,5
	Морской	6,16 суток	949 869 946
	Всего	8,86 суток	1 422 047 153,5

Анализируя данные видно, что наиболее дорогостоящий получился маршрут №2 – Благовещенск- Лесозаводск речным транспортом, Лесозаводск – Гуанчжоу железнодорожным транспортом. Тарифное расстояние составит 5301 км.

Анализируя 1 и 3 маршрут видно, что 1 маршрут обладает преимуществом по времени над 3 маршрутом. Расстояние маршрутов отличается примерно на 955 километров, из-за чего и возникает разница во времени. Стоимость годовой перевозки по 3 маршруту выгоднее в 2,78 раза и составляет 1 422 047 153,5 рубля. В обоих маршрутах задействован железнодорожный транспорт, который идеально подходит для такой большой партии. В 3 маршруте используется морской транспорт, который также выгодный для такой партии. Стоит отметить, что морские пути избегают препятствий, которые могут возникнуть при доставке грузов автомобильным транспортом, использующийся в 1 маршруте. Разумеется, перевозка автотранспортом имеет еще недостаток, такой как постоянное повышение стоимости дизельного топлива. Это действительно является серьезной проблемой, особенно учитывая тот факт, что дизельное топливо необходимо не только для транспортировки готового леса, но для обеспечения процесса его заготовки.

Таким образом, с точки зрения оптимальности, наиболее выгодным оказался маршрут № 3 Благовещенск – Владивосток железнодорожным транспортом, Владивосток – Гуанчжоу морским транспортом. Тарифное расстояние составит 4472 км. Из-за большего расстояния хоть и временные затраты оказались больше, чем у 1 маршрута, но ориентированность на материальные показатели в данном случае позволяют остановиться именно на этом маршруте.

Заключение

В ходе написания работы была выполнена теоретическая часть, касающаяся характеристик круглого леса и его объемов поставок. Были разработаны маршруты для осуществления перевозки, выбраны транспортные средства для транспортировки круглого леса на всех маршрутах следования, выполнены вычисления тарифных платежей за транспортировку на видах транспорта и рассчитано время перевозки.

Лесопродукция занимает четвертое место в экспорте по валютной выручке страны после нефти и нефтепродуктов, каменного угля и черных металлов. Лесные грузы экспортируются Россией как путем прямых железнодорожных перевозок, т. е. в которых участвует только железнодорожный транспорт, так и путем смешанных перевозок, в которых наряду с железными дорогами участвуют другие виды транспорта, в 139 стран мира. Однако наибольшие объемы экспорта идут в Китай, Финляндию, Японию, Эстонию, Египет, Казахстан и Италию.

В данной работе был выбран наиболее экономически выгодной способ доставки круглого леса из Благовещенска для деревообрабатывающего предприятия компании Guangzhou Ouyuan Wood, находящаяся в городе Гуанжоу (КНР) – маршрут № 3. Общая стоимость по маршруту № 3 Благовещенск – Владивосток железнодорожным транспортом, Владивосток – Гуанчжоу морским транспортом, составила 1 422 047 153,5 рубля, время в пути – 8,86 суток.

Библиографический список

1. Основные свойства лесных грузов. URL: <https://sdo2.irgups.ru/mod/book/view.php?id=1310&chapterid=687> (дата обращения: 15.04.2019).
2. Автомобиль сортиментовоз на шасси SCANIAR500 с лесовозной надстройкой ALUCAR и гидроманипулятором EpsilonM100L97 с кабиной. URL: <http://www.v-kran.ru/gallery.htm?album=95&page=2> (дата обращения: 15.04.2019).
3. Амурское пароходство. URL: <http://www.amurship.ru/vvi/флот-компании.html> (дата обращения: 15.04.2019).
4. Guangzhou Ouyuan Wood Co., Ltd. URL: <http://www.gz-highest.com/> (дата обращения: 15.04.2019).
5. ТТК. Складирование, строповка, погрузка и выгрузка лесоматериалов.
6. Закон РФ от 21.05.1993 г. № 5003-1 «О таможенном тарифе».

УДК 656.025.4

А. А. Ипатова

студент кафедры системного анализа и логистики

А. Н. Гардюк – доцент – научный руководитель

О ВЛИЯНИИ ЭПИДЕМИИ КОРОНАВИРУСА COVID-19 В КНР НА МИРОВЫЕ ЦЕПИ ПОСТАВОК И ЭКОНОМИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ

Согласно данным Швейцарского экономического института (KOF Swiss Economic Institute) за последние 4-5 десятка лет, особенно после окончания холодной войны, наблюдается тренд усиления мировой глобализации в целом, однако стоит обратить на темпы глобализации мировых экономик в торговле. На рис. 1 представлен скриншот графика [1], отправной точкой которого является 1970 г.

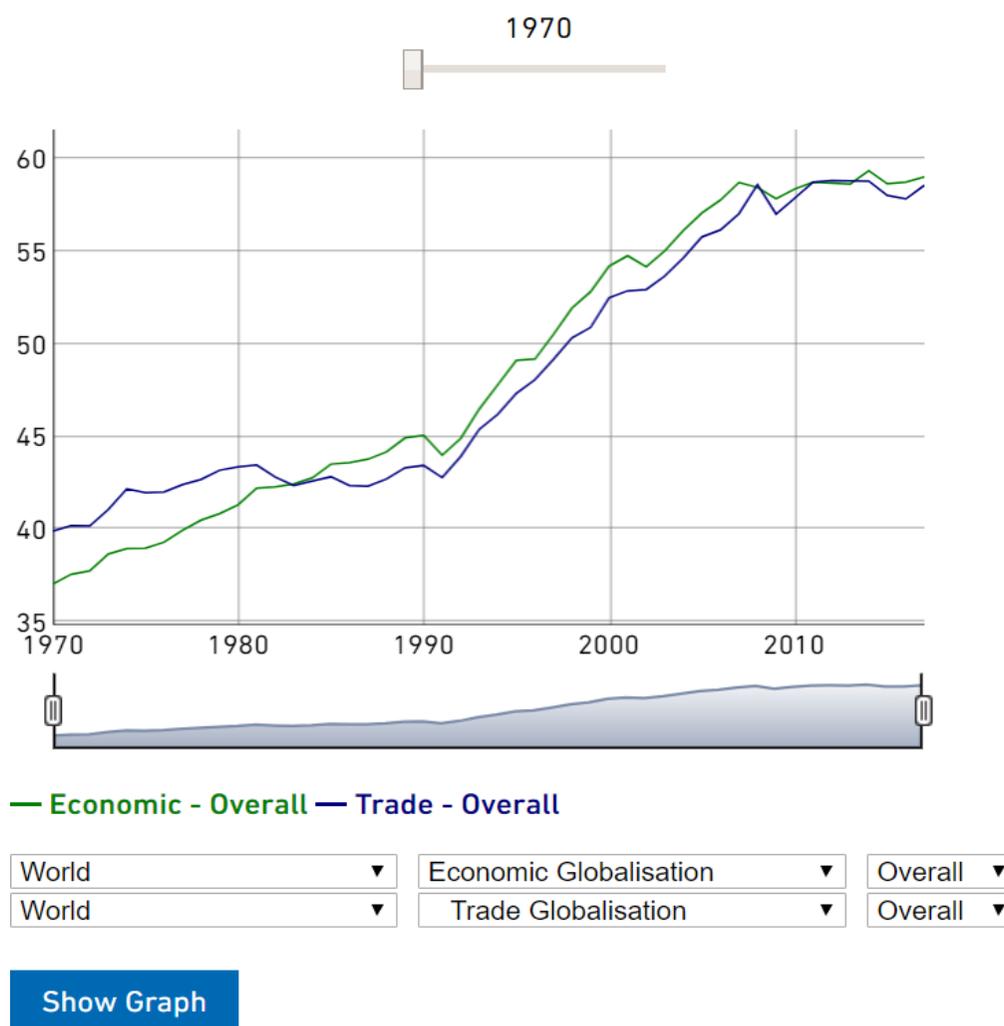


Рис. 1. Скриншот графика усиления мировой экономической глобализации, согласно данным KOF Swiss Economic Institute

За последние десятки лет глобализация стала трендом развития современного общества и достигла невероятных показателей. Наблюдается все более глубокая интеграция экономик мира, перерастающая во всеобъемлющую взаимозависимость.

Теперь резко выключаем вторую экономику мира из наблюдаемого процесса и следим за происходящим на рынке внешнеторговой деятельности и логистического сектора. Таким фактором, представляющим реальную угрозу для большинства развитых стран мира в современных реалиях, стало

лавинообразное распространение вируса, известного как COVID-19, а второй по величине экономикой мира представлен Китай.

Краткая хронология событий: эпидемия коронавируса началась еще во второй половине ноября, однако только в конце года проблема стала афишироваться Китайскими властями. Поначалу число случаев исчислялось десятками, затем сотнями. Вспышка носила локальный характер. 20 января 2020 г. эпидемиологи подтверждают высокую заразность вируса и необходимость принятия мер по предотвращению распространения инфекции. 23 января в городе Ухань вводят самый масштабный и жесткий карантин в истории современного мира, позднее тотальный карантин был расширен на всю провинцию Хубей. Стратегия заключалась в следующем: закрыть внешние и внутренние границы, изолировать максимальное количество людей, а также минимизировать их контакты друг с другом, и тем самым остановить распространение вируса.

Что означают подобные беспрецедентные меры? Люди не вышли на работу, происходит резкое падение деловой активности предприятий, больше 2/3 китайской экономики впали в спячку. Китай «остановился». Министр транспорта Лю Сямын: «К рабочим местам на транспорте и логистике после нового года не вернулись 220 000 000 внутренних трудовых мигрантов». Среди них: экипажи грузовых судов, крановщики, водители погрузчиков, ричстакеров, дальнобойщики, грузчики и многих другой персонал, обеспечивающий бесперебойную работу портов. При всем том семь из десяти крупнейших портов мира располагается в КНР, а 4/5 всех товаров перевозится морем [2].

Крупнейшие контейнерные порты, Китай:

1. Шанхай (Shanghai) является одним из самых загруженных портов мира, с более чем 25 млн контейнеров в год, проходящими через него;

2. Порт Гонгконг (Hong Kong). Является крупнейшим мировым контейнерным оператором с терминалами в шести из девяти самых крупных портах по всему миру. В среднем Гонгконг принимает 21 млн контейнеров в год.

3. Порт Шенчжень (Shenzhen). China Merchants Holdings крупнейший оператор порта в Шэньчжэнь, разгружает более 18 млн контейнеров в год.

4. Морской порт Гуанчжоу (Guangzhou) один из главных портов внешнеэкономической деятельности. В среднем за год порт принимает около 11,5 млн контейнеров.

5. Морской порт Нинбо (Ningbo) входит в четверку основных приморских глубоководных портов международного значения. За год в порту Нинбо обрабатывается более 10,5 млн контейнеров, порт конкурирует с более крупным из близлежащих соперников Шанхайским международным портом.

6. Порт Циндао. Огромные суда наполненные сухими смесями выстраиваются в порту, терминалы порта Циндао обрабатывают 10,2 млн контейнеров в год.

7. Порт Тяньцзинь является одним из важнейших портов международного сообщения Китая, мостом между Азиатской и Европейской частями суши. Город считается центром производства продукции тяжелой и легкой промышленности. Кроме того город активно сотрудничает с РФ.

Характерная черта современной китайской экономики — зависимость её от внешнего рынка. По объёму экспорта КНР занимает 1-е место в мире. Экспорт даёт 80 % валютных доходов государства. В экспортных отраслях занято около 20 млн человек. На внешний рынок вывозится 20 % валовой продукции промышленности и сельского хозяйства. Номенклатура экспорта насчитывает 50 тыс. наименований. Китайская экспортная продукция, поставляемая в Северную Америку, Японию, страны Западной Европы имеет высшие стандарты качества. Самой конкурентоспособной продукцией являются одежда, обувь и игрушки, все активнее развивается экспорт электроники, вело-, мото- и автотехники, транспортного и строительного машиностроения. С 2004 года Китай уверенно лидирует в мире по объемам экспорта офисного и телекоммуникационного оборудования, с 2005 года — в целом по объемам высокотехнологичного экспорта. Фрукты, рыба, морепродукты экспортируются (основной рынок сбыта продовольствия — страны СНГ, особенно Дальневосточный регион России, обеспеченный китайским продовольствием на 44 %). Кроме того, ведущим сельскохозяйственным продуктом экспорта является хлопок. [3]

Остановившееся из-за распространения коронавируса производство в Китае очень сильно сократило китайский экспорт, «в частности, поставки в Россию машинотехнической продукции упали на 9,7 %, текстильной продукции – на 11,9 %, сельскохозяйственных товаров – на 13,6 %». Согласно

данным китайской таможни экспорт в РФ за два месяца упал на 15,4 % в годовом соотношении и составил 6 млрд долларов.

Китай является мировым лидером по производству и экспорту свинины и курятины. Следовательно, в период тотального карантина, и, в связи с большим числом пострадавших от вспышки вируса, на 21.02.2020 г. десятки тысяч тонн замороженного мяса находятся в портах под угрозой гниения. Согласно данным Bloomberg, тысячи контейнеров с замороженной свининой, говядиной, птицей накапливаются в крупных грузовых портах. Контейнеры заняли все свободные площади, склады переполнены, рефрижераторных установок для охлаждения поступающей в порты скоропортящейся продукции не хватает. Из-за серьезных перебоев в работе морских грузоперевозок и складов, рассмотренные выше порты Шанхай, Нинбо и Тяньцзинь перенаправляют прибывающие суда в другие порты Китая, Гонконга, Южную Корею. Падают отправки судов-контейнеровозов из Китая (так как стоит производство), в результате чего в мире возникают проблемы с нехваткой новых контейнеров, производители поднимают цены до 20 % вверх. Датская судоходная компания A. P. Moller-Maersk Group на 21.02.20 г. отменила отправку 20 контейнеровозов. А согласно статистике – из каждых 10 судов-контейнеровозов из Китая теперь выпускают только 2.

Пандемия привела мир к ожидаемому снижению объемов морских перевозок контейнеров и перебоям в отправках. Наиболее заметно снижение количества отгрузок в феврале 2020 г., акkurat в разгар эпидемии в Китае. Применительно к России, по данным аналитического онлайн-сервиса SeaNews [4] контейнерооборот портов Балтийского бассейна снизился на 6,1 % относительно показателя февраля прошлого года. Экспорт сократился на 2,9 %, импорт – на 9 %. Болезнь также негативно сказалась на работе терминалов в США и странах ЕС.

Цепь поставок – важнейший элемент экономики современного глобализованного мира, без которого невозможно его нормальное функционирование. Цепь связывает в единый процесс создание продукта с момента получения сырья до доставки продукта конечному пользователю при помощи транспортно-складских систем. Разрушение цепей в мировых масштабах приводит к таким катастрофическим последствиям как острые дефициты продуктов, лекарств, комплектующих для непрерывного функционирования различных предприятий, приводит к массовой потере рабочих мест, инфляции, кризису.

Китай – ведущий поставщик ингредиентов для лекарственных препаратов в США. Согласно FDA, в Штатах может начаться дефицит 150 наименований лекарств. Помимо разрыва производственных цепочек в фарминдустрии за океаном угрожает разрыв цепей поставок китайских комплектующих для российской промышленности, что вынуждает останавливать заводы и предприятия отрасли или в лучшем случае сокращать объемы производства, что влечет за собой уменьшение количества сотрудников на рынках обеих стран и росту безработицы. Перерывы в работе на заводах в Китае нарушают цепь поставок и делают невозможным производство на промышленных предприятиях по всему миру. Вследствие этого происходит падение добычи и транспортировки топлива в КНР, являющимся мировым лидером по потреблению угля. Главным образом, пострадали отрасли автомобилестроения: Nissan, Hyundai, Toyota и т. п., электроники: Huawei, Apple, Xiaomi, ZTE и т. п., логистические операторы, грузоотправители (повышаются ставки на морские и авиационные перевозки) также терпят убытки. Срываются контракты и рушатся цепи поставок.

Разрыв цепочек поставки с/х продукции для экспорта в Китай, например, соевых бобов, активно потребляемых на фермах в КНР для кормления свиней, угрожает животноводческим комплексам, сельскохозяйственной промышленности и своевременному началу и осуществлению посевного периода. Ограничение экспорта странами партнерами и панические покупки населением необходимых пищевых продуктов длительного срока хранения, как внезапный скачок внутреннего спроса, подвергает риску ошибочных расчетов партий поставок для местных ритейлеров, и может вызвать недостаток пищевой продукции у жителей Китайской Народной Республики.

Перебои в области логистики неминуемы при разрушении цепей поставок, вызванные вследствие тех или иных событий, однако в настоящее время мы являемся свидетелями беспрецедентных событий и таких же беспрецедентных мер, предпринимаемых государствами для нормализации ситуации, и чем более продолжительно и жестко будут развиваться события, тем интереснее и тяжелее будут последствия, в частности для экономики, сектора логистики и управления цепями поставок.

Библиографический список

1. Онлайн-платформа исследований и прогнозов Швейцарского экономического института. URL: <https://kof.ethz.ch/en/forecasts-and-indicators/indicators/kof-globalisation-index.html> (дата обращения: 30.03.2020).
2. Онлайн-платформа tradingview.com, трейдер Александр Герчик. URL: <https://ru.tradingview.com/chart/CL1!/tSKn4Wrk-koronavirus/> (дата обращения: 23.02.2020).
3. Общедоступная многоязычная универсальная интернет-энциклопедия Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%9A%D0%9D%D0%A0 (дата обращения: 31.03.2020).
4. Информационно-аналитическое агенство Sea News. URL: <https://seanews.ru/category/containers/> (дата обращения: 25.03.2020).
5. Статистическая платформа Trend Economy URL: <https://trendeconomy.ru/data/h2/China/TOTAL> (дата обращения: 17.03.2020).

УДК 656.7.025

А. С. Костин

студент кафедры системного анализа и логистики

Д. В. Еленин

студент кафедры системного анализа и логистики

Н. Н. Майоров – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Быстрые технологические прорывы в сфере автономных беспилотных летательных аппаратах (беспилотных летательных аппаратах или беспилотных летательных аппаратах) и развивающееся законодательство могут вскоре открыть путь для их широкомасштабного применения для доставки продукции. Использование беспилотных летательных аппаратов могло бы значительно снизить временные и денежные издержки.

Онлайн-ритейлеры и компании-поставщики, такие как Amazon, уже подают патенты на разработку многоуровневых логистических центров для беспилотных летательных аппаратов, которые позволили бы внедрить эту технологию. В последние годы было проведено значительное количество исследований потенциального использования беспилотников для доставки посылок, главным образом в области логистической оптимизации. Однако мало что известно о потенциальной рыночной и экономической жизнеспособности таких услуг.

В качестве груза могут выступать:

1) Биологические материалы, вакцины, медикаменты или питание в клиники, больницы или непосредственно пострадавшим от стихийных бедствий [1].

Дроны DHL доставляют кровь, медикаменты и противоядия в удаленные регионы Танзании: немецкие аппараты позволили охватить свыше 8 тысяч пациентов и пересмотреть подход к оказанию медицинских услуг в ряде населенных пунктов [2].

2) Доставка почты, товаров и других небольших грузов [1].

3) Доставка товаров из магазинов (включая еду и напитки).

На данный момент сразу несколько крупных корпорацией разрабатывают беспилотные авиационные комплексы для доставки грузов, ниже, в табл. 1 представлено описание разрабатываемых проектов.

Сам же метод доставки при помощи БЛА заключается в том, что дрон получает информацию о доставке (например, информацию о грузе, информацию о местоположении груза и (или) информацию о месте доставки), автономно или полуавтономно получает груз из места хранения и доставляет по воздуху.

В некоторых реализациях БЛА будет связываться с другими БЛА, которые находятся относительно недалеко друг от друга для получения информации, используемой для планирования маршрута. Эта информация может храниться на сервере автономной базовой станции и/или динамически распределяться между ближайшими БЛА.

Когда БЛА достигает места доставки, он исследует поверхность в месте доставки для безопасной посадки, производит посадку, затем отпускает груз, тем самым завершая доставку. В дальнейшем, если БЛА ранее успешно приземлился в месте доставки, он может использовать сохраненную информацию о месте доставки (например, безопасную зону посадки, географические координаты зоны посадки) для навигации при посадке в точке доставки. После завершения доставки БЛА может вернуться в базовый пункт обработки или в другое место для получения другого груза, зарядки батарей и т. д.

Кроме того, пользователи смогут указать альтернативные места доставки, например дом, рабочее место и т. д. Для избегания столкновений дроны будут избегать препятствия в окружающей среде, таких как животные, люди, различные небольшие сооружения и т. д. при помощи машинного зрения.

Описание сервисов и методов доставки товаров и грузов

№	Название компании и разработанного сервиса	Краткое описание сервиса
1	Amazon. Сервис доставки заказов Prime Air	Предполагается, что покупатель делает онлайн заказ и указывает Prime Air как способ доставки. В логистическом центре компании товар, выбранный клиентом, загружается на беспилотник [3]. Затем БЛА летит по указанному адресу, приземляется, проводит выгрузку товара и улетает. После этого клиент забирает с земли упаковку с товаром [3]
2	Google. Project Wings	Wings — это проект, направленный на разработку беспилотника и автономной базовой станции. В проекте было продемонстрировано несколько типов беспилотников с разными аэродинамическими схемами. Один из проектов БЛА был построенный по схеме летающего крыла с вертикальным взлетом и посадкой (тэйл-ситер). При нахождении на земле аппарат находится в вертикальном положении «сидит на хвосте». После взлета аппарат принимает горизонтальное положение и летит как летающее крыло
3	DHL Express. Использование дронов для доставки посылок	Предполагается, что дрон может доставлять грузы весом до 5 кг, совершая взлет и посадку на локальные базовые станции, специально разработанные для автономной погрузки и выгрузки [4]. Базовая станция подключена к автоматическим процессам сортировки, сканирования и хранения экспресс-почты, а также имеют такие функции, как распознавание лиц и сканирование удостоверений личности [4]. Этот комплекс уже применяется и беспилотник доставил первый груз клиенту DHL в Гуанчжоу. Для этого был специально разработан новый маршрут длиной около 8 км от сервисного центра DHL, расположенного в Ляобу городского округа Дунгуань в провинции Гуандун, до места назначения. На маршрут БЛА требуется всего 8 минут, в то время как автомобиль преодолевает этот путь за 40 минут [4]
4	Zipline. Доставка медикаментов и образцов крови	В 2016 году калифорнийская компания Zipline по договоренности с правительством Африканского государства Руанда приступила к доставке донорской крови и медикаментов с помощью БЛА [3]. Процесс доставки устроен следующим образом: врач клиники, нуждающейся в срочной поставке крови, отправляет заявку по SMS в специальный логистический центр [3]. После получения заявки работники центра загружают припасы в беспилотник и запускают его [3]. В проекте используются БЛА самолетного типа, а взлет осуществляется с помощью катапульты
5	UPS. Почто-мобиль-авианосец	В феврале 2017 почтовый гигант UPS объявил о полевых испытаниях почтового фургона и по совместительству аэродрома для дронов [3]. Концепция использования машины такая же, как и в проекте Matternet и Mercedes-Benz. Фургон с посылками подъезжает к поселку, а затем дроны разносят посылки по домам [3]

Далее более конкретно рассмотрим некоторые основные элементы системы доставки, такие как: веб-интерфейс (рис. 2) для осуществления заказа и выбора типа и места доставки, информационная сеть беспилотников (рис. 3) для осуществления обмена оперативной информацией и удаленного управления и сортировочная базовая станция (рис. 4) для формирования и выдачи заказа, а также для зарядки и обслуживания дронов.

На рис. 8 изображен концепт графического пользовательского интерфейса с выбором варианта доставки заказа. В данном примере пользователь хочет сделать заказ " 6 «Touch Screen Display», которое продается компанией ABC. В процессе покупки пользователь может выбрать один или несколько способов доставки, которые могут быть использованы для доставки выбранного товара. В этом примере пользователь выбрал «автоматизированную воздушную доставку» с оценкой времени

доставки в 30 мин. Если пользователь не желает получать товар с помощью автоматической воздушной доставки, он может выбрать другой вариант доставки, нажав кнопку «Выбрать другой вариант доставки». В еще одной реализации пользователь может выбрать время доставки для воздушной доставки. Например, если пользователь не желает получить заказ, в данном примере через 30 минут он может выбрать другое время, в которое он хотел бы получить элемент.

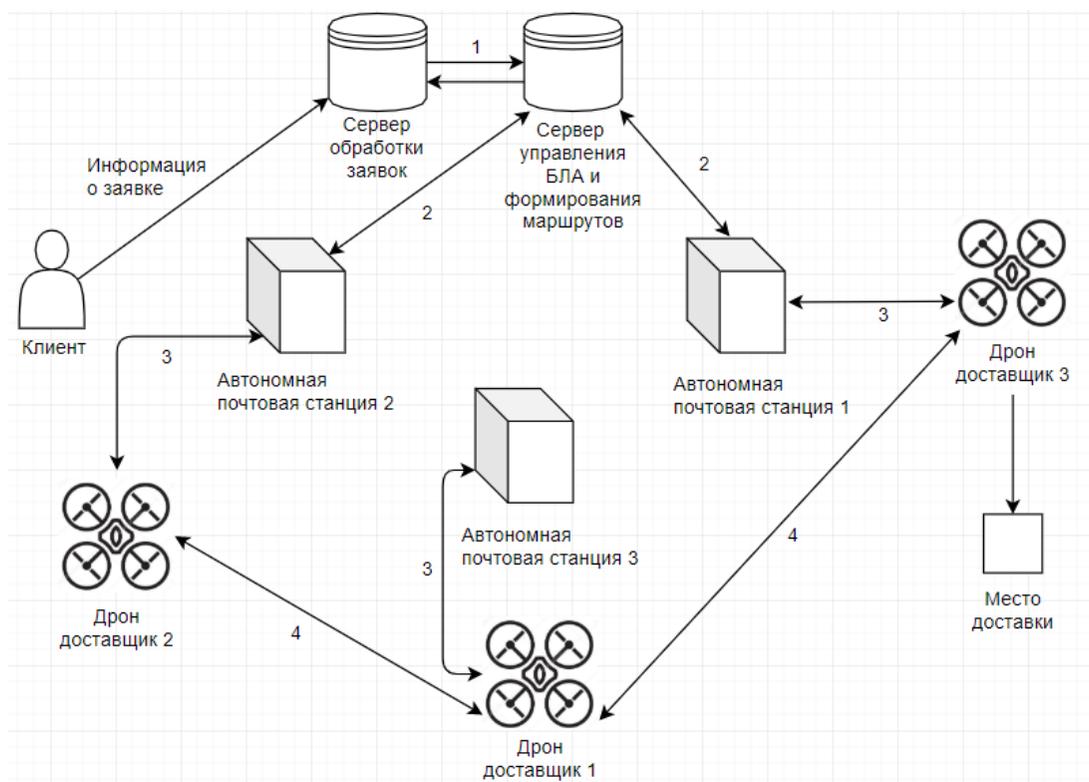


Рис. 1. Схема обработки заявки по доставке груза



Рис. 2. Концепт графического интерфейса сервиса доставки

В дополнение к выбору способа доставки, пользователь может выбрать место доставки. С помощью описанных здесь реализаций пользователь теперь имеет возможность выбрать «Доставь мне» (A). С помощью этой опции определяется фактическое местоположение пользователя, и БЛА

доставляет элемент в текущее местоположение пользователя. Текущее местоположение пользователя может быть основано, например, на определенном местоположении портативного устройства (например, мобильного телефона), связанного с пользователем, местоположении сети, используемой пользователем при оформлении заказа, и т. д. Например, пользователь может определить свое текущее местоположение, разрешив предоставлять данные глобальной системы позиционирования («GPS») с помощью своего мобильного устройства. В качестве альтернативы, если пользователь подключен через беспроводную сеть (например, cellular, Wi-Fi, satellite), местоположение сети может быть определено и использовано в качестве текущего местоположения пользователя.

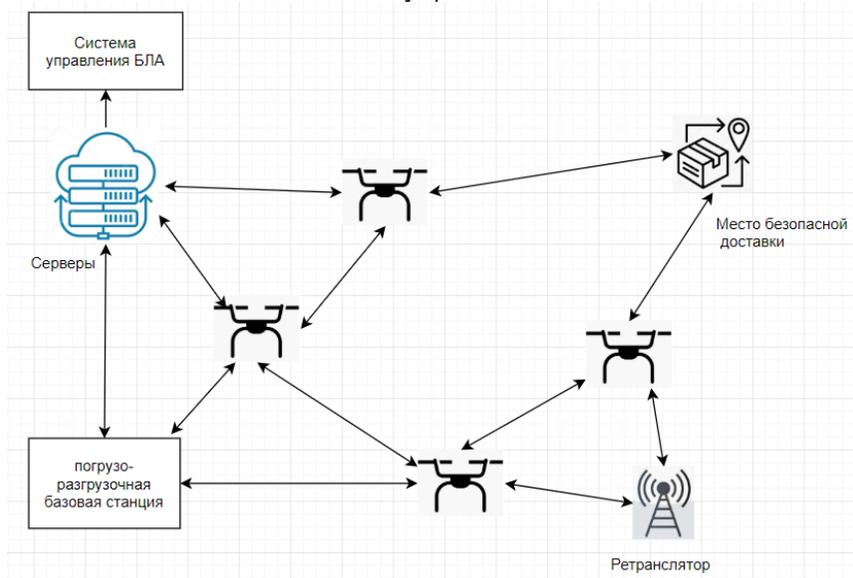


Рис. 3. Структура ячеистой сети обмена данными между БЛА и объектами инфраструктуры

На рис. 3 изображена блок-схема среды БЛА, которая включает в себя БЛА, место безопасной доставки, ретранслятор, погрузо-разгрузочную базовую станцию и удаленные вычислительные центры. Каждый из БЛА, точки доставки, места ретрансляции, погрузо-разгрузочной базовой станции и (или) удаленных вычислительных центров могут быть сконфигурированы для связи друг с другом. Например, БЛА могут быть сконфигурированы для формирования беспроводной ячеистой сети, которая использует Wi-Fi, мобильную сеть 5G или другое беспроводное средство связи, причем каждый БЛА связывается с другими БЛА в пределах диапазона беспроводной связи.

Удаленные вычислительные центры образуют вычислительную платформу, состоящую из серверов, которые доступны через ячеистую сеть и (или) другую беспроводную или проводную сеть (например, Интернет). Как показано на рис. 3, удаленные вычислительные центры могут включать в себя один или несколько серверов. Эти серверы могут быть расположены любым способом, например как серверные фермы, стеки, которые обычно используются в центрах обработки данных. Кроме того, серверы могут включать в себя систему управления БЛА.

Беспроводная ячеистая сеть может использоваться для обеспечения связи между беспилотными летательными аппаратами (например, для обмена информацией о погоде, информацией о местоположении, зонах посадки), системой управления беспилотными летательными аппаратами, погрузо-разгрузочной базовой станцией, безопасными точками доставки.

В некоторых случаях, если БЛА теряет связь с другими БЛА через беспроводную ячеистую сеть, он может активировать альтернативный метод беспроводной связи для восстановления соединения. Например, если БЛА не может связываться с любыми другими БЛА через ячеистую сеть, он может активировать канал сотовой и/или спутниковой связи для получения необходимой информации из системы управления БЛА. Если альтернативный метод связи не активировался, то дрон может автоматически и автономно перемещаться в указанное место (например, в ближайшую автономную базовую станцию).

На рис. 4 изображена базовая почтовая станция компании DHL. Базовая почтовая станция включает в себя систему управления и один или несколько отсеков для хранения грузов. Система

управления включает в себя внутреннюю вычислительную систему, которая способна получать и анализировать информацию о состоянии каждого отсека хранения и обеспечивает другие вычислительные функции. Например, внутренняя вычислительная система может включать в себя командный центр, который хранит информацию о том, какие ячейки хранения пусты, а какие ячейки хранения содержат товар и (или) контейнеры, которые содержат инвентарь для обслуживания дронов; коды доступа или другой идентификатор, необходимый для открытия каждого из отсеков для хранения. Командный центр также может выдавать команды модулям хранения, чтобы блокировать/разблокировать хранилища, активировать и/или деактивировать датчики и т. п.



Рис. 4. Концепт базовой почтовой станции

Во время связи с беспилотными летательными аппаратами система управления идентифицирует прибывающий беспилотный летательный аппарат, определяет модуль отсека для хранения, из которого беспилотный летательный аппарат должен получить контейнер. По мере приближения БЛА управляющая станция может запрашивать управление БЛА для контроля посадки.

Для организации доставки грузов необходимо обработать поступающие заявки и организовать маршрут доставки. На рис. 5 представлен пример схемы маршрута.

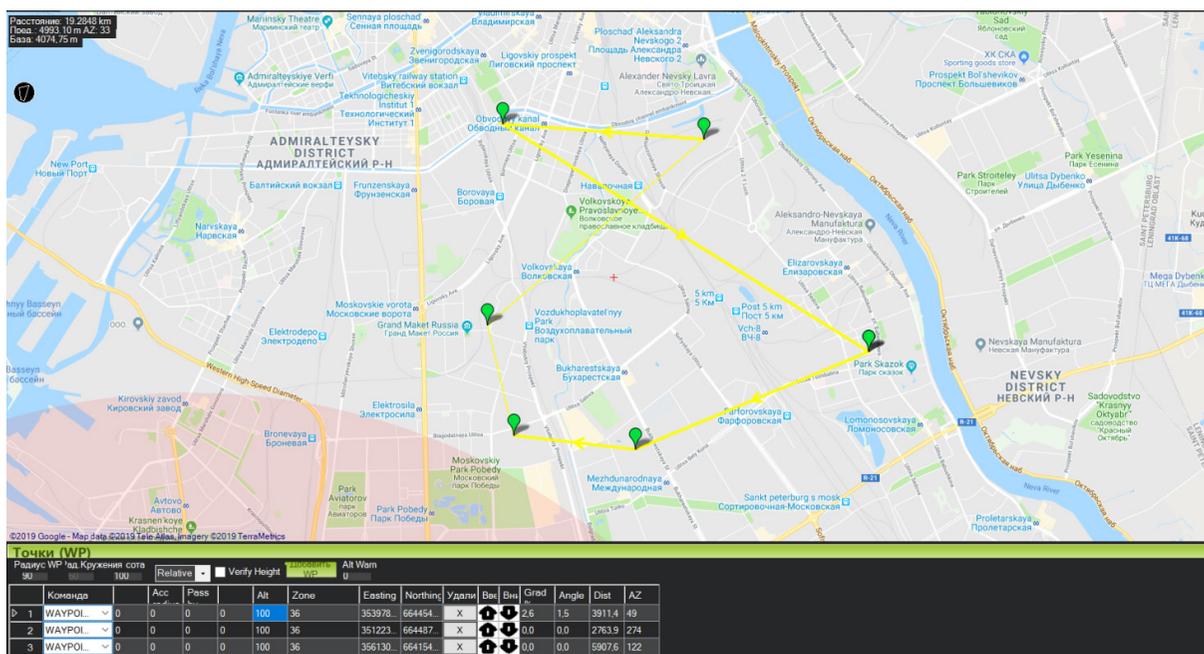


Рис. 5. Маршрут доставки грузов на примере MissionPlanner

На рисунке 5. можно увидеть сформированный маршрут доставки от базовой станции и до точек доставок. Как можно заметить, была сформирована определенная очередность доставки, которая зависит от срочности доставки, веса доставляемого груза и расстояния от базовой станции или от предыдущей точки доставки.

Одной из сильных сторон беспилотников на рынке городской логистики является их способность летать над городским трафиком, что дает им конкурентное преимущество в доставке грузов между точками. Это особенно верно, если альтернативное транспортное средство должно проехать через перегруженные точки городского района. По этой причине беспилотники идентифицируются как очень конкурентоспособная альтернатива в неотложных/экстренных службах, кратковременном обслуживании (несколько часов) или при доставке в тот же день [6].

При чрезвычайной ситуации беспилотники могут получить доступ к городским районам, которые могут быть заблокированы для всех других видов транспорта, предлагая уникальную возможность доставить медицинский или любой другой необходимый груз в заблокированную зону [6].

Многочисленные функции дронов могут быть определены как слабые стороны, некоторые из которых в настоящее время мешают им развиваться быстрее. Однако некоторые из них уже были решены, они могут не представлять реальных недостатков в некоторых контекстах, или решения уже обсуждаются [6].

Хотя некоторые БПЛА могут нести большие грузы, БЛА, подходящие для городских районов, имеют небольшую грузоподъемность, максимум около 2,5 кг. Кроме того, дальность полета ограничена (около 15 км с грузом) [6].

Для обеспечения безопасности всех операций, обеспечения безопасности для всех участвующих субъектов организация страны, ответственная за выполнение полетов, устанавливает строгие правила безопасности полетов, особенно при выполнении операций за пределами прямой видимости. Кроме того, в настоящее время все еще могут потребоваться специальные разрешения на полеты по определенным заранее определенным маршрутам во многих странах, однако параллельно обсуждаются воздушные магистрали. Воздушные магистрали создадут сеть, аналогичную уличной сети, для организации воздушного движения [6].

В городских условиях окончательная доставка посылок получателям может стать проблемой из-за городской среды. Текущие тестовые доставки используют либо доставку в большие здания (например, в больницы), где посадка может быть выполнена без проблем, посадка на крыше фургонов со встроенными посадочными площадками и безопасная работа на высоте 2 м над полом, либо зависание во дворах или на открытых пространствах [6].

БЛА в основном используют координаты точек GPS для выполнения доставок. Хотя в случае отсутствия GPS они должны иметь альтернативы, например, безопасную аварийную посадку. Некоторые БПЛА выполняют запись изображений с низким разрешением, которая может использоваться в качестве резервной копии, обеспечивая выполнение политик защиты данных. Кроме того, для обеспечения безопасности полетов БЛА должны включать в себя системы воздушной связи, которые могут повысить стоимость коммерческих БПЛА [6].

И, наконец, шум от работы беспилотника. Шум от работы двигателей БПЛА будет раздражать жителей мегаполисов, так как данный шум будет считаться новым в городских условиях [6].

Как оказалось в итоге, можно представить множество сценариев, в которых применение мультикоптеров для грузоперевозок будут оправданными. Дронам по силам очень многое — начиная от доставки пиццы и заканчивая эвакуацией пострадавших людей из труднодоступных районов [7]. При этом большинство рутинных задач будут выполняться без оператора.

Искусственный интеллект возьмет на себя часть задач по оптимизации маршрута, выполнит взлет и посадку, вернет летательный аппарат на базу.

Но кроме очевидных преимуществ данного вида транспорта существует ряд серьезных проблем и ограничений.

Законодательные ограничения на перемещения малых летательных аппаратов есть во многих странах мира. Доставка грузов по воздуху при помощи беспилотников является в большинстве случаев незаконным действием. К тому же необходимо определиться с тем, какой свободный эшелон будет доступен для беспилотной авиации.

Следующим ограничивающим фактором остается длительность полета. Мощные бесколлекторные двигатели способны поднять в воздух значительный вес, однако они потребляют много энергии. Емкость аккумуляторов не безгранична, кроме того, батареи сами «съедают» значительную часть полезной нагрузки. Чем больше емкость батареи, тем она тяжелее, больше и дороже. Время полета от одного аккумулятора редко превышает 30–40 минут.

Современные дроны не могут перемещаться по воздуху в сложных метеоусловиях. Сильный ветер, дождь и град выводят из строя летательный аппарат [7].

Существуют проблемы с доставкой товаров жителям многоквартирных домов и офисных помещений. Организация массового полета дронов требует создания сложных программно-аппаратных комплексов. Внедрение новых технологий сопряжено с большими финансовыми расходами.

К тому же есть определенные требования к безопасности. Падение дрона с грузом может привести к травмам людей. В воздух должны подниматься только исправные модели, а их маршруты должны проходить вдали от массового скопления людей. Либо же надежность коптеров должна оказаться настолько высокой, чтобы их можно было без опаски запускать над городом [7].

Библиографический список

1. Доставка беспилотниками грузов // RoboTrends. URL: <http://robotrends.ru/roboedia/dostavka-besplotnikami-gruzov> (дата обращения: 11.10.2019).
2. Life-Saving Drones Fly Medicine to Tanzania's Remotest Spots // Bloomberg. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-08/life-saving-drones-deliver-medicine-to-tanzania-s-remotest-spots> (дата обращения: 11.10.2019).
3. Коммерческая доставка грузов с помощью дронов: мировой опыт // Integral. URL: <http://integral-russia.ru/2017/03/24/kommercheskaya-dostavka-gruzov-s-pomoshhyu-dronov-mirovoj-opyt/> (дата обращения: 11.10.2019).
4. DHL Express запустила первый регулярный маршрут автоматизированной доставки дронами в городских условиях // DroneFlyers. URL: <http://droneflyers.ru/2019/05/22/dhl-express-zapustila-pervyj-regulyarnyj-marshrut-avtomatizirovannoj-dostavki-dronami-v-gorodskih-usloviyah/> (дата обращения: 11.10.2019).
5. Грузоподъемность квадрокоптера с камерой — какой вес может поднять дрон? // DronGeek Все о квадрокоптерах и дронах. URL: <https://drongeek.ru/novichkam/gruzopodemnost-kvadrokoptera> (дата обращения: 11.10.2019).
6. Logistic deliveries with Drones. State of the art of practice and research // strc.ch. URL: http://www.strc.ch/2019/RocaRiu_Menendez.pdf (дата обращения: 11.10.2019).
7. Доставка грузов с помощью дронов // MyKvadrocopter. URL: <https://mykvadrocopter.ru/dostavka-dronami/> (дата обращения: 11.10.2019).

УДК 658.78

Е. С. Лабутина

студент кафедры системного анализа и логистики

Д. Л. Головцов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СЕРВИС СКЛАДСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОЙ ВЫГОДЫ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ

Современный крупный склад – это сложное техническое сооружение, которое состоит из многочисленных взаимосвязанных элементов, имеет определенную структуру и выполняет ряд функций по преобразованию материальных потоков, а также накоплению, переработке и распределению грузов между потребителями. При этом в силу многообразия параметров, технологических решений, конструкций оборудования и характеристик разнообразной номенклатуры, перерабатываемых грузов склады относят к сложным системам [1].

В то же время склад сам является всего лишь элементом системы более высокого уровня – логистической цепи, которая и формирует основные и технические требования к складской системе, устанавливает цели и критерии ее оптимального функционирования, диктует условия переработки груза.

Поэтому склад должен рассматриваться не изолированно, а как интегрированная составная часть логистической цепи. Только такой подход позволит обеспечить успешное выполнение основных функций склада и достижение высокого уровня рентабельности. При этом необходимо иметь в виду, что в каждом отдельно взятом случае, для конкретного склада, параметры складской системы значительно отличаются друг от друга, так же как ее элементы и сама структура, основанная на взаимосвязи этих элементов. При создании складской системы нужно руководствоваться следующим основным принципом: лишь индивидуальное решение с учетом всех влияющих факторов может сделать ее рентабельной. Предпосылкой этого является четкое определение функциональных задач и основательный анализ переработки груза как внутри, так и вне склада. Любые затраты должны быть экономически оправданными, т. е. внедрение любого технологического и технического решения, связанное с капиталовложениями, должно исходить из рациональной целесообразности, а не из модных тенденций и предлагаемых технических возможностей на рынке.

Основное назначение склада – концентрация запасов, их хранение и обеспечение бесперебойного и ритмичного выполнения заказов потребителей [1].

Помимо процессов хранения и погрузочно-разгрузочных работ существует ряд немаловажных услуг, оказываемых складом для нужд клиентов.

1. Приемка груза по артикулам.

Эта услуга весьма актуальна, если на склад приходит товар на смешанных паллетах, а его отгрузка требует дополнительной комплектации. Прием по артикулам необходим и в том случае, если груз приходит «навалом». Специалисты склада могут провести приемку на основании сопроводительных документов, сверить данные и представить клиенту итоговый отчет.

2. Сортировка.

Сортировка зачастую сопутствует предшествующей услуге, так как сортировка груза при его входе на склад существенно упрощает систему его поиска и учета. Сортировка производится по артикулам, по дате прихода или другим критериям.

3. Паллетирование.

Этой услугой активно пользуются клиенты, груз которых приходит россыпью. Учет в паллетах гораздо удобнее, чем коробочный учет продукции. Если клиент желает, чтобы груз со склада был отправлен паллетами, сотрудники склада сформируют паллеты с теми артикулами и в такой форме, как это необходимо, от клиента потребуются лишь дать необходимые инструкции.

4. Переупаковка.

Такая услуга предоставляется по желанию клиента в том случае, если первоначальная упаковка была повреждена при транспортировке, а также, когда партии товара для отгрузки необходимо запаковать в отдельные короба, чтобы не отправлять груз мелкой россыпью.

5. Взвешивание.

Взвешивание может быть использовано как при приемке и отгрузке партий товара, так и для определения остатков. На складах все материальные ценности принимаются по количеству и весовой категории по пути передачи товара с заводов к потребителю. Это важная мера, так как всегда оформляется акт приемки и сдачи, по которым потом товар забирается со склада. Обычно приемка бывает количественной и весовой. Взвешивание при приемке товара/груза осуществляется при помощи специального оборудования – измерительных приборов.

6. Стикирование и маркировка.

Данная услуга предоставляется по дополнительному согласованию, исходя из индивидуальной потребности. Склад может использовать стикеры, предоставляемые клиентом и применять систему штрих-кодирования, а также использовать нестандартные стикеры для маркировки паллет.

7. Сбор заказа.

При условии обширной артикулярной базы, сбор заказа – это весьма ответственный и трудоемкий процесс, который стоит также возложить на склад, так как в данном процессе важен профессионализм. На основании заявки клиента специалисты склада собирают необходимые артикулы и подготавливают их для отправки.

8. Комплектация.

Кроме сбора заказа по артикулам и коробкам, часто требуется комплектация партий товара для отгрузки. Комплектация – это более широкое понятие, оно включает не только подбор необходимых единиц груза, но и их упаковку/переупаковку, а так же разбор паллет и перепаллечивание груза. Комплектация так же производится на основании письменной заявки.

9. Стрейчевание.

Стрейчевание груза специальной пленкой может применяться как в дополнение к услуге паллетирования, так и в качестве самостоятельной услуги. Стрейчевание может применяться, если стрейч на паллете был поврежден при транспортировке, а так же для защиты нестандартного груза от механических повреждений при отгрузке.

10. Обандаживание и обрешетка груза.

Применяется в том случае, когда груз нуждается в дополнительном креплении или защите, на основании пожеланий клиента и по дополнительной договоренности. Бандажная лента изготавливается из полимерных материалов, она должна быть достаточно прочной, но при этом обязательная ее черта – это способность растягиваться, так как при закреплении груза особое значение имеет степень натяжения бандажа. Ширина бандажной ленты различна, при упаковке груза учитываются индивидуальные характеристики товаров.

11. Инвентаризация.

Пересчет остатков и предоставление данных по наличию груза на складе производится в обязательном порядке один раз в месяц без оплаты. Эту услугу можно заказать и дополнительно. Наиболее популярна инвентаризация не всех остатков, а какого-либо артикула или партии товара.

12. Оформление документов.

- Учет электронных заявок – все отгрузки и приемка груза, равно как комплектация и прочие услуги, осуществляются исключительно на основании письменных заявок от Поклажедателя.

- Оформление сопроводительной документации – при отгрузке оформляется ТТН и Транспортные накладные, а также другие, необходимые клиенту документы.

- Предоставление отчетов и данных по остаткам – происходит в электронном формате и представляет собой выгрузку из 1С, но может изменяться в зависимости от пожеланий клиента.

13. Утилизация.

Если груз больше не востребован или он утратил свои товарные свойства вследствие естественных причин, или был забракован, то склад может предоставить услуги по его утилизации.

14. Ремонт тары.

На складе возможно выполнение мелкого ремонта упаковки груза, если переупаковка не возможна по тем или иным причинам. Если при транспортировке или отгрузке упаковке был нанесен какой-либо ущерб, то, по дополнительному согласованию, склад может произвести небольшой ремонт тары. Речь не идет о полном восстановлении заводской упаковки, данная услуга

направлена, прежде всего, на сохранение товара, а так же на поддержание товарного вида.

Таким образом, складской сервис предоставляет клиентам довольно широкий спектр услуг, отличающиеся как по трудоемкости, так и по приоритетности. Эти услуги можно использовать как в полной линейке, так и выбирать только то, что необходимо в данный момент. По дополнительному согласованию склад может выполнять и ряд специфических задач, поставленных клиентов.

Перечисленные услуги в комплексе или выборочно позволяют без прямого участия заказчика производить все необходимые манипуляции с грузом, в том числе предпродажные, и реализовывать как оптовые партии товаров, так и продавать в розницу прямо со склада.

Данный факт позволяет повысить коммерческую выгоду от реализации продукции (товара), что является выгодным как для клиента, так и для склада.

Складские услуги могут не ограничиваться описанными операциями. Для оптимизации издержек компании-клиента – производителя оптовой продукции складом может быть организовано управление запасами в рамках аутсорсинга. Такая услуга также способствует благоприятному управлению бизнес-процессами в целом и хранению и отгрузкам продукции (товаров) напрямую потребителям по средствам самовывоза или транспортной доставки [3].

Операции управления запасами включают:

- накопление и обновление данных для прогнозов;
- выбор параметров прогноза;
- выбор техники прогнозирования;
- анализ прогнозов и моделирование;
- определение целевого уровня обслуживания потребителей;
- выбор параметров управления запасами;
- моделирование запасов;
- планирование потребностей в запасах;
- интеграция данных о стимулировании продаж;
- планирование, формирование и размещение заказов на пополнение запасов.

Управление запасами успешно, если в каждый момент предприятие располагает необходимым для реализации количеством нужного товара. Не больше, не меньше, а именно столько, сколько нужно. Если ожидается повышенный объем сбыта и оборотные средства не лимитированы, то естественным является желание закупить товары впрок. Приятным кажется зрелище склада, полного товарами, готовыми к немедленной отгрузке. Но если цены на товары внезапно снизятся, после того как предприятие создаст избыточный запас этих товаров, предприятие автоматически теряет дополнительную прибыль, которую могло бы получить, если бы товары приобретались как можно ближе к сроку их реализации. Эти потери прямо зависят от количества товаров и сроков их хранения [4].

Все перечисленные услуги в комплексе дают возможность наиболее оптимально управлять бизнес-процессами связанными с технологией реализации продукции в целом, что позволяем уменьшить совокупные издержки и повысить ликвидность товаров.

На сегодняшний день такие услуги в комплексе могут предоставлять логистические компании, имеющие в своем распоряжении собственный склад ответственного хранения и квалифицированных сотрудников. Помимо процессов связанных с хранением, такие компании могут предложить услуги по транспортному обеспечению доставки товаров (грузов) конечному покупателю.

Логистические компании в рамках аутсорсинга могут организовывать для своих крупных клиентов распределительные, дистрибьюторные и логистические центры, обеспечивая клиентов всем необходимым с точки зрения транспортных, складских и логистических составляющих организации бизнес-процессов, связанных с реализацией продукции.

Рассмотрим поиск альтернативного существующему варианту организации ответственного хранения в интеграции с логистическими процессами для сыпучих пылевидных грузов, таких как добавки к цементу, на примерах технического задания (ТЗ) и соответствующего коммерческого предложения складских услуг в интеграции с логистическим циклом.

Техническое задание следующее:

- 1) Груз: сухие строительные сыпучие смеси;
- Ответственное хранение;

Максимальный объем хранения – 1000 пал/мес (1200x1000x1500 мм);

Средний объем – 700 пал/мес;

2) Артикулов всего – 12; Наиболее часто – 5-6;

Вес – 1,4 т с мешками, 1-1,2 т с биг-бэгами;

3) Приходит – контейнер 20'DC – механизированная выгрузка, в среднем 20-22 контейнера в мес.;

Уходит – тент, паллеты не распалечиваются; цементовоз;

4) Класс склада С (возможно В, В+), неотапливаемый, сухой, крытый, любой темп.режим;

5) Условия хранения груза – FIFO;

6) Хранение – 12 р/пал. мест/сут.; ПРР – 160-180 руб/пал в одну сторону;

7) Хранение допустимо не более чем в 4 яруса;

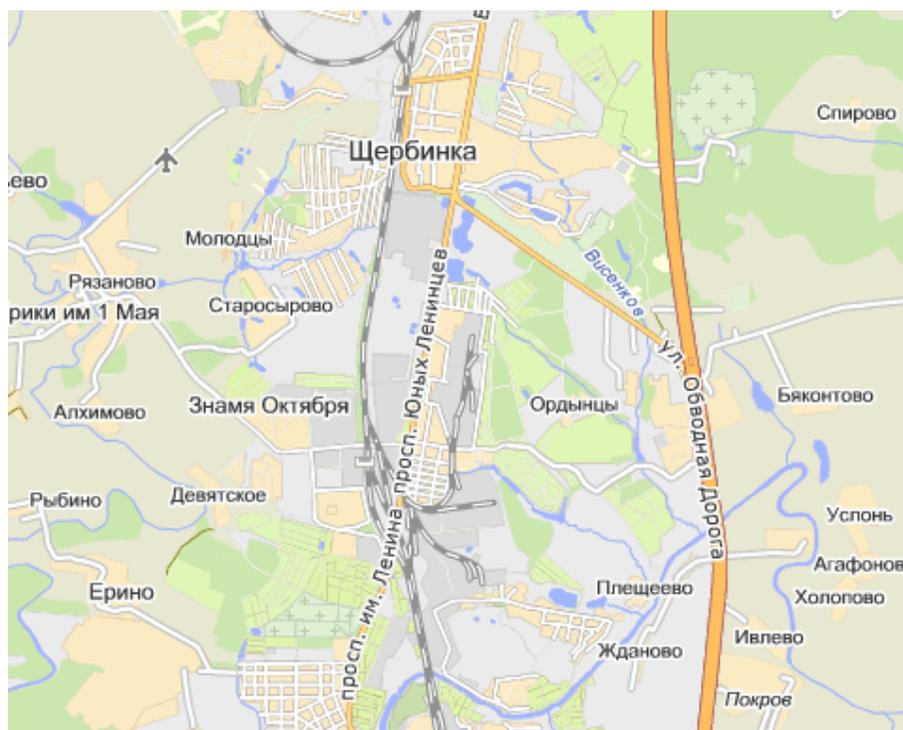
8) Местоположение: окраина города Москва, Московская область в районе Одинцово (расположение текущего складского комплекса), рассматривать возможно по следующему радиусу: на запад до города Красногорск, на Восток до городского округа Домодедово;

9) Техническая возможность отгрузки груза насыпью в цементовозы: Наличие кран-балки, наличие подъездных путей на территорию крытого склада для цементовозов под кран-балку.

Вариант коммерческого предложения:

Логистическая компания – 3pl-провайдер предлагает комплексные услуги ответственного хранения Вашего груза на территории складского терминала Склад-Сервис-Гарант «класс С», расположенного по адресу: г. Москва, г.Щербинка. Удаление от МКАД 12 км. Склад предоставляет услуги ответственного хранения грузов различной номенклатуры.

Местоположение складского комплекса:



Технические характеристики склада:

- сухой неотапливаемый крытый склад;
- огороженная территория;
- охрана;
- видеомониторинг;
- вакантная площадь: до 5 000,00 м².
- высота потолков: 12,0 м.;
- кран-балка: до 4,5 тн.;
- мобильная /передвижная рампа/;

- пол: бетон;
- погрузчики 1,5 и 2 т (4 шт);
- наличие подъездных железнодорожных путей;
- кросс-докинг.

Таблица 1

Ставки услуг ответственного хранения

Наименование услуг	Тарифы / руб. вкл. НДС
Хранение: минимальная емкость резервации 500 п/м	12,00 руб. п/м в сутки
Погрузо-разгрузочные работы/механика	180,00 руб. 1 п/м в одну сторону
Погрузо-разгрузочные работы/ручные	10,00 руб. 1 мешок в одну сторону
Обработка Биг-бэг /погрузка в цементовоз россыпью с утратой целостности тары/	350,00 руб. 1 биг-бэг
Условия хранения	FIFO

По согласованию с Заказчиком производятся иные работы.

Склад расположен в удобном доступном месте на пересечении крупных автомагистралей и оживленных ж/д путей. Современное техническое оснащение позволяет поддерживать на складе необходимые условия для организации ответственного хранения с оказанием полного спектра сопутствующих услуг:

- надежное надлежащее хранение груза с соблюдением заданных потребителем параметров;
- погрузо-разгрузочные работы;
- учет и контроль поступления и отправки груза, возможность загрузки и отправки цемента как цементовозами навалом, так и паллетами в ж/д вагонах;
- соблюдение необходимых условий хранения груза и т.д.

Склад работает ежедневно, кроме выходных и официальных праздничных дней, с 8⁰⁰ – 17⁰⁰, по пятницам до 15⁰⁰. Въезд автомашин на территорию складского комплекса прекращается за тридцать минут до окончания времени работы складов.

Характер оказания услуг ответственного хранения:

- 1) Учет движения груза производится в информационной системе 1С Склад;
- 2) Время на выполнение операции по разгрузке одного контейнера 40' – 1ч;
- 3) Время на выполнение операции по загрузке цементовоза – до 2.5ч;
- 4) Склад готов разгружать одновременно 1 контейнер (в дальнейшем с течением времени возможна организация разгрузки 3 контейнеров одновременно).

На рис. 1–4 показаны фотографии основных складских мощностей предлагаемого складского комплекса.



Рис. 1. Склад. Вид изнутри

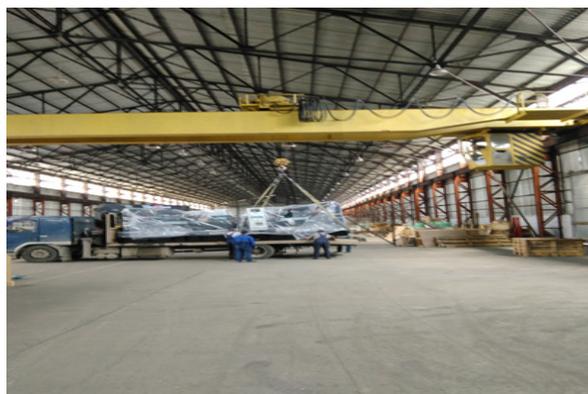


Рис. 3. Кран-балка



Рис. 4. Складской погрузчик

Экономическое обоснование по отношению к транспортной составляющей предлагаемого альтернативного складского комплекса, с точки зрения изменения расположения представлено в виде сравнения по основным показателям в табл. 2; 3.

Таблица 2

Сравнительный анализ цен на перевозку из г. Одинцово и г. Щербинка в тентах на склады покупателей

Тенты (19.6-21т)	Одинцово		Щербинка	
	км	руб.	км	руб.
Коломна	160	16010	120	13560
Ольховка	90	10690	70	10500
Подольск	80	10690	10	9600
Ногинск	110	13560	100	12330
Красногорск	50	9920	60	10500
Колонтай	110	16325	80	11900
Волжский	1000	37280	960	35790
Челябинск	2100	72030	1800	61740
Ульяновск	900	41100	870	39730
ИТОГО	4600	227605	4070	205650

Вывод по табл. 2: экономия – 22 000 р./партия.

Таблица 3

Сравнительный анализ цен на перевозку из г. Одинцово и г. Щербинка в цементовозах на склады покупателей.

Цементовозы	Одинцово		Щербинка	
	Км	руб/т	км	руб/т
Егорьевск	120	1000	130	1000
Ступино	130	1000	85	850
Арзамас	550	1850	570	1920
Полевской	2000	6730	1900	6390
ИТОГО	2800	10580	2685	10160

Вывод по табл. 3: экономия – 420 р./т.

Рассмотрим также перевозку остаточного количества груза при перемещении хранения со склада в Одинцово на склад в Щербинке. Перевозка 500 т цемента в мешках и биг-бэгах со склада в

Одинцово на склад в Щербинке может быть осуществлена 25 контейнерами по 20 тонн на каждый. Общая стоимость перевозки составит 250 000 р.

Таким образом рассмотрен пример коммерческого предложения, которое для потребителя логистических услуг потенциально может повлиять на повышение коммерческой выгоды от реализации товара не только с точки зрения удовлетворения потребностей по ТЗ, но и с точки зрения затрат на логистику в целом.

Библиографический список

1. *Гаджинский А. М.* Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика. М.: Проспект, 2005. 176 с.

2. *Никифоров В. В.* Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок. М.: ГроссМедиа, 2008. 192 с.

3. *Бауэрсокс Д. Дж.* Логистика. Интегрированная цепь поставок. М.: Олимп-Бизнес, 2005. 640 с.

4. *Волгин В. В.* Склад: логистика, управление, анализ. М.: Дашков и Ко, 2009. 736 с.

УДК 656.7.025

Н. Д. Лепешкина

студент кафедры системного анализа и логистики

С. А. Андронов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИЛУЧШИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В АЭРОПОРТУ ПУЛКОВО ПО КРИТЕРИЮ ТОЧНОСТИ

Введение

Задача прогнозирования временных рядов является одной из ключевых не только в экономике, но также в финансовом планировании, управлении, оптимизации объемов производства и контроля на складах. В любой области деятельности, которую можно связать с наблюдениями и измерениями, установленными во времени можно применить методы прогнозирования временных рядов.

С каждым годом мобильность населения увеличивается, растет так же и пассажиропоток. В последние годы число обслуживаемых пассажиров в аэропорту Пулково бьют рекордные показания. В 2019 г. было реализовано несколько проектов по расширению парковочных мест и расширению парковочной части на выезде из зон прибытия, а также открылась новая долгосрочная парковка.

Для повышения эффективности работы аэропорта важен прогноз пассажиропотока. Сотрудникам и аналитикам нужно знать и просчитывать, на какой процент каждый год возрастает пассажиропоток, чтобы в то же самое время они могли увеличить количество рейсов, а также увеличить максимальную взлетную массу воздушных судов.

Исходя из прогноза пассажиропотока, рассчитывается количество авианаправлений как внутри страны, так и международные перелеты. Составляется расписание вылетов и прилетов с учетом запроса пассажиров в разные периоды года. Учитывается количество перевозимого багажа и соответственно рассчитывается количество руководящего и обслуживающего персонала аэропорта. С учетом прогноза развивается вся структура аэропорта, рассчитывается инвестиции в развитие. Упорядоченная и четкая работа всех зон аэропорта, оказание качественных бытовых услуг, рентабельность авианаправлений напрямую зависят от прогноза пассажиропотока.

Таким образом, задача прогнозирования пассажиропотока аэропорта направлена на повышение его пропускной способности и качества обслуживания пассажиров.

В качестве объекта исследований был выбран аэропорт Пулково и динамика пассажиропотоков на внутренних и международных направлениях. Было разработано несколько моделей прогнозирования временных рядов пассажиропотока в аэропорту Пулково: метод Винтерса, ARPPS авторегрессионной скользящей средней и так же нейросеть. Эти исследования проводились при использовании программы STATISTIC.

Прогнозирование временных рядов заключается в построении модели для предсказания будущих событий основываясь на известные события прошлого, предсказания будущих данных до того, как они будут измерены.

Основная часть

Этапы разработки прогноза:

1. Предпрогнозное направление, программа исследования. Сформулировать задачи прогноза (выявить объект исследования, период времени), поставить конкретные цели, задачи, выявить проблемы исследования, а так же определить методы решения данных проблем.

2. Путем системного анализа построить исходную модель.

3. Собрать данные различными методами исследования, построить динамические ряды показателей.

4. Сделать сравнение на основе соотношения старых данных с новыми полученными данными. В случае ухудшения прогноза повторить данный цикл. В случае улучшения прогноз должен быть таким же непрерывным, как управление и дать более эффективный результат.

Нейросетевые модели

Согласно работе [1] нейронные сети – модели биологических нейронных сетей мозга, где нейроны моделируются простыми искусственными нейронами. Искусственный нейрон – аналогия биологического нейрона, формирующий выходной сигнал, зависящий от попадающих сигналов на его входы. Положение нейрона можно определить, сложив его входы:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + w_0 \quad (1)$$

где w_0 – коэффициент смещения нейрона (порог); w_i – вес синапса; x_i – входные сигналы.

Нейронные сети демонстрируют структуру нейронов, которые образуют слои. В каждом слое нейроны между собой не взаимодействуют, но взаимодействуют с нейронами предыдущего и последующего слоя. Данные передаются по последовательности: с первого на второй слой, со второго на третий и т. д. Число слоев и нейронов отвечают за верность исследования (решение получается более верным, если в сети будет больше слоев и нейронов). Но, перезагружать сеть нельзя, так как можно уменьшить производительность и увеличить сложность модели.



Рис. 1. Прогноз с помощью нейронных сетей

Экспоненциальное сглаживание (Метод Хольта – Винтерса)

Для того чтобы применить данный метод нужно найти условия, которые будут использоваться в начале: $L_{t-1}, T_{t-1}, S_{t-s+p}$. Также найти параметры сглаживания α, γ, δ которые должны удовлетворять условиям:

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

$$0 \leq \gamma \leq 1$$

$$0 \leq \delta \leq 1$$

Модель Хольта – Винтерса (либо экспоненциальное сглаживание с тремя параметрами), изображающими тренд и сезонность, содержит четыре уравнения [2]:

- сглаживание исходного ряда:

$$L_t = \alpha \frac{y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2)$$

- сглаживание тренда

$$T_t = \delta \frac{y_t}{L_t} + (1-\delta)S_{t-s} \quad (3)$$

-оценка сезонности (значение тренда)

$$S_t = \delta \frac{y_t}{L_t} + (1-\delta)S_{t-s} \quad (4)$$

- прогноз на p периодов вперед

$$y_{t+p}^* = (L_t + pT_t)S_{t-s+p} \quad (5)$$

где L_t – сглаженное значение ряда; α – параметр сглаживания данных; y_t – фактическое значение показателя для периода t ; γ – параметр сглаживания для оценки сезонности; S_t – оценка сезонности; p – количество периодов, на которые строится прогноз.

Согласно работе [3] данный метод способствует построить прогнозы на длительные отрезки времени. Данный прогноз должен получиться наиболее точным, так как он использует разные факторы прогнозирования.

Применение данного метода:

- стратегическое планирование: использование тренда способствует рассмотреть поднимающую или падающую динамику анализируемого события.
- оперативное планирование: полученная сезонная компонента способствует сообщить о нормальном распределении величин по месяцам по расположению к данной динамике.
- тактическое планирование: применяется при обнаружении высоких спадов и при выявлении крупных спадов и подъемов своевременно.

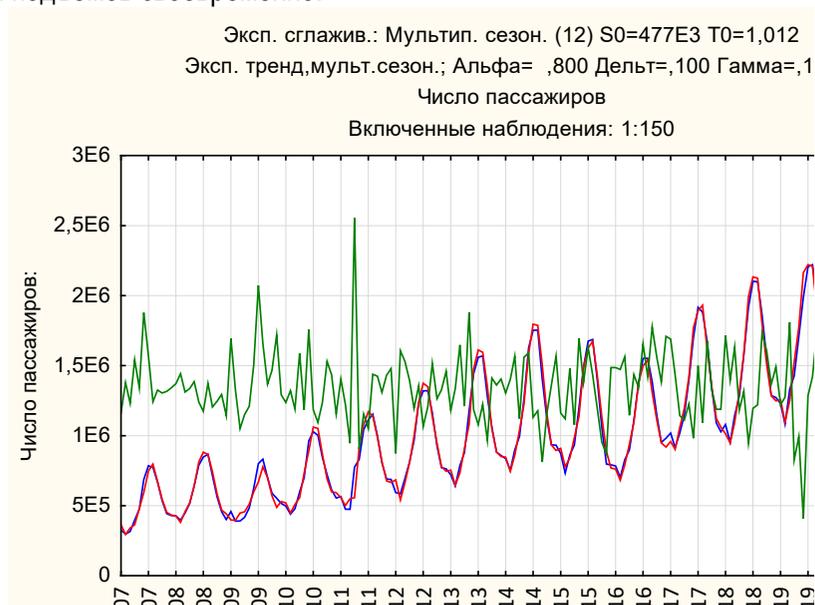


Рис. 2. Прогноз методом Хольта – Винтерса

Модель ARIMA

Если наш ряд является нестационарным, то использует другая модель – модель Бокса Дженкинса – ARIMA. Единственным различием данной модели от ARMA заключается в том, что в ней рассматривается приращение Δ^d . Основным отличием формулы модели ARIMA от формулы ARMA заключается в приращении ряда:

$$\Delta^d = c + \varepsilon_k + \sum_{i=1}^p a_i \cdot x_{k-i} + \sum_{i=1}^q b_i \varepsilon_{k-i} \quad (6)$$

где Δ^d – оператор разности временного ряда d ; c, a_i, b_i – параметры модели.

Данная модель считается расширенной моделью ARMA нестационарных временных рядов, которые можно преобразовать в стационарные благодаря разности порядков от начального ряда.

Выбор модели происходит в несколько этапов:

- идентификация модели – этап нахождения модели, которая наиболее хорошо подходит для нашего рассматриваемого процесса;
- оценка модели – применение регрессионного метода для выявления оценок параметров, включенных в модель;
- тестирование модели – исследование главных предпосылок применения регрессионного анализа, исследование нормальности модели с использованием различных тестирований;
- применение модели в прогнозировании.

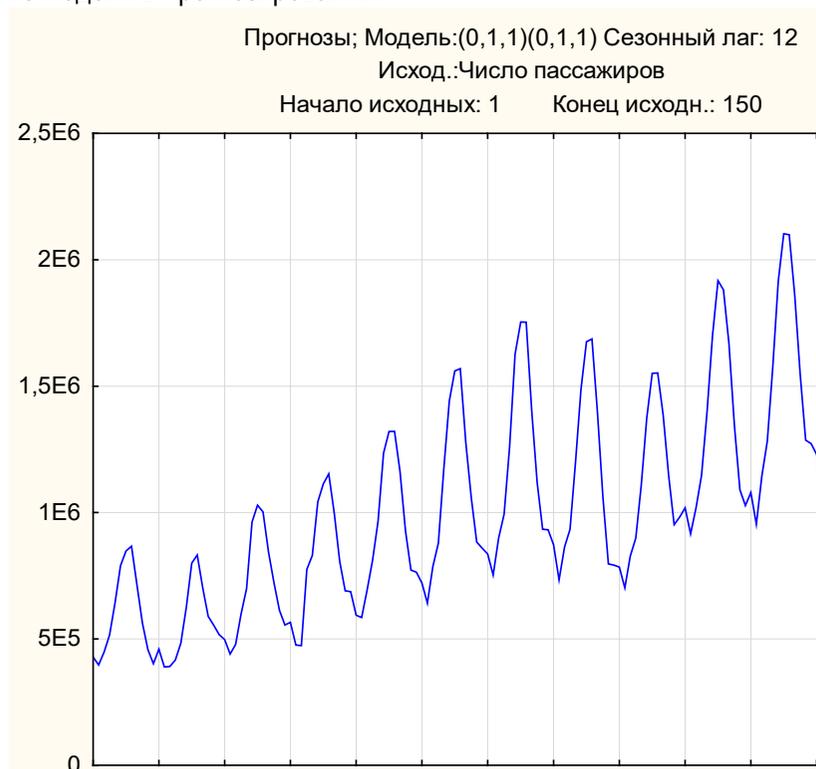


Рис. 3. Прогноз методом ARIMA

Таблица 1

Ошибки прогноза

Месяц	Фактический пассажиропоток	Нейросеть (12x6x1)	Винтерс (альфа = 0,8 Дельта = 0,1 Гамма= 0,1)	ARIMA
Июль 2019	936759	935459	991705	932571
Август 2019	954181	926692	965915	947730
Сентябрь 2019	852546	829145	829420	860759
Октябрь 2019	670981	632753	621959	700016
Ноябрь 2019	424519	450751	450012	571753
Декабрь 2019	404131	432624	413315	429116
Ошибка прогноза		1,7 %	2,6 %	1,6 %

По табл. 1 наблюдаем, что во всех трех методах ошибки не такие большие. Но самая минимальная ошибка получилась в модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (ARIMA).

Заключение

В ходе работы были построены последовательные этапы разработки прогноза. Выявили, что процессы, которые необходимо предсказать на какой-то определенный промежуток времени можно осуществить, опираясь на временные ряды. Представлено несколько моделей и методов прогнозирования временных рядов. Вычислили ошибки прогноза пассажиропотока в аэропорту Пулково на 6 месяцев по всем трем методам. Выбрали наилучшую модель прогнозирования по средней ошибке.

Библиографический список

1. *Лыцзов Н. А., Мартышкин А. И.* Нейронные сети: применение и перспективы // Научное обозрение. Педагог. науки. 2019. № 3-2. С. 35–38.
2. *Андронов С. А.* Компьютерная обработка результатов эксперимента: лабораторный практикум. СПб.: ГУАП, 2020. 125 с.
3. *Поздняков А. С.* Применение метода Хольта-Винтерса при анализе и прогнозировании динамики временных рядов. URL: <https://docplayer.ru/85132773-Primenenie-metoda-holta-vintersa-pri-analize-i-prognozirovanii-dinamiki-vremennyh-ryadov.html> (дата обращения: 15.04.2019).

УДК 656.025.2

М. С. Лесников

студент кафедры системного анализа и логистики

Н. Н. Майоров – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПО ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ЗАГРУЖЕННОСТИ МАРШРУТА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Роль моделирования при исследовании транспортных процессов Мегалополиса

В настоящее время остро стоит проблема управления транспортными потоками, особенно в больших городах. С увеличением количества транспортных средств возросла нагрузка на городские дороги, что привело к появлению пробок, затруднению передвижения пешеходов, увеличению количества аварий.

Моделирование является основным и научно обоснованным методом исследования характеристик сложных систем, в частности транспортных.

Общая характеристика транспортного процесса

Транспортный процесс – процесс перевозки груза и пассажиров.

Транспортное пространство – пространство, обустроенное для осуществления движения транспортных объектов.

Транспортная продукция – результат выполнения работы по доставке груза или пассажира в пункт назначения.

Транспортная система – комплекс различных видов транспорта, путей сообщения, транспортной инфраструктуры, находящихся во взаимодействии [1].

Транспортная техника – совокупность технических средств, с помощью которых осуществляется транспортный процесс.

Для работы с транспортными процессами принято делить их на уровни планирования (рис. 1):

1. Микроскопический – Решение задач на уровне отдельных транспортных узлов;
2. Мезоскопический – Решение задач транспортной системы в определенных заданных рамках;
3. Макроскопический – Решение задач на уровне взаимодействия транспортных систем[2].

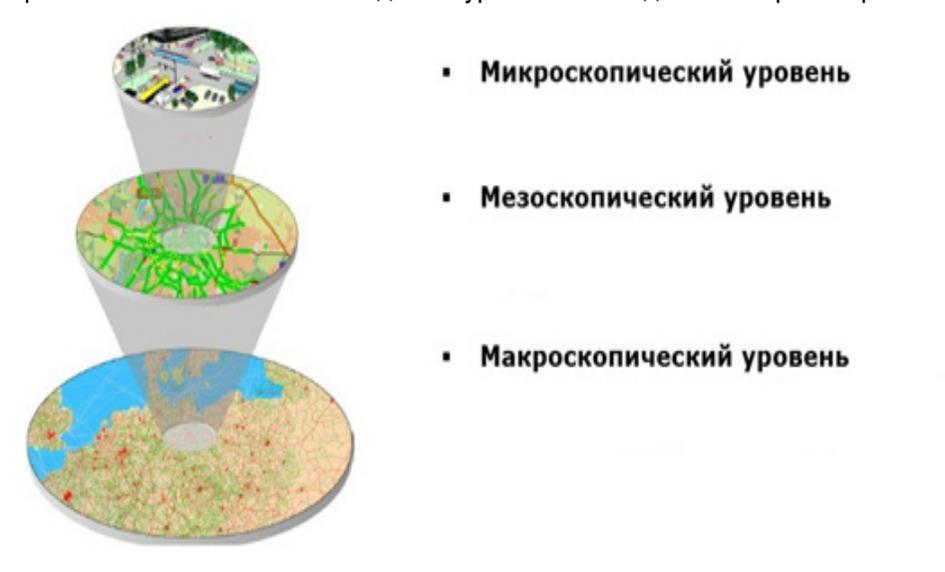


Рис. 1. Уровни планирования на транспорте

В данном случае рассматривается микроскопический уровень планирования.

Имитационное моделирование

Имитационное моделирование – универсальное средство исследования сложных систем, представляющее собой логико-алгоритмическое описание поведения отдельных элементов системы и правил их взаимодействия [3].

На рынке существуют программы, для решения транспортных задач, как микро-, так и макро-моделирования. Это сложные системы, предназначенные для решения комплексных проблем касающихся управления и распределения трафика.

Рассмотрим один из таких программных продуктов.

AnyLogic – программное обеспечение, предназначенное для имитационного моделирования, разработанное российской компанией TheAnyLogicCompany (бывшая «XJ Technologies»). Обладает удобным графическим интерфейсом, большим набором инструментов для моделирования и позволяет использовать язык программирования Java.

Продукт поддерживает следующие методы моделирования:

- Системная динамика;
- Дискретно-событийное (процессное) моделирование;
- Агентное моделирование.

Принцип построения модели в программе Anylogic

В качестве примера рассмотрен троллейбусный маршрут № 22 города Санкт-Петербург. Маршрут проходит от ул. Хасанской до пл. Труда. Часть маршрута приведена на рис. 2.

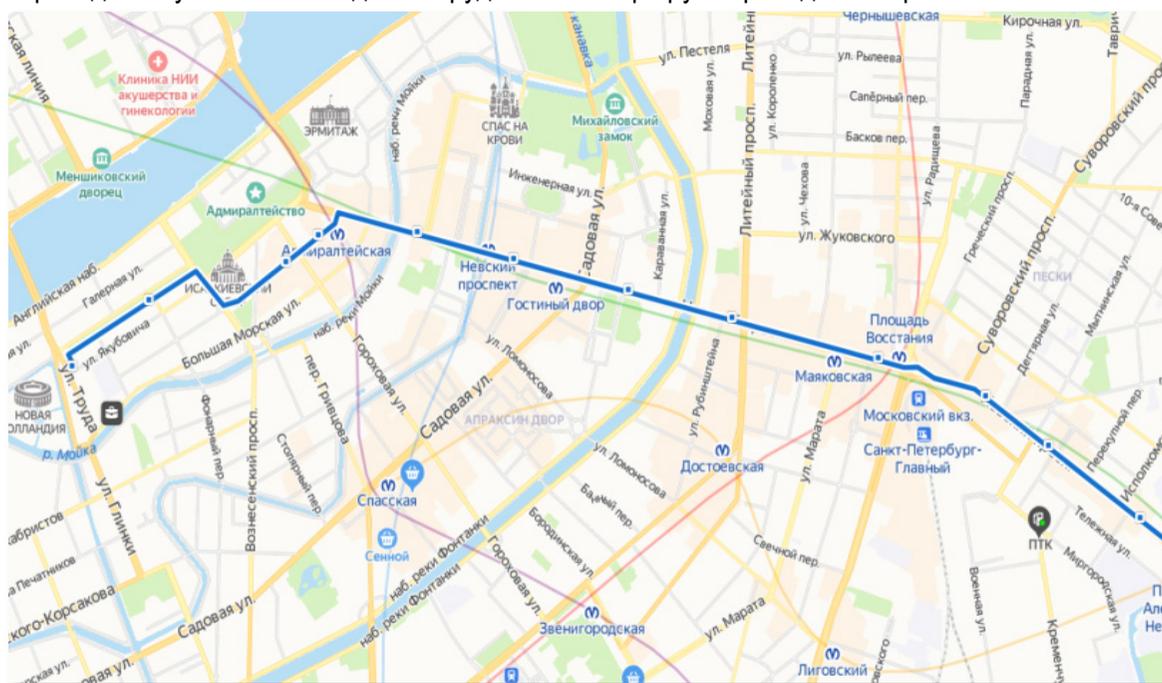


Рис. 2. Часть троллейбусного маршрута № 22

Элементами AnyLogic, с помощью которых осуществляется построение моделей, являются активные объекты, которые позволяют моделировать любые объекты реального мира.

Для создания имитационной модели маршрута городского пассажирского транспорта применено агентное моделирование. Агентное моделирование – это метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом.

Под агентом в агентном моделировании понимается элемент модели, который может иметь поведение, память, контакты [4].

Агентами в данной модели являются транспорт и пассажир. Им присвоены параметры соответственно: Вместимость (для транспортного средства) и остановка (для пассажира).

Модель условно можно разделить на три части:

- Организация движения самого транспортного средства по маршруту.
- Присвоение пассажиру параметра определяющего пункт его назначения.
- Сбор статистики.

Движение транспортного средства построено с помощью следующих элементов

Source – создает заявки в настраиваемые моменты времени (в случае с общественным транспортом в соотв. с графиком).

Queue – создает очередь из заявок.

Conveyor – перемещает заявки по заданному пути.

Delay – создает задержку перед отправкой, в данном случае задается треугольным распределением.

Pickup – Забирает агентов из заданной очереди и добавляет их к содержимому агента-контейнера (тр. средства).

Dropoff – Удаляет избранного агента из агента-контейнера. В данном случае производится проверка параметра, определяющего пункт назначения пассажира.

Sink – Уничтожает поступивших агентов.

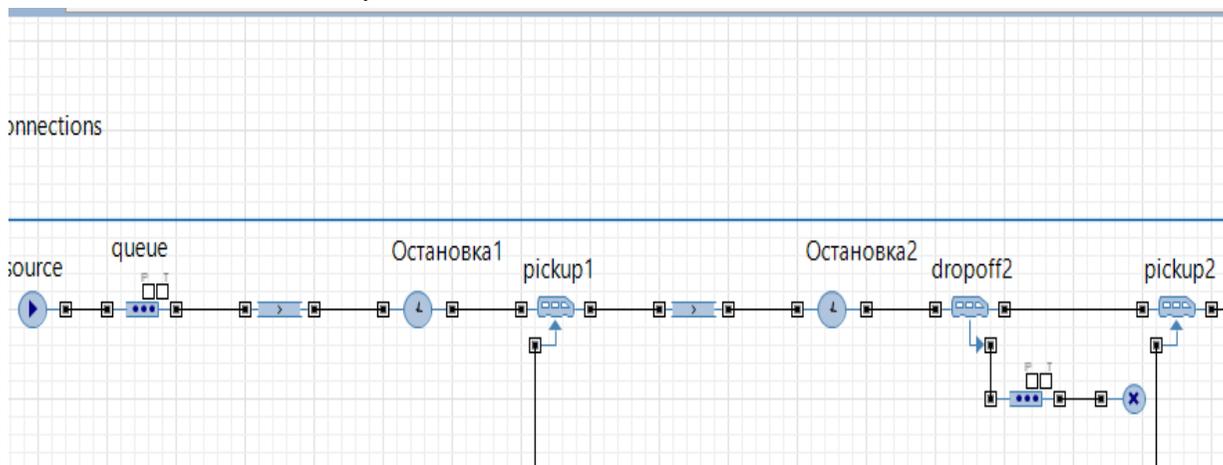


Рис. 3. Схема организация движения транспортного средства в программе Anylogic

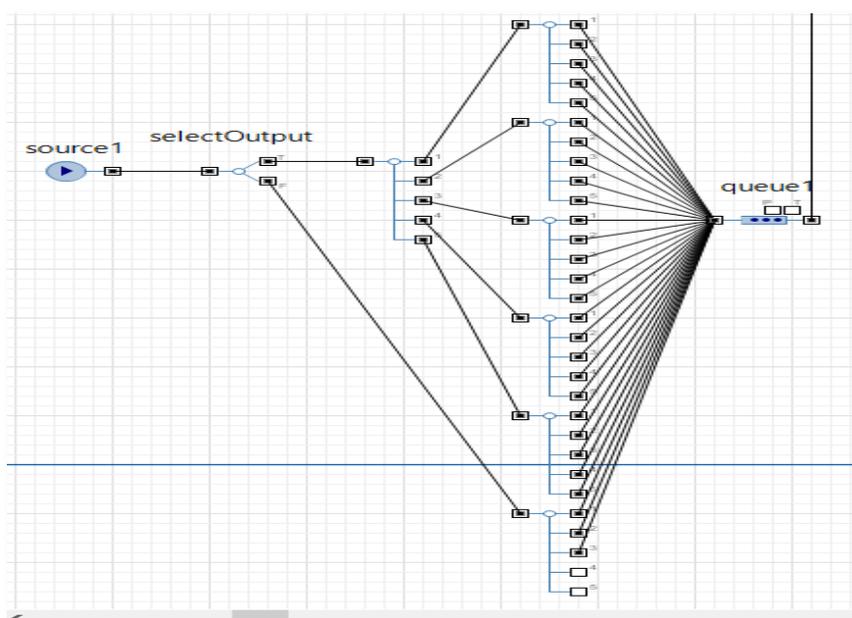


Рис. 4. Схема определение пункта назначения отдельного агента

Для присвоения параметра пассажиру используется следующая схема.

Задается источник заявок Source.

Далее с помощью элементов Selectoutput с равной вероятностью агенты распределяются по выходам, количество которых соответствует количеству остановок в прямом направлении движения.

На выходе каждому отдельному агенту присваивается значения параметра, определяющего пункт назначения пассажира.

Затем агенты с помощью элемента Queue выстраиваются в очередь и забираются элементом Pickup (рис. 4; 5).

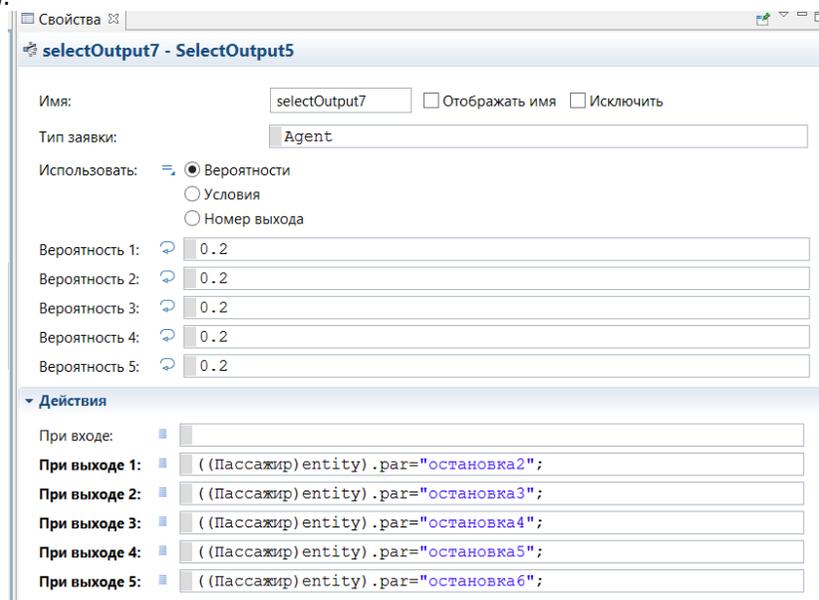


Рис. 5. Окно настройки элемента SelectOutPut

Статистика моделирования

Статистика моделирования позволяет определить наличие проблем на любом участке заданного маршрута, и, на основании этих данных, разработать план по его улучшению и оптимизации.

В данном случае определяются как отношение свободных мест в транспортном средстве к его вместимости.

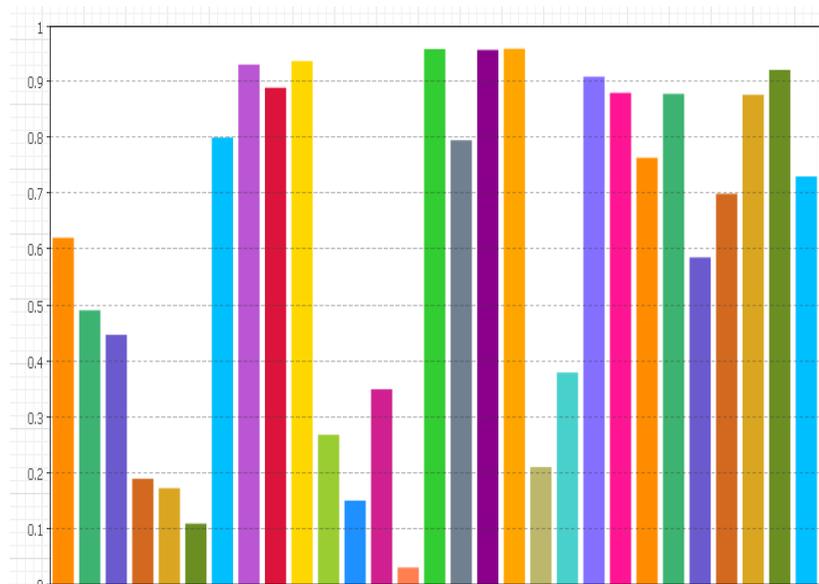


Рис. 6. Статистика моделирования

Заключение

Моделирование движения транспортных потоков на микроуровне дает возможность спрогнозировать вероятные транспортные ситуации, выявить возможные проблемы в организации движения городского пассажирского транспорта.

На основании созданной модели можно определить степень загруженности маршрута городского пассажирского транспорта на каждом отдельном его участке, что, в дальнейшем, позволяет разработать план по решению проблем на данном маршруте.

Библиографический список

1. *Якимов М. Р.* Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2011. 175 с.

2. *Майоров Н. Н., Фетисов В. А.* Практические задачи моделирования транспортных систем: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2012. 185 с.

3. *Алиев Т. И.* Основы моделирования дискретных систем: учеб. пособие. СПб.: Санкт-Петербург. гос. ун-т информационных технологий, механики и оптики, 2009. 363 с.

4. Справка Anylogic. URL: <https://help.anylogic.ru/index.jsp?topic=%2Fcom.Anylogic.help%2Fhtml%2Fcode%2FGeneral.html> (дата обращения: 20.04.2019).

УДК 656.025.4

О. С. Молчанова

студент кафедры системного анализа и логистики

Н. А. Слободчиков – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗ ГЕРМАНИИ В РОССИЮ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Введение

Современное развитие мировой фармацевтической отрасли, характеризуется ее крайне неравномерным территориальным размещением. Инновационно-развитую фармацевтическую промышленность имеют только экономически развитые страны. Почти 82 % мирового фармацевтического производства приходится на страны Европейского Союза (Германия, Бельгия, Франция), США и Японию. Согласно данным Всемирной торговой организации на 2018 год Германия является крупнейшим мировым экспортером фармацевтической продукции, следом идут Швейцария, США, Бельгия и Ирландия.

В настоящее время, когда по всему миру вспыхнула коронавирусная инфекция, именно в странах, имеющих развитую фармацевтическую деятельность, проводятся клинические исследования вакцины против COVID-2019. В сложившейся ситуации, во время Всемирной пандемии, где бы не была создана вакцина: в России или за границей, завершающим звеном будет непосредственно доставка разработанного лекарственного средства (ЛС) до медицинских или аптечных учреждений любого государства.

На протяжении всей жизни граждане нашей страны проходят процедуру профилактической вакцинации согласно Национальному календарю. Данные процедуры проводят в государственных больницах и поликлиниках, а также в специальных учреждениях: например, авиационный персонал проходит данную процедуру в медицинских учреждениях гражданской авиации (ГА), где строго следят за состоянием их здоровья. Причиной выделения этому большому внимания в ГА, а особенно в международной ГА, является то, что экипаж воздушного судна (капитан и другие лица летно-подъемного состава, а также обслуживающий персонал), совершая внутренние и международные рейсы, подвержен большому риску подхватить заболевание.

В данной работе рассматривается развозка с call-центра Москвы лекарственных средств до следующих медицинских учреждений гражданской авиации: Москва «Центральная клиническая больница гражданской авиации», Санкт-Петербург «Медико-санитарная часть Санкт – Петербургского государственного университета гражданской авиации», Красноярск «Красноярский авиационно-спасательный центр», Ульяновск «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева».

Основная часть

Лекарственные средства – это вещества или их комбинации, которые проникают в ткани или органы человека и контактируют с его организмом. Целебные свойства препаратов применяются для диагностики, профилактики, лечения заболеваний различной степени тяжести.

Перевозка ЛС – одна из самых непростых в области грузоперевозок, поскольку процесс перевозки данного вида груза в различных лекарственных формах связан с трудностями организации, повышенными требованиями к перевозке, соблюдением особых условий, как законодательства Российской Федерации, так и заказчика. К данному виду перевозимого груза предъявляют очень строгие требования, связанные с температурным режимом, влажностью, целостностью упаковки, временем доставки, а также к санэпидемсостоянию самих транспортных средств. Нарушение правил и условий перевозок может привести к потере свойств многих лекарств.

В данной работе рассматривается перевозка годовой партии вакцин из Германии в Россию, равной 160 тоннам, и развозка по медицинским учреждениям гражданской авиации годовой партии вакцин, равной 40-ка тоннам.

Вакцина является очень дорогим препаратом и при организации перевозки вторым важным правилом является доставка груза за минимальное время и по возможности за минимальные деньги.

Вакцины — это препараты, которые содержат антиген и применяются для создания в организме искусственного активного иммунитета (противогриппозные вакцины и вакцины от инфекционных и вирусных болезней). Вакцины требуют соблюдения определенного температурного режима транспортировки и хранения, нарушение которого приводит к непригодности препарата.

«Правила доставки вакцин прописаны в постановлении санитарной комиссии «Условия транспортирования и хранения иммунобиологических лекарственных препаратов»» [1]. Согласно этому документу, существует три уровня температурного режима препаратов:

- Первый уровень – доставка от организации-изготовителя до конечного пункта (как правило, центральный склад), включая этап таможенного оформления;
- Второй уровень – хранение на оптовом складе и доставка до медицинских и аптечных организаций;
- Третий уровень – хранение в медицинских и аптечных учреждениях.

Температурные перевозки ЛС требуют поддержания определенной температуры в изотермическом транспортном модуле. Согласно постановлению санитарной комиссии вакцины должны перевозиться и храниться при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже или при температуре в пределах от $+2$ до $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ включительно с допущением последующей заморозки. Транспортировка вакцин осуществляется с помощью холодной цепи, включающей в себя все мероприятия, направленные на доставку и хранение груза.

Вакцины перевозят в медицинских изотермических термоконтейнерах (ТК), которые укладываются в гофрированный картон, на который наносится маркировка. Размеры изотермических ТК и соответствующих им гофрированных картонов различны и представлены на рис. 1.



Рис. 1. Размеры упаковочных материалов для перевозки вакцин

Для транспортировки ЛС используются специализированные изотермические транспортные модули, на которые необходимо оформлять санитарный паспорт, со специальным оборудованием – рефрижераторными установками, датчиками температуры, системой слежения. Загруженные транспортные модули подлежат обязательному пломбированию.

В данной работе рассматриваются три способа перевозки вакцин из Германии в Россию: автомобильным транспортом – в полуприцепе рефрижераторе Wielton с седельным тягачом MAN TGX 18.440 (рис. 2, а); воздушным транспортом – в реф. Авиаконтейнере LD-3 на широкофюзеляжном пассажирском самолете Boeing 777-200 (рис. 2, б); морским транспортом – в 40-ка футовом рефрижераторном контейнере Thermo King Magnum Plus MP4000 на контейнерном судне CONTAINERSHIPS NORD (рис. 2, в).



а) Полуприцеп рефрижератор Wielton



б) Авиаконтейнер LD-3-рефрижератор



в) Рефрижераторный контейнер 40 футов

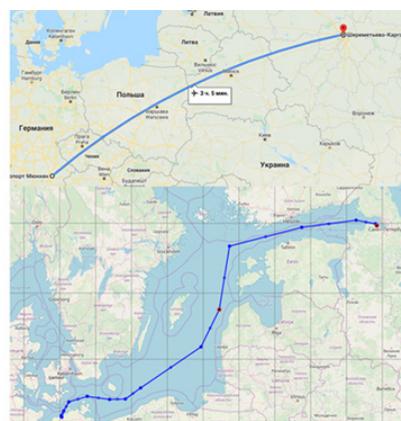
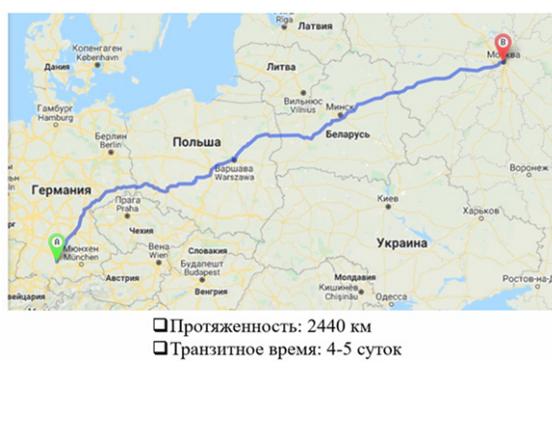
Рис. 2. Транспортные модули для перевозки лекарственных средств

Основные правила транспортировки лекарственных препаратов согласно ФЗ 61 и ГОСТ 17768-90:

1. Лекарственные средства, которые нужно хранить при определенной температуре, транспортируют в соответствии с правилами транспортировки температурных грузов;
2. Лекарственные средства должны транспортироваться в упаковке завода-изготовителя, с инструкциями.
3. Лекарственные средства, выпускаемые без упаковки, должны находиться в специальной для транспортировки таре.
4. При транспортировке доступ к медпрепаратам запрещен и должен быть невозможен.
5. Документы на медикаменты должны быть в полном порядке. Это и договор с производителем/поставщиком, техдокументация, и т. п.

Существующая перевозка представляет собой автомобильную перевозку через 2 страны: Польша и Белоруссия. Единое доверенное таможенное пространство существует между Германией и Польшей, а также между Россией и Белоруссией. Автомобильному транспорту необходимо пересечь 1 таможенный пост и обязательно оформить груз на таможне. Груз доставляется до центрального склада в Москву, откуда после будет осуществляться развозка по медицинским учреждениям ГА на автомобильном транспорте.

Для ускорения процесса предлагается рассмотреть доставку воздушным транспортом и мультимодальную контейнерную перевозку. Главное отличие от автомобильной перевозки заключается в следующем: при перевозке на ВС сначала необходимо вакцины доставить на реф. полуприцепе до аэропорта, затем осуществить их перегрузку в авиаконтейнеры, по прилету в Россию провести обратные операции. При морской перевозке необходимо организовать доставку загруженного контейнера с помощью прицепа-контейнеровоза до порта Росток, осуществить перегрузку на судно и по прибытию в порт Бронка с судна, затем осуществить перевозку контейнера до Москвы.



Организация перевозки воздушным транспортом до call-центра в Москву

- Протяженность: 1926 км
- Транзитное время: 1-3

Организация мультимодальной контейнерной перевозки до центра в Москву

- Протяженность: 727 км
- Транзитное время: 1-3 ;

Рис. 3. Варианты перевозки ЛС из Германии в Россию

Развозка с call-центра Москвы по учреждениям ГА в существующей организации перевозки осуществляется на автомобильном транспорте. Для ускорения процесса доставки будет рассмотрен вариант развозки с использованием ВС, это позволит сократить транзитное время доставки, но при этом имеется необходимость осуществления доставки груза до аэропорта (и из аэропорта) и перегрузки груза из ТС в авиаконтейнер, и наоборот. Перегрузки подвергают возможности нарушения непрерывной холодильной цепи.

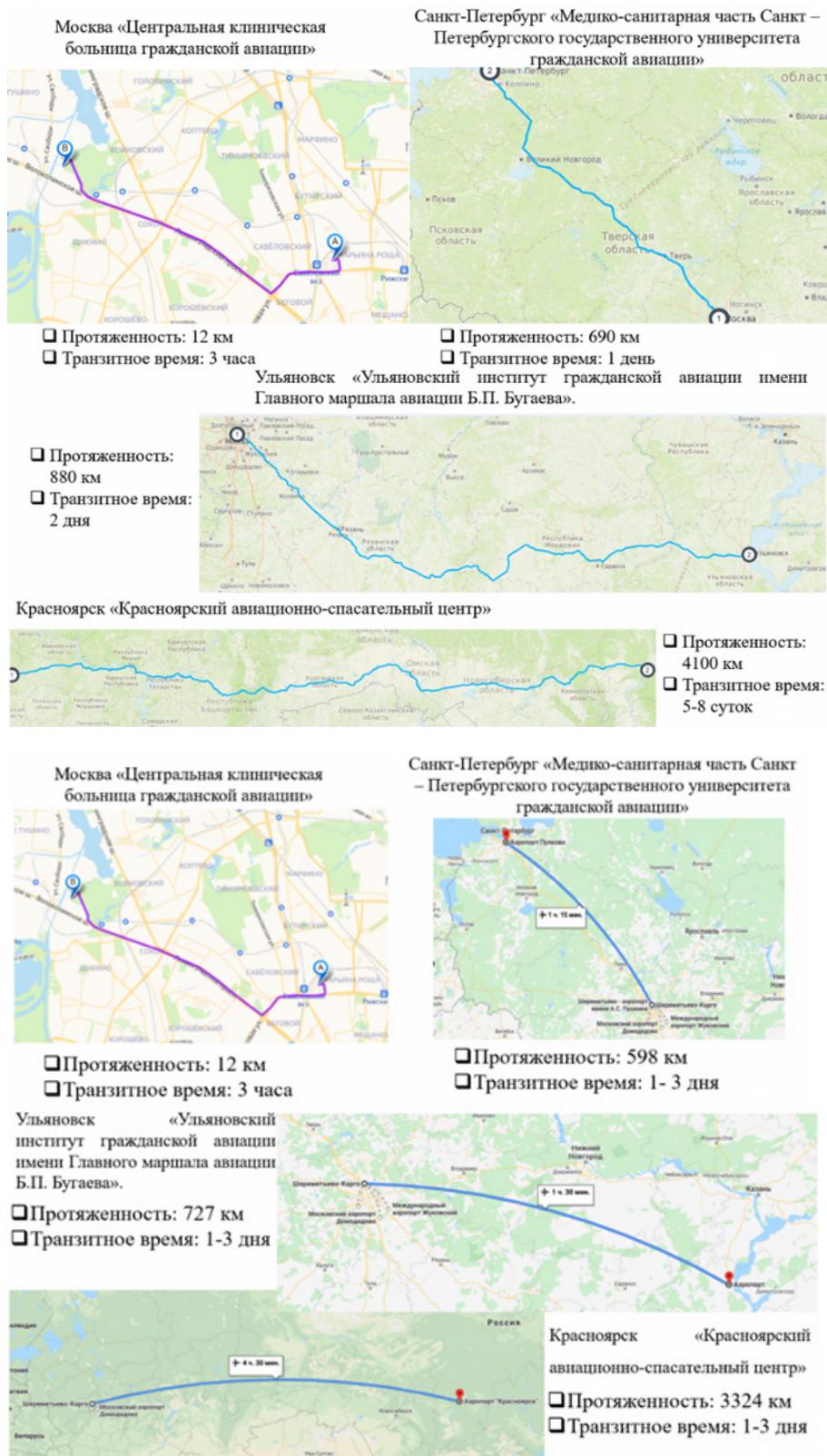


Рис. 4. Способы развозки ЛС по медицинским учреждениям ГА

Результаты расчетов для перевозки вакцин (160 тонн в год) из Германии в Россию представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные результаты использования маршрутов

Способ доставки из г. Иллер-тиссен Германия	Срок доставки	Количество отправок за год	Стоимость (рубли)
Автомобильным транспортом	4-5 суток	8 (полуприцепов реф. Wielton)	1 444 709
Воздушным транспортом	1-3 дня	10 отправок ВС по 32 авиаконтейнера	52 396 429
Мультимодальная доставка	5-8 суток	11 реф. контейнеров	2 883 090

Результаты расчетов для развозки вакцин (по 40 тонн в год) по медицинским учреждениям гражданской авиации представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение стоимости развозки по городам

Способ доставки из Москвы	Город назначения	Срок доставки	Количество отправок за год	Стоимость (рубли)
Автомобильным транспортом	Москва	3 часа	2 (полуприцепа реф. Wielton)	19 200
	Санкт-Петербург	Сутки		85 650
	Ульяновск	2 дня		138 142
	Краснодар	5 – 8 суток		594 838
				= 837 830
Воздушным транспортом	Москва	3 часа	3 отправки ВС по 27 авиаконтейнеров	19 200
	Санкт-Петербург	1–3		6 096 390
	Ульяновск	1–3		6 299 538
	Краснодар	1–3		8 737 314
				= 21 152 442

Таблица 3

Сравнение общей стоимости организации перевозки

Способ организации	Общая стоимость, р.
Маршрут 1. Автомобильная перевозка до call-центра в Москву, а дальше автомобильным транспортом по медицинским учреждениям гражданской авиации	3 539 287
Маршрут 2. Перевозка воздушным транспортом до call-центра в Москву, а дальше автомобильным транспортом по медицинским учреждениям гражданской авиации	53 234 259
Маршрут 3. Автомобильная перевозка до call-центра в Москву, а дальше воздушным транспортом по медицинским учреждениям гражданской авиации	22 736 351
Маршрут 4. Мультимодальная перевозка до call-центра в Москву, а дальше воздушным транспортом по медицинским учреждениям гражданской авиации	24 165 132

Сравнение общей стоимости всех предложенных вариантов организации перевозки вакцин показывает, что организация существующей перевозки лекарственных средств автомобильным транспортом (маршрут 1) является самой выгодной по цене, но при этом неспешной доставкой, именно

большое транзитное время общей доставки (включая развозку по городам) заставляет рассмотреть другие способы организации доставки.

Для сокращения сроков доставки вакцин были разработаны предложения по организации перевозки с использованием воздушного транспорта. Транспортировка воздушным транспортом является самым быстрым и самым дорогим средством доставки. Для получения не самых огромных цен за доставку перевозка воздушным транспортом была рассмотрена в комплексе с автомобильным транспортом, а также с мультимодальной контейнерной перевозкой, с целью ускорения процесса доставки лекарственных средств до учреждений гражданской авиации. Экономически выгодным является маршрут 3, где применение ВС позволяет сократить срок доставки вакцин до медицинских учреждений ГА.

Заключение

В ходе работы рассматривалась перевозка лекарственных средств в виде иммунобиологических лекарственных препаратов – это профилактические и лечебные вакцины, к которым предъявляются очень строгие требования, связанные с температурным режимом, влажностью, целостностью упаковки и временем доставки. Самое важно правило при транспортировке, хранении и перегрузке вакцин – это соблюдение непрерывной холодильной цепи с температурным режимом в пределах от +2 до +8 °С включительно с условием последующей заморозки или при температуре –20 °С и ниже. Срок годности вакцин, хранимых при минусовой температуре, тот же, что и хранимых при температуре от +2 до +8 °С. Отследить точность соблюдения условий, в которых находился груз во время дороги, позволяют терморегистраторы, все параметры и условия работы предоставляются в графическом или цифровом виде и служат документальным подтверждением правильности условия перевозки груза. Термоконтэйнеры, в которых перевозятся вакцины, должны быть герметичными, надежными и информативными. Разгрузка и загрузка термоконтэйнеров должна осуществляться в течение не более 10 мин.

С учетом всех моментов, описанных в работе, для альтернативного варианта доставки вакцин из Германии в медицинские учреждения гражданской авиации с применением воздушного транспорта, предлагается использовать следующий вариант: автомобильная перевозка из Германии до call-центра в Москву, а дальше воздушным транспортом по медицинским учреждениям гражданской авиации, поскольку данный вариант является не самым дорогостоящим, из предложенных с применением ВС, а общее транзитное время с учетом развозки уменьшается, что было главным критерием при разработке альтернативного способа доставки. Выбранный вариант позволяет уменьшить срок доставки с помощью применения при развозке воздушного транспорта на 2–3 дня. На маршруте будет две перегрузки при отправке из транспортного средства в авиаконтэйнер и по прилету обратные работы – в настоящее время высокооснащенные холодильные терминалы в аэропортах и квалифицированный персонал позволяют совершать данные операции без риска нарушения температурного режима.

Библиографический список

1. Постановление № 19 Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил СП 3.3.2.3332-16 от 17 февраля 2016 г. «Условия транспортирования и хранения иммунобиологических лекарственных препаратов».
2. Федеральный закон от 12.04.2010 г. № 61-ФЗ (ред. от 27.12.2019 г.) № Об обращении лекарственных средств».
3. ГОСТ 17768-90 «Средства лекарственные. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение».
4. Постановление № 19 Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил СП 3.3.2.3332-16 от 17 февраля 2016 г. «Условия транспортирования и хранения иммунобиологических лекарственных препаратов».
5. Федеральные авиационные правила «Общие правила воздушных перевозок пассажиров, багажа, грузов и требования к обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей».

УДК 656.025.4

Ю. Д. Низяева

студент кафедры системного анализа и логистики

Д. Л. Головцов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА****Введение**

Одноразовая посуда – товар, пользующийся спросом. С повышением спроса на доставку еды на дом, потребление одноразовой посуды возросло в несколько раз. Так как имеется непосредственный контакт посуды с едой, она должна обладать определенными характеристиками, так, например, она должна быть безопасной, термостойкой, прочной, упругой и тд. Также потребителя интересует эстетическая составляющая и удобство использования. Материалы, из которых производится одноразовая посуда: полиэтилентерефталат, полиэтилен, полистирол, полипропилен, поливинилхлорид, меламин, алюминий.

Основная часть

Перевозка посуды — трудоемкий процесс, который требует особо аккуратного отношения. Хрупким предметам необходима тщательная упаковка, которая обеспечит их целостность в процессе транспортировки.

При использовании картонных коробок в каждую укладывается не более 10 кг содержимого. Для прочности их дополнительно проклеивают. Груз должен быть защищен от прямых солнечных лучей и иного воздействия окружающей среды. Во избежание намокания груза, его необходимо хранить на закрытом складе или под навесом [1].

Посуда одноразовая перед укладкой в ящик упаковываются в пакеты из полиэтиленовой пленки для дополнительной защиты. Ящики должны быть прочными, сухими и чистыми, без постороннего запаха. В транспортную тару изделия могут быть упакованы без предварительной упаковки в потребительскую тару. Прочность транспортной тары должна обеспечивать сохранность продукции в условиях многоярусной загрузки.

Груз, сформированный на поддоне, не должен выступать за его пределы более чем на 20 мм с каждой стороны. Максимальные размеры пакета, сформированного на поддоне размером 800x1200 или 1000x1200 мм, не должны превышать соответственно 840x1240 и 1040x1240 мм.

Высота пакетов и соответственно количество рядов транспортной тары в пакетах должны быть установлены из расчета: максимально допустимая высота пакета – не более 1800 мм; максимально допустимая масса пакета – не более 1000 кг. При железнодорожных перевозках высота пакета должна устанавливаться с учетом количества ярусов пакетов при максимальном использовании вместимости вагонов.

Для перевозки посуды одноразовой по маршруту Санкт-Петербург – Волгоград автомобильным транспортом может осуществляться тентованным полуприцепом 86 куб. м. (EURO) MAN [5] (рис. 1) и тягачем МАЗ 6430С9-570-020 [6] (рис. 2), технические характеристики представлены в табл. 1; 2 соответственно.



Рис. 1. Тентованный полуприцеп 86 куб. м. (EURO) MAN

Таблица 1

Характеристики тентованный полуприцеп 86 куб. м MAN

Характеристики	Показатели
Грузоподъемность, т	20
Длина внутренняя, м	13,6
Ширина внутренняя, м	2,45
Высота внутренняя, м	2,60
Количество вмещаемых паллет, шт	33
Нагрузка на оси, кг (технически возможная)	12000 / 12000

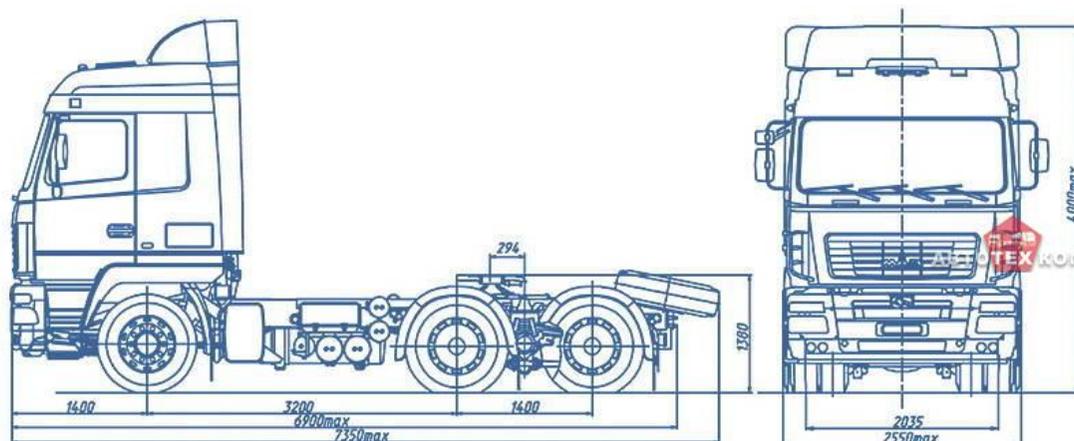


Рис. 2. Тягач МАЗ 6430С9-570-020

Таблица 2

Технические характеристики тягача МАЗ 6430С9-570-020

Характеристики	Показатели
Модель двигателя	ЯМЗ-653.10
Мощность двигателя, квт/л.с.	420
Коробка передач (число передач)	16JS200ТА
Размер шин	295/80R22,5
Объем топливного бака, л.	1200
Расход топлива на 100 км, л	25,5
Распределение массы и нагрузок	
На переднюю ось, кг г	6850 (6950)
На заднюю тележку, кг	19 000
Технически допустимая полная масса автопоезда, кг	52 000
Технически допустимая полная масса автомобиля, кг	25 850 (25 950)
Снаряженная масса автомобиля, кг	10 200
Технически допустимая грузоподъемность, кг	15 900 (15 950)

При перевозке железнодорожным транспортом посуды одноразовой в ящиках из картона, транспортируют повагонными отправками или в контейнерах. Для данной перевозки подойдет модель 11-2135 – 4-осный крытый вагон с уширенными дверными проемами и увеличенным объемом кузова [7] (рис. 3).

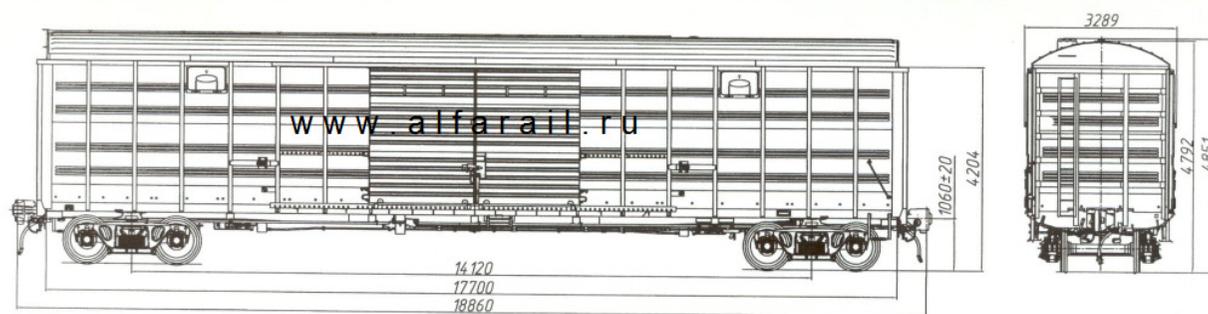


Рис. 3. Схема крытого вагона 11-2135

Таблица 3

Характеристики крытого вагона 11-2135

Характеристики	Показатели
Изготовитель	ОАО «Алтайвагон»
Грузоподъемность, т	65,5
Объем кузова, м ³	160
Масса тары вагона, т	28,5
Скорость конструкционная, км/ч	120
Ширина максимальная, мм	3289
Количество осей, шт.	4
Размеры кузова внутри, мм:	
длина	17 669
ширина	2760
высота	3384

Основными перевозочными документами на автомобильном транспорте служат:

1. Путевой лист;
2. Товаротранспортная накладная;

Основными перевозочными документами на железнодорожном транспорте служат:

1. Оригинал накладной;
2. Дорожная ведомость;
3. Корешок дорожной ведомости;
4. Квитанция о приеме груза.

Для перевозки выбран контейнер одноразовый 114x89x42. В качестве тары был выбран ящик из гофрированного картона N 98 [2], по 10 кг размерами 420x330x190.

В один транспортный пакет, с учетом высоты европоддона 145 мм и условия что высота не должна превышать 1,8м, будет входить 32 коробки, уложенные в 8 рядов, весом 320 кг.

Так как внутренняя высота фуры 2600 мм для большей вместимости оптимальным будет формировать пакеты высотой 1200 мм и укладывать в 2 яруса.

Таким образом, в один пакет будет вмещаться 24 коробки в 6 рядов, весом 240 кг. А масса самого транспортного пакета с учетом массы облегченного деревянного поддона (1200x800) 20 кг будет составлять 260 кг. Так как вместимость фуры 33 поддона (1200x800), то масса груза будет составлять 17 160 кг. Что удовлетворяет грузоподъемности фуры (20 000 кг).

Так как внутренняя высота вагона 3384 мм для большей вместимости оптимальным будет формировать пакеты высотой 1592 мм и укладывать в 2 яруса.

Таким образом, в один пакет будет вмещаться 28 коробки в 7 рядов, весом 280 кг. А масса самого транспортного пакета с учетом массы облегченного деревянного поддона (1200x800) 20 кг будет составлять 300 кг. Так как вместимость вагона 33 поддона (1200x800), то масса груза будет составлять 19800 кг. Что удовлетворяет грузоподъемности вагона (65,5 т).

Описание маршрута железнодорожным транспортом Санкт-Петербург-Волгоград.
 03820 Санкт-Петербург – Финляндский (Октябрьская ж.д.) – 61140 Волгоград II (Приволжская ж.д.) (рис. 4).

Тарифное расстояние: 1784 км [3]. При маршрутной скорости 600 км/сут время в пути составит 2,9 суток. Стоимость перевозки с учетом тарифной схемы № N И1 и В3 Прейскуранта № 10-01 [4] составляет 124 030 р.

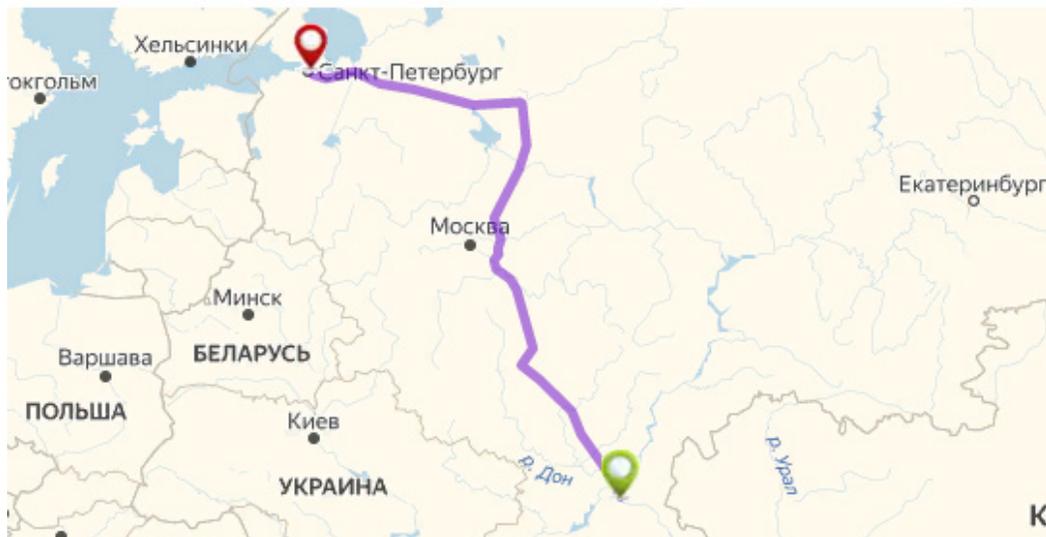


Рис. 4. Маршрут Санкт-Петербург-Волгоград

Описание маршрута автомобильным транспортом Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Россия – Волгоград, Волгоградская обл., Россия.

Скоростная автомобильная дорога Москва — Санкт-Петербург (М-11) – «Каспий» (Р-22) (рис. 5).
 Тарифное расстояние: 1694 км. Время: 24 часа. Стоимость перевозки одной фуры 96 000 р.

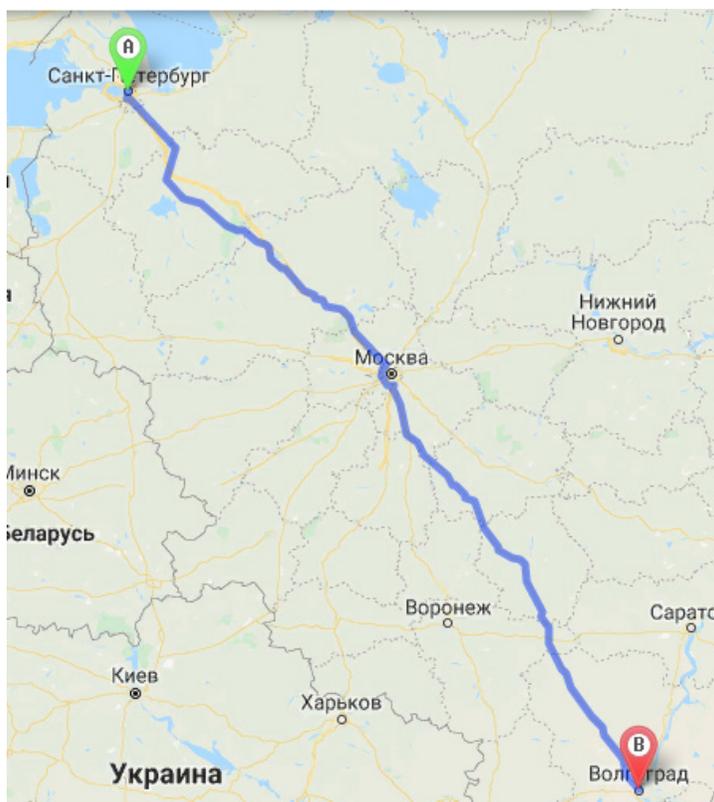


Рис. 5. Маршрут Санкт-Петербург-Волгоград

Сравнение полученных данных

Вид транспорта	Модель ПС	Длина маршрута, км	Время перевозки	Стоимость перевозки, руб.
Железнодорожный	Крытый вагон 11-2135	1784	2,9 суток	124 030
Автомобильный	Тентованный полуприцеп MAN 86м3 и тягач МАЗ 6430С9-570-020	1694	24 часа	96 000

В результате сравнения видно, что автомобильный транспорт наиболее выгоден для данной перевозки, так как время в пути в 3 раза меньше, чем при железнодорожной перевозке и стоимость ниже.

Заключение

В современном мире одноразовая посуда пользуется высоким спросом, данный груз не относится к опасным, но при этом требует к себе повышенного внимания, так как может легко быть поврежден и испорчен. Груз необходимо защищать от дождя и прямых солнечных лучей, поэтому транспортировка происходит в закрытом подвижном составе. Также необходимо следить за правильностью выполнения погрузо-разгрузочных работ, так как груз категорически нельзя ронять. В остальном перевозка не представляется сложной, так как груз долго не портится.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 50962-96. Посуда и изделия хозяйственного назначения из пластмасс. Общие технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200000027> (дата обращения: 25.04.2020).
2. ГОСТ 34033-2016. Упаковка из картона и комбинированных материалов для пищевой продукции. Технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200145711> (дата обращения: 25.04.2020).
3. Тарифное руководство № 4. URL: <https://tr4.info/> (дата обращения: 26.04.2020).
4. Прейскурант № 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами» (Тарифное руководство № 1, части 1 и 2). Дата официального опубликования: 17.06.2003. Редакция от 06.06.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901868848> (дата обращения: 26.04.2020).
5. Анвей-справочник. URL: https://anvay.ru/size_truck#86 (дата обращения: 28.04.2020).
6. Справочник. URL: <http://www.isuzu-petersburg.ru/tech-harakteristiki-elf-95> (дата обращения: 28.04.2020).
7. Альфа Рэйл. Экспорт грузовые вагоны. URL: <http://www.alfarail.ru/wagon/11-2135.htm> (дата обращения: 28.04.2020).

УДК 656.025.4

М. С. Прокофьева

студент кафедры системного анализа и логистики

С. А. Андронов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СХЕМЫ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ «СУПЕРКВАРТАЛОВ». ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Введение

На протяжении всего своего существования человечество стремилось улучшить свой уровень жизни. Сделать ее более комфортной, легкой и безопасной. И когда наши города достигли таких небывалых размеров вопросы логистики стали играть первостепенную роль, ведь правильный трафик в городе – залог его процветания.

Основная часть

В эпоху XXI века все сильнее бросается в глаза результаты постоянно ускоряющегося движения, поэтому сейчас как никогда нужны решения способные систематизировать хаос, который является следствием образа жизни современных людей. Заметнее всего это в больших городах с высокой плотностью населения. Где люди испытывают острую нехватку, свежего воздуха, зеленых зон и свободного пространства.

Но, чем быстрее растет город, тем сложнее перестроить его под современные нужды. Однако есть примеры мегаполисов, которые справились и стали достойными примерами решения проблем логистики: Большой Париж; Сингапур; Гонконг; Лондон; Мадрид; Москва; Чикаго; Сеул; Нью-Йорк; Провинция Милан. Так же следует отметить такие столицы, как: Берлин, Токио. Они регулярно получают высокие оценки, от внешних экспертных организаций [1]. Это уже проверенные проекты, многие из перечисленных зарекомендовали себя наилучшим образом.

Но существуют так же и авантюрные идеи, цель которых добиться лучших результатов новыми ни на что не похожими методами, и при этом, где будет так же соблюдаться парадигмы, подходящие под определения идеального города: благоприятная экологическая ситуация; безопасность во всех сферах; эталонный трафик; высокий уровень жизни.

Именно к таким проектам относятся Барселонские «суперкварталы». Зачатки данной концепции начали появляться еще в 1854 г., в те времена Барселона столкнулась с проблемой нехватки пространства, в зданиях до нижних этажей не доходил воздух. Так как столица Каталонии росла внутри средневековых стен, поэтому их решили сносить, а город расширять. Планировщиком новой Барселоны стал Ильдефонс Серда [2].

Суть концепции заключалась в том, чтобы построить экспериментальный район поблизости к старому городу, который бы обеспечил горожан жильем и новыми рабочими местами. Для этой цели градостроитель разработал целый тактический проект. План, сконструированный Ильдефонсом Сердой, получил название «Эйшампле», что переводится как «расширение». Проект внешне похож на решетку: все дома одинаковых размеров, улицы параллельно-перпендикулярны, углы перекрестков срезаны под восьмиугольник (что должно было пускать больше света в дома). За счет срезанных углов перекрестки «Эйшампле» занимают достаточно большое пространство, площадью в 1916 метров квадратных каждый. Так же в каждом дворе должен был находиться сад, в котором могли гулять все его жители. Идею удалось реализовать, если посмотреть на Барселону сейчас, то она смогла стать такой благодаря Ильдефонсу Серде [2].

В современном же понимании «суперкварталы» – это улучшенная версия старого, проекта «Эйшампле», которая разработана под реалии сегодняшнего мегаполиса. Согласно новому плану 171 такой перекресток в новой Барселоне станет пешеходной площадью [2]. Основатель данной концепции – Сальвадор Руэда, изучив план Ильдефонса Серды, загорелся идеей усовершенствовать его, после чего поставил задачи:

- вывести понятие жизни в мегаполисе на совершенно новый уровень;

- свести к минимуму необходимость в личном транспорте;
 - построить идеальную систему общественного транспорта.
- Визуально идею можно отобразить таким образом, рис.1:

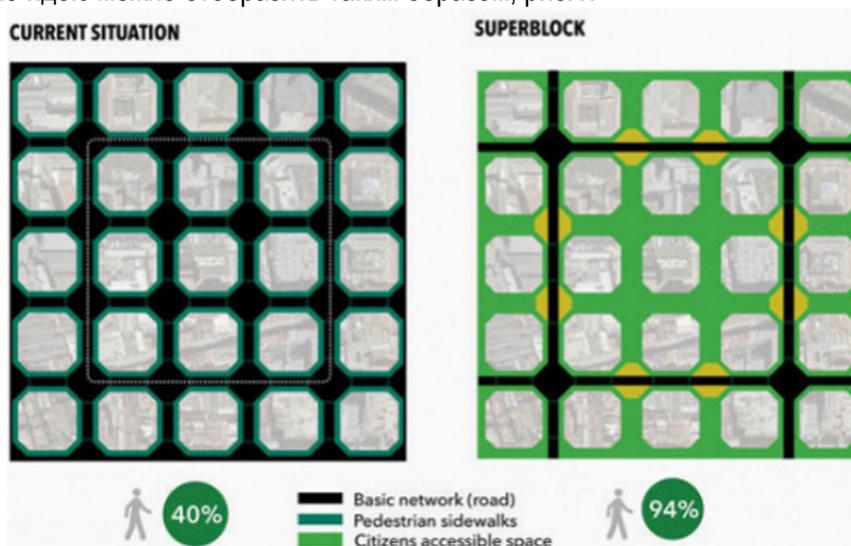


Рис. 1. Визуализация свободного пространства. Справа – сегодняшняя ситуация, слева – концепция «суперблоков». Черным отмечена дорожная сеть; темно-синим – пешеходные тротуары; зеленым – свободное пространство для жителей; желтым – въезды для обслуживающих и экстренных служб [2]

Каждый «суперквартал» имеет размеры около 400×400 м и создан из жилых блоков размером 150×150 м, число жителей будет варьироваться в промежутке от 5 до 6 тысяч. Внутри кварталов автомобили либо запрещены, либо введено ограничение скорости их передвижения до 20 км/ч. За пределами «суперкварталов» движение осуществляется с максимальной скоростью 50 км/ч. Пространство для пешеходов и велосипедистов высвобождается за счет реорганизации бывших автодорог и парковок, рис.2 [3, 5].

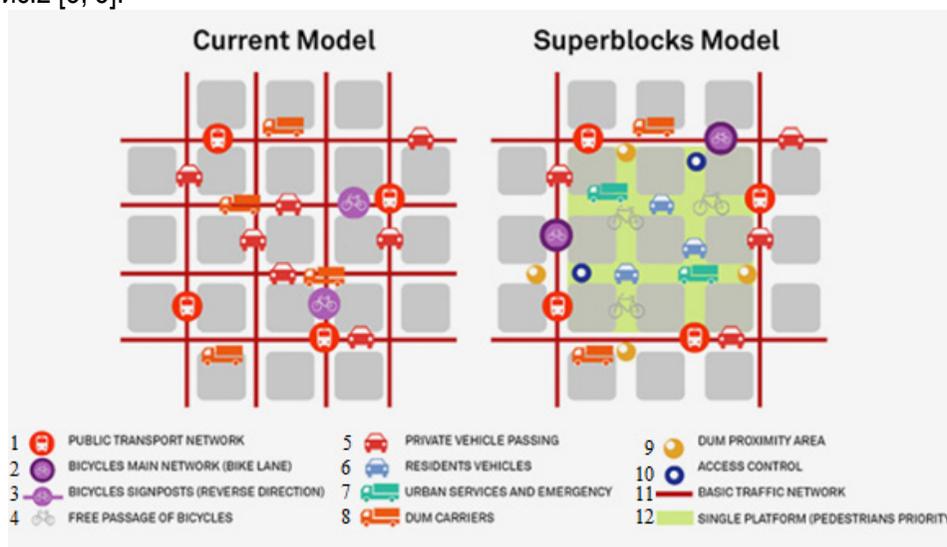


Рис. 2. Дорожная ситуация. Слева – на сегодняшний день, справа – концепция «суперблоков»: 1 – остановки общественного транспорта; 2 – основная сеть велосипедных дорожек; 3 – указатели велосипедов; 4 – свободный движение велосипедистов; 5 – проезд личного транспорта; 6 – транспортное средство (к примеру, такси); 7 – городские и аварийные службы; 8 – крупногабаритный транспорт; 9 – ближайший район; 10 – контроль доступа; 11 – дорожная сеть; 12 – свободное пространство [2]

В данный момент действует 16 автобусных линий, а среднее время ожидания составляет около 14 минут. В скором будущем линий станет 28, а ожидания транспорта сократится до 4–5 минут. При

этом решетчатая система организована так, что остановки двух разных линий — вертикальной и горизонтальной — будут находиться в 2 метрах друг от друга. Это поможет превратить автобусную сети в аналог метрополитена [2].

Сеть велодорожек планируется расширить на 200 км, добившись, таким образом, общей протяженности в более чем 300 км. Велосипеды станут единственным видом транспорта, которому будет разрешено пересекать «суперблоки». Параллельно внутрь «суперкварталов» смогут въезжать также скорые, такси, машины инвалидов и коммерческие перевозчики для разгрузки-погрузки товара (рис. 3).

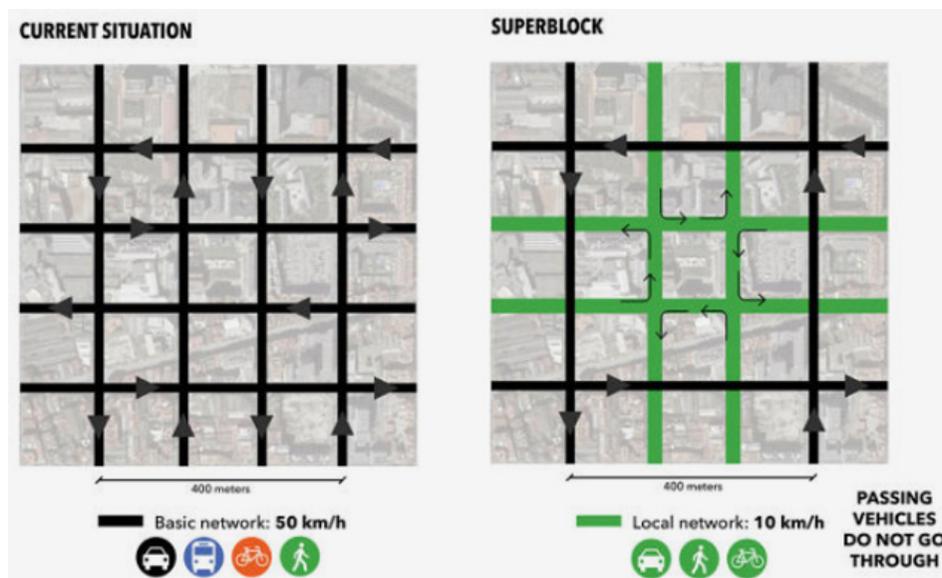


Рис. 3. План движения. Слева – нынешнее движение в кварталах, справа – «суперкварталы» [2, 5]

В городе будет разработана новая улучшенная схема движения автобусной сети, еще более разветвленная система велодорожек и даже, возможно, общегородские электромобили и электроциклы. И еще масса новых идей, связанных с реализацией свободного пространства, озеленения и улучшение жизни и здоровья граждан (рис. 4) [2].

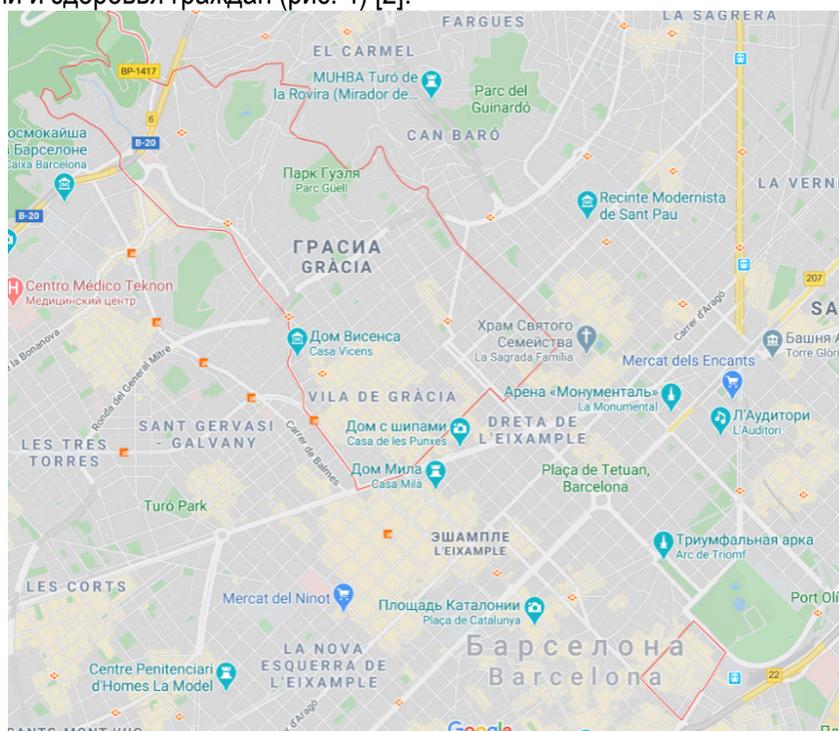


Рис. 4. Грасия и Борн – районы, где впервые появились «суперкварталы»

На сегодняшний день оба района являются самыми тихими и развитыми во всем городе. Также в 2019 г. «суперквартал» был создан и в районе Эль Раваль (рис. 5) [2–4].

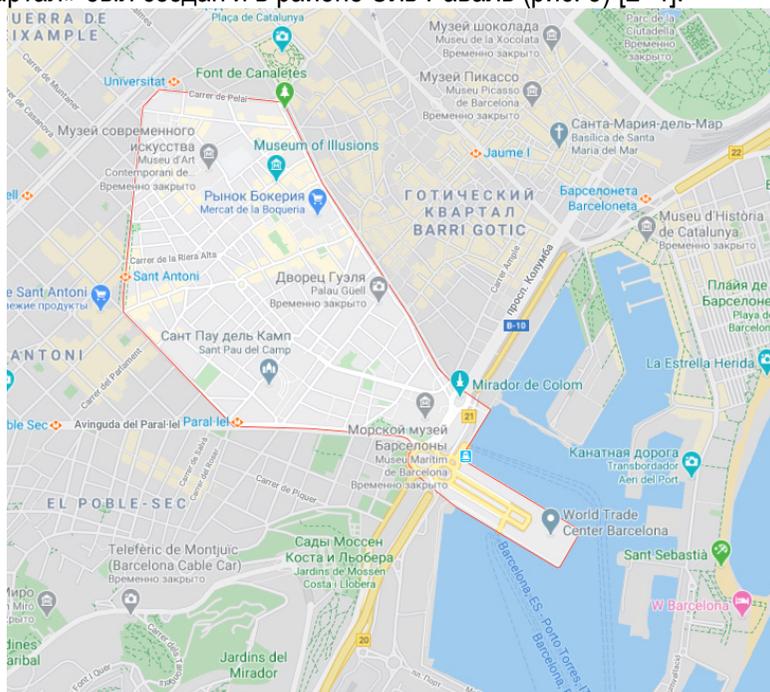


Рис. 5. Район Эль Раваль

Это говорит о том, что концепция проходит проверку временем и показывает себя наилучшим образом в эксплуатации, постепенно выполняя все заявленные требования.

Исходя из всего выше сказанного, может сложиться впечатление, что проект «суперкварталов» не имеет явных недостатков, так как до этого момента, рассматривалась только модель, характеризующая ее достоинства, она хорошо работает и исполняет свои функции, но все-таки изъяны у проекта имеются недостатки:

- плохая освещенность в сферах массовой информации;
- криминальная ситуация в городе.

Несмотря на то, что в данной статье и так уже были указаны многие достоинства проекта, хочется отметить еще некоторые важные изменения, которые позитивным образом изменят жизнь горожан и самой Барселоны.

Первое, что улучшится после внедрения данной концепции – экологическая ситуация.. За последние восемь лет уменьшились выбросы от предприятий теплоэнергетики, сэкономлено более 21 % ежегодного потребления природного газа, выбросы от автотранспорта снизились на 218 тыс. тонн. В результате в 2018 году концентрации NO₂ в жилых районах составили 33 мкг/м³, в целом по городу — 35 мкг/м³, что существенно ниже рекомендаций ВОЗ.

Предполагается, что план «суперкварталов» сократит число автомобильных аварий, и сведет уровень смертей на дорогах к нулю (в 2015 году погибло 27 человек) [3].

Финансовая составляющая проекта.

По словам основателя проекта, сами «суперкварталы» обойдутся Барселоне в 15 млн евро; новая автобусная сеть — в €12 млн; велодорожки — в €32 млн.

Итого общая стоимость проекта суперкварталов достигает €60 млн., при том, что бюджет Барселоны на 2016 год составил €275 миллионов при населении в 1,6 миллиона жителей. При этом в 2017 году уже составлял примерно €897 миллионов [2, 3].

Заключение

Если данный проект реализует весь свой потенциал и докажет свою целесообразность и состоятельность, то это может стать революцией в планировки городов будущего. Так как методов решения

задач урбанистике станет больше, соответственно можно будет проверить итоговый результат минимум двумя способами или же выбрать тот, который будет более выгодным и/или эффективным.

Библиографический список

1. *Штефан Кнупфер, Вадим Покотило, Джонатан Вотцель*. Транспортная система 24 городов мира: составляющие успеха. Нью-Йорк: McKinsey&Company, 2018. 69 с.

2. *Гаврилова Д. А.* Как в Барселоне делают самую радикальную урбанистическую революцию в мире: новостная статья. URL. <https://daily.afisha.ru/cities/2302-kak-v-barselone-delayut-samuyu-radikalnuyu-urbanisticheskuyu-revolyuciyu-v-mire/> (дата обращения: 21.05.2019).

3. *Чугунов А. О.* «Суперкварталы» создаются с целью улучшить здоровье горожан: новостная статья. URL. <https://plus-one.rbc.ru/ecology/superkvartaly-sozdayut-s-celyu-uluchshit-zdorove-gorozhan> (дата обращения: 21.05.2019).

4. *Марта Бозелле, Ромашкевич А. Ю.* Как «суперкварталы» изменяют Барселону: новостная статья. URL. https://city4people.ru/post/blog_633.html (дата обращения: 21.05.2019).

5. *Михайлов О. Н.* «Криминальный кризис». Почему кражи в Барселоне становятся все более жестокими: новостная статья. URL. <https://www.bbc.com/russian/features-49474037> (дата обращения: 21.05.2019).

УДК 656.025.4

Д. И. Силичев

студент кафедры системного анализа и логистики

А. В. Сумманен – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ НЕГАБАРИТНОГО ГРУЗА НА ПРИМЕРЕ ЭКСКАВАТОРА HITACHI ДЛЯ СТРОЯЩЕГОСЯ АЭРОПОРТА

Введение

По мере развития человеческой цивилизации, каждое государство осваивало различные отрасли производства для упрощения собственной жизни и улучшения ее качества на основании доступных ресурсов. Но, вне зависимости от географического положения государств и людей в них, человеческие потребности остаются одинаковыми, в следствии чего обмен товарами, как между странами, так и на территории одной страны является неотъемлемой частью жизни человечества. негабаритные грузы являются значительной частью всего грузооборота, а их перевозка – сложным и ресурсоемким процессом.

Нестандартный (негабаритный) груз представляет собой громоздкий или тяжелый предмет, который из-за своих технических параметров или специфических особенностей нельзя перевозить стандартными видами транспорта, в закрытом дорожном транспортном средстве или закрытом контейнере, [1].

В данной статье рассматривается процесс организации перевозки экскаватора Hitachi ZX670LC-5G из Токио в Красноярск, изучение проблем и нюансов, связанных с международной перевозкой негабарита.

Основная часть

Критериями негабаритности груза служат его длина, ширина и высота и масса. Если перевозимый объект, помещенный на подвижной состав, превышает по длине 20 метров, по ширине 2,5 метра, по высоте 4 метра, то он считается негабаритным. К таким грузам можно отнести сельскохозяйственный транспорт, памятники, строительная техника, краны, балки. Наиболее сложными являются те перевозки, в которых негабаритность наблюдается и по объему, и по массе. Кроме того, для выполнения перевозок подобных грузов требуются необходимые сопроводительные документы, а также наличие разрешений на перевозку негабаритного груза, также неукоснительно соблюдаться порядок размещения и крепления транспортируемых негабаритных грузов. Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что процесс перевозки негабаритного груза является сложным и трудозатратным.

Стоит перечислить три основные зоны негабаритности, а именно:

1. зона нижней негабаритности – на высоте от 480 до 1400 мм при расстоянии от оси пути 1626-1760 мм и на высоте от 1230 до 1400 мм при расстоянии от оси пути 1761-2240 мм;
2. зона боковой негабаритности – на высоте от 1400 до 4000 мм;
3. зона верхней негабаритности – на высоте от 4000 до 5300 мм.

Для точного определения негабаритности перевозимого груза используется Индекс негабаритности, формирующийся из пяти знаков. Он имеет следующий вид:

- 1-й знак – всегда буква "Н";
- 2-й знак – степень нижней негабаритности (степени с 1-й по 6-ю);
- 3-й знак – степень боковой негабаритности (степени с 1-й по 6-ю);
- 4-й знак – степень верхней негабаритности (степени с 1-й по 3-ю);
- 5-й знак – вертикальная сверхнегабаритность.

Сверхнегабаритность в любой зоне указывается цифрой "8".

Полноповоротный экскаватор на гусеничном ходу ZX670LC-5G оснащен ковшом типа «обратная лопата». Машина, представленная на рис. 1, является представителем модельного ряда больших экскаваторов Hitachi. Интересующими нас параметрами являются его габариты и масса, [2].

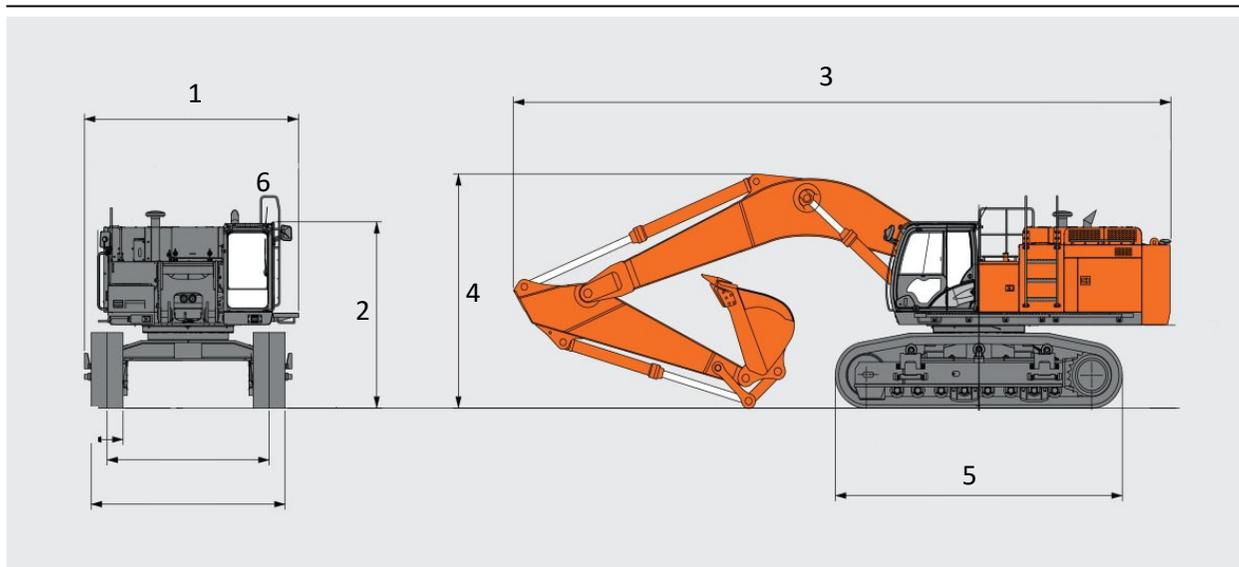


Рис. 1. Габаритные параметры экскаватора Hitachi ZX670LC-5G

- 1 – Габаритная ширина – 3860
- 2 – Габаритная высота по крыше кабины – 3050
- 3 – Габаритная длина – 11400
- 4 – Габаритная высота по стреле – 4460
- 5 – Длина гусеничного хода – 5840
- Масса – 66,8 тонн

После изучения геометрических характеристик груза необходимо определить координаты точек его полуширины:

- В точке «А» («А1»): $X_A = 3480 \div 2 = 1740$ мм;
- В точке «В» («Б1»): $X_B = 3860 \div 2 = 1830$ мм;
- В точке «С» $X_C = 3250 \div 2 = 1625$ мм.

Далее определим координаты высот точек груза:

- В точке «А» («А1») $Y_A = 1310 + 0 = 1310$ мм;
- В точке «Б» («Б1») $Y_B = 1310 + 1200 = 2510$ мм;
- В точке «С» $Y_C = 1310 + 3550 = 4360$ мм.

3) Сопоставим получившиеся координаты:

- В точка «А» («А1») имеет координаты: $X_A = 1740$ мм; $Y_A = 1310$ мм;
- В точка «В» («Б1») имеет координаты: $X_B = 1830$ мм; $Y_B = 2510$ мм;
- В точка «С» имеет координаты: $X_C = 1625$ мм; $Y_C = 4360$ мм.

Соответственно Индекс негабаритности данного груза – Н2320

Важным аспектом данной перевозки является наличие лестницы (элемент “б” на рис. 1) на кузове экскаватора, которая при прохождении кривых участков пути создает помеху движения. Самым простым и практичным вариантом избежать проблемы с перевозкой является демонтаж лестницы, которая закреплена на кузове экскаватора шестью болтами. При перевозке она будет закреплена под стрелой, и помещена обратно на кузов по прибытию на строительный объект в Красноярске.

Чтобы преодолеть морской участок пути может использоваться ролкер VenusLeader, представленный на рис. 2. Ролкер – это судно с горизонтальным и горизонтально-вертикальным способом грузовых операций. Ролкеры используются для перевозок автомашин, колесной техники, гусеничной техники, железнодорожных вагонов, контейнеров и грузов на поддонах, что весьма важно для морских перевозок. Груз подается с берега на судно через аппарат в контейнерах, трейлерах или погрузочных платформах на определенное место соответствующей палубы по пандусам или лифтам с помощью автопогрузчиков, тягачей или другой подвижной специализированной техники. На погрузку и разгрузку подобных судов требуется времени в несколько раз меньше, чем на погрузку универсальных судов.



Рис. 2. Ролкер Venus Leader

Для транспортировки данного груза будет использован морской и автомобильный транспорт. По автомобильным дорогам экскаватор будет перемещаться на полуприцепе 9942L6. Он представлен на рис. 3. Полуприцеп будет помещен на тягач MANTGX 18.400, изображенным на рис. 4.



Рис. 3. Полуприцеп 9942L6

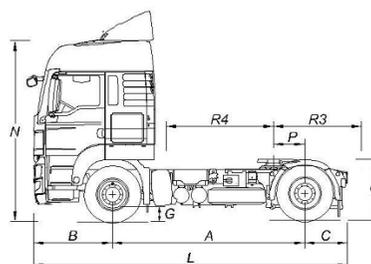


Рис. 4. Тягач MANTGX 18.400



Размещается экскаватор стрелой от кабины тягача. На полуприцеп экскаватор заезжает своим ходом и производится исключительно это под руководством специалистов-механиков. При выполнении погрузочно-разгрузочных работ место погрузки и выгрузки должно быть хорошо освещено и очищено от посторонних предметов, тягач и полуприцеп должны быть поставлены на тормоза, а под колеса помещены противооткатные упоры. Экскаватор, размещенный на полуприцепе должен быть поставлен на тормоза и закреплен противооткатными упорами, также закреплен стяжками и растяжками из металлической проволоки диаметром не менее 8 миллиметров. Стрела должна быть опущена, ковш опущен и закреплен. Чтобы кабина не была повреждена при погрузочно-разгрузочных работах и перевозке, она обшивается ДСП-пластинами. Транспортирование экскаватора должно проводиться в соответствии с требованиями инструкции завода-изготовителя и с учетом местных условий.

Для транспортировки данного груза из порта «Владивосток» в город Красноярск будет использован исключительно автомобильный транспорт из-за ряда преимуществ перед железнодорожным. А именно:

- уменьшение количества погрузочно-разгрузочных работ, как одного из самых трудозатратных и опасных элементов процесса грузоперевозки;
- по приезду груза в порт назначения и загрузки его на полуприцеп, тягач может сразу начинать движение в сторону Красноярска, а не ждать заполнения всего состава, как при использовании железнодорожного транспорта;
- упрощение процесса согласования перевозки негабаритного груза;
- возможность подвоза экскаватора прямо к месту проведения строительных работ.

Документы необходимые для перевозки негабаритного груза по дорогам России:

- товарно-транспортная накладная;
- путевой лист;
- договор между отправителем, получателем и перевозчиком;
- разрешение на перевозку негабаритного груза.

Маршрут будет начинаться из порта Токио. На ролкере груз пройдет вдоль восточного побережья Японии до пролива Цугару, по которому судно попадет в Японское море и будет двигаться по его водам до порта Владивосток. Маршрут морской перевозки представлен на рис. 5.

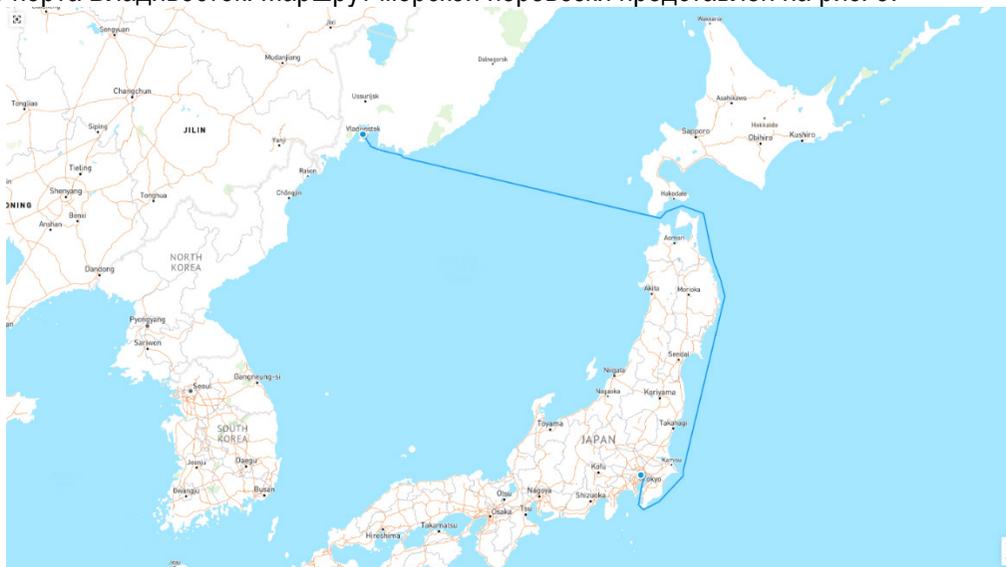


Рис. 5. Маршрут перевозки из Токио во Владивосток

По приезду во Владивосток экскаватор будет сгружен на причал своим ходом, и также погружен на полуприцеп тягача. После всего вышперечисленного груз будет закреплен на полуприцепе и подготовлен к длительной автомобильной перевозке в Красноярск.

Заключение

В данной статье был детально рассмотрен процесс перевозки негабаритного груза на примере экскаватора Hitachi ZX670LC-5G, подготовка груза к отправке, его установка и закрепление на транспорте, процесс погрузки-выгрузки и т.д.

Основным критерием выбора маршрута и транспортных средств этой перевозки было время, за которое груз должен быть доставлен из Токио к строящемуся аэропорту в Красноярске, именно поэтому выбор пал на автомобильный транспорт, преимущества которого были перечислены в данной работе.

Библиографический список

1. Международные перевозки грузов «Профтранс Консалт».
2. Модельный ряд больших экскаваторов Hitachi. URL: <https://www.hitachicm.ru> (дата обращения: 15.03.2019).
3. Инструкция по перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом по дорогам Российской Федерации / утв. Минтранс РФ, МВД РФ и Федеральной автомобильно-дорожной службой РФ 27.05.1996 г.; с изменениями от 22.01.2004 г.).
4. ГОСТ 26653-90. Подготовка генеральных грузов к транспортированию.
5. Международный фрахтовый брокер – сервисы для транспортных компаний, ставки фрахта, трекинг контейнеров, контейнерные перевозки. URL: www.searates.com (дата обращения: 15.03.2019).
6. База данных для морских перевозок. URL: www.marinetraffic.com (дата обращения: 15.03.2019).

УДК 658.71

Е. Д. Фискевич

студент кафедры системного анализа и логистики

Д. Л. Головцов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ВЫБОР ПОСТАВЩИКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЗАКУПОК МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Введение

Практически каждый день люди сталкиваются с необходимостью какого-либо выбора. Это касается абсолютно всего, даже простого похода за продуктами. На совершенно любой полке можно наблюдать множество одинаковых товаров, но от разных поставщиков. Очевидно, что это связано с тем, что в настоящее время рынок товаров достаточно развит и на нем функционирует очень большое количество поставщиков одинаковых товаров. И естественно, для покупателей это неплохо, поскольку каждый может сделать выбор в пользу чего-то оптимального для себя [1, 2].

Однако сомнения по поводу производителя макарон или выбора зубной пасты не являются большой проблемой. А если посмотреть на эту ситуацию в более глобальных масштабах: крупной компании необходимо заказать партию запасных частей для воздушного судна. Если компания ошибется в выборе поставщика, какие будут последствия? Компания в лучшем случае может потерять большие деньги, а в худшем, это может привести к авиакатастрофе.

Таким незамысловатым, но контрастным переходом от макарон к авиакатастрофам показана важность вопроса выбора поставщика в разных сферах. И, так как выбор поставщика является актуальной проблемой, логично задать вопрос: «Как выбрать поставщика?».

Основная часть

Тема выбора поставщика включает в себе два важных и основных понятия: критерии и методы. Критерии – то, на основании чего осуществляется выбор поставщика. Методы – то, каким образом происходит выбор поставщиков, если они удовлетворяют всем критериям.

Такие ученые как Майкл Линдерс и Харольд Фирон весьма серьезно подошли к этому вопросу, изучали процессы закупок и проводили исследования, где рассматривали принципы отбора поставщиков, и в результате вывели перечень критериев на рис. 1.



Рис. 1. Шкала критериев по М. Линдерсу и Х. Фирону

Приведенная выше шкала критериев широко используется в зарубежных компаниях – производителях при выборе поставщика материальных ресурсов. Однако далеко не все специалисты в приоритет ставят такой критерий как «цена». Многие специалисты по снабжению считают, что это такой критерий, о котором практически всегда можно договориться. Естественно, что многих людей (не только специалистов снабжения) пугают высокие цены, но в большинстве случаев это говорит лишь о том, что производитель данной продукции использует более качественное сырье или особые технологии производства. А вот если стоимость продукции у поставщика будет ниже средней – это повод задуматься, так как под сомнение можно поставить и качество продукции, и сроки поставки, и надежность поставщика и еще многие факторы, которые очень важны для компании – покупателя. Но, к сожалению, большинство отечественных компаний в приоритет ставят именно ценовой критерий. Это связано, вероятно, с нехваткой оборотных средств [2, 4, 5].

Методы – это то, каким образом происходит выбор поставщиков, если они удовлетворяют всем критериям [3].

Таблица 1

Методы выбора поставщиков

Название метода	Преимущества	Недостатки
Метод рейтинговых оценок	Простой и быстрый расчет показателей	Трудно получить объективные данные
Метод оценки затрат	Учитывает все возможные затраты	Анализ поставщика только с категории затрат
Метод доминирующих характеристик	Простое использование, оценка главного фактора	Невозможность комплексной оценки поставщиков
Метод анализа иерархий	Комплексная оценка поставщиков	Сложные расчеты и необходимость большого объема информации

Метод рейтинговых оценок (балльный метод)

В этом методе определяются те критерии, которые представляют наибольшую значимость для оценки поставщиков. Здесь выбирается определенная система баллов (например, 10 балльная шкала) и величина оценки, а также определяется вес каждого критерия относительно всех критериев (в сумме значимость всех критериев должна быть = 1). Перемножаются между собой экспертная оценка (в баллах) и вес критериев. Там, где сумма баллов максимальная, поставщик имеет большую значимость, чем другие.

Недостаток: субъективность оценки – требует большого объема информации и анализа большого объема информации.

Метод оценки затрат

При выборе их поставщика главным критерием будут служить затраты на приобретение и доставку.

При использовании метода весь процесс снабжения делится на несколько миссий (это разные варианты), для каждой из которых тщательно рассчитываются все расходы.

Преимущество: позволяет определить экономические параметры выбранного поставщика. Этот метод достаточно трудоемкий, длительный и дорогой, требует большого количества информации.

Метод доминирующих характеристик

Он требует сосредоточения на одной выбранной характеристике (критерии) как основе для последующей оценки. Характеристика может быть любой: наиболее низкая цена, наилучшее качество, график поставок, внушающий наибольшее доверие и т. п. Преимущество этого метода — простота, а недостаток — отсутствие внимания к остальным факторам — критериям отбора.

Метод анализа иерархий (МАИ)

Построение соответствующей иерархии задачи принятия решений.

Попарное сравнение всех элементов иерархии.

Устранение несогласованности матриц попарных сравнений (если это необходимо).

Математическая обработка полученной информации [2–4].

Этот метод разработан Р. Беллманом, Б. Н. Бруком и В. Н. Бурковым, но стал наиболее известен благодаря работам Т. Саати, который и назвал процедуру методом анализа иерархий. Публикации Т. Саати в полной мере раскрыли все возможности процедуры, и с тех пор МАИ активно развивается и широко используется на практике. В его основе помимо математики заложены и некоторые психологические аспекты. МАИ позволяет понятным и рациональным образом представить сложную проблему принятия решений в виде иерархии, провести сравнение и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. И в результате, значительно упрощает процедуру принятия конечного решения [5].

Заключение

Способов выбора поставщика достаточно много и, поскольку весь наш мир находится в динамике развития, можно предположить, что через какое-то время эта процедура выбора не будет представлять проблем. Однако в настоящее время многие компании очень заинтересованы в решении этой задачи, и поэтому привлекают в свой штат высококвалифицированных специалистов, которые помогают искать сильные стороны в каждом методе выбора поставщиков, тем самым сводя возможность ошибки к минимуму.

Библиографический список

1. Лукинский В. С., Лукинский В. В., Плетнева Н. Г. Логистика и управление цепями поставок: учеб. и практикум для академ. бакалавриата. М.: Юрайт, 2016. 359 с. (Бакалавр. Академический курс).
2. Майкл Р. Линдерс, Харольд Е. Фирон. Управление снабжением и запасами. Логистика / пер. с англ. СПб.: Виктория плюс, 2002. 768 с.
3. Логистика управления материальными потоками в сферах производства и обращения // Логистика снабжения. Управление закупками. URL: <http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/morozov/lection8.pdf> (дата обращения: 13.04.2020).
4. Саати Т. Принятие решений // Метод анализа иерархий. 1993. С. 1–278.
5. Метод анализа иерархий // МАИ: процедура применения. URL: <http://vamocenka.ru/metod-analiza-ierarhij-procedura-primeneniya/> (дата обращения: 13.04.2020).

УДК 36:004.45

В. Д. Шарипова

студент кафедры системного анализа и логистики

Н. Н. Майоров – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ С КЛИЕНТАМИ В НЕКОММЕРЧЕСКОМ СЕКТОРЕ

Цифровая трансформация в некоммерческом секторе

Цифровая трансформация определяется как внедрение современных технологий в бизнес-процессы и модели организации для более эффективного привлечения клиентов на каждом этапе жизненного цикла клиента, требующее внесения изменений в технологии, культуру, операции и принципы создания новых продуктов и оказания услуг [1, 2]. Цифровая трансформация касается любой сферы: государственного управления, здравоохранения, образования и др. Некоммерческий сектор здесь – не исключение.

Хоть цифровая трансформация – это относительно новая концепция, но опыт компаний, уже использующих цифровые технологии, обнаруживает многие преимущества, например:

1. снижение затрат,
2. улучшение стратегии ведения клиента,
3. повышение производительности,
4. улучшение аналитики,
5. увеличение клиентоориентированности,
6. новые продукты/услуги,
7. более точная сегментация рынка,
8. повышенная гибкость и инновации.

Для сектора некоммерческих организаций использование цифровых технологий является стратегическим, общеорганизационным подходом, который позволяет в дополнение к вышеперечисленному объединять людей (с возможностью как укрепления внутренних систем, так и вовлечения внешних заинтересованных сторон в свою деятельность), процессы и технологии для создания социального эффекта, исполнения миссии организации [3]. Сейчас в общественном секторе накапливаются огромные массивы данных, стремительно меняются коммуникации, возникают новые задачи и методы их решения: благотворительные стримы, онлайн-образование, телемедицина, краудфандинг и т.п. – если российский общественный сектор хочет быть лидером социального развития, без «цифры» не обойтись.

Диаграмма PriceWaterhouseCoopers показывает, что цифровая трансформация охватывает различные области операционной деятельности внутри компании (рис. 1) [4]. Самое большое преимущество, которое могут дать технологии, состоит в том, что оно облегчает связь с другими людьми. Переходя на цифровые технологии, компании могут объединить не только свою рабочую силу, но и всю архитектуру: социальные сети, аналитику и интерфейсы управления проектами. Такое объединение процессов и операций компании позволяет связываться со своей целевой аудиторией и удовлетворять ее потребности.

В последние несколько лет в России происходит «цифровизация» всех сфер экономической и социальной жизни. В российском благотворительном и донорском сообществе 2019 г. был объявлен годом цифровизации благотворительности [5]. Если раньше данный тренд шел от общества и корпоративного сектора, то с недавних пор он идет еще и от государства. Причина тому – принятая в 2017 г. государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», значительное место в которой отводится созданию «цифровых платформ» в основных направлениях социально-экономической жизни в России [6]. Пожертвования, коммуникации с донорами, обратная связь, оценка потребностей, обучение – все это стремительно уходит в онлайн – это и есть обоснование цифровизации в сфере НКО как одного из самых важных трендов 2019 г.

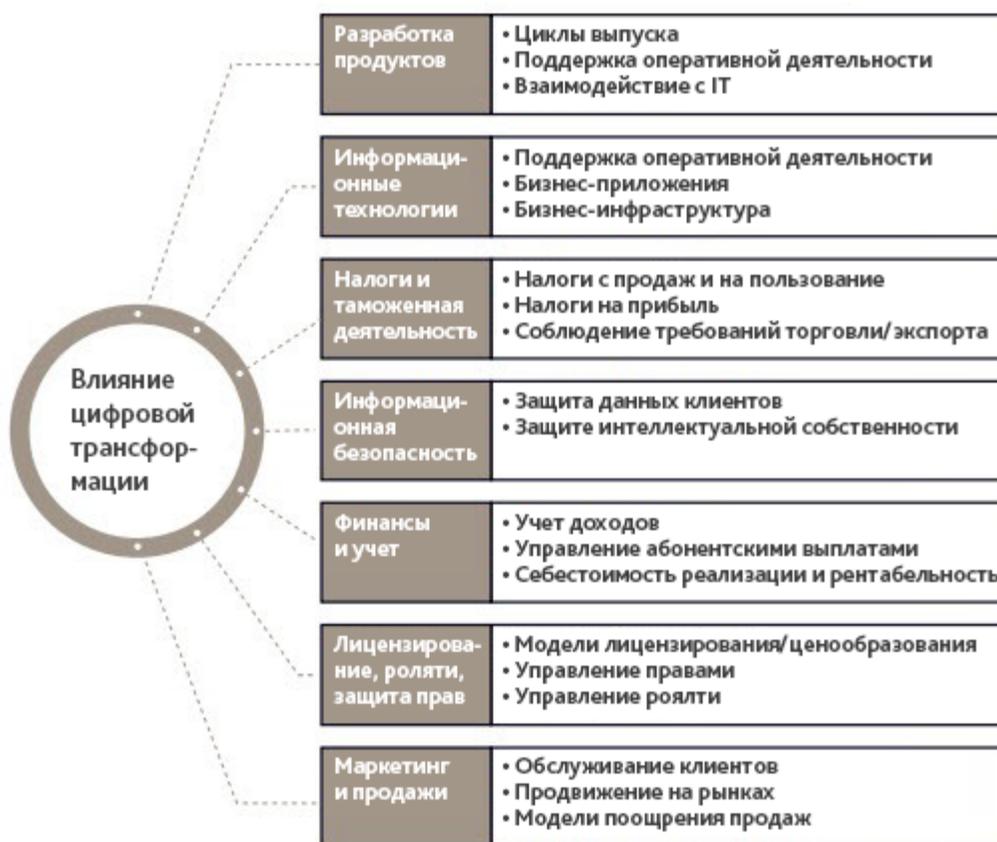


Рис. 1. Влияние цифровой трансформации в различных сферах деятельности

Радикальная демократизация в сфере благотворительности привела к тому, что с помощью цифровых технологий, интернета и людей практически каждый человек может стать донором и получателем; начать краудфандинговую кампанию. Тенденция к росту использования цифровых технологий в сфере НКО очевидна, ведь за последние 5 лет объем пожертвований в РФ только на платформах вырос в 15 раз (период анализа с 2013 по 2017 г.), а число жертвователей – в 30 раз [7].



Рис. 2. Функции, переведенные в цифровой формат в благотворительных организациях

В марте 2020 г. Ассоциацией грантодающих организаций «Форум Доноров» и Фондом целевого капитала «Истоки» были предоставлены итоги первого в России исследования вовлеченности российских благотворительных организаций в цифровую трансформацию. Результаты говорят о том, что цифровая трансформация актуальна для большинства благотворительных организаций (только 39 %

респондентов не заходят в своей цифровизации дальше использования сайтов, соц. сетей и облачных сервисов) [8]. 41 % НКО уже начинают изучать цифровые инструменты и технологии, и каждая пятая задумывается о создании стратегии цифровой трансформации (рис. 2). 54 % респондентов хотели бы усилить компетенцию использования цифровых технологий в фандрайзинге в своей организации.

Это значит, что для большинства компаний внедрение цифровых технологий до сих пор является актуальным вопросом и требует грамотного руководства, планирования и составления пошаговых инструкций.

Понятие и области применения CRM-систем

Области взаимоотношения с клиентами (CRM) продолжает уделяться большое внимание со стороны теоретических и практических исследований, направленных на выявления преимуществ и недостатков CRM для организации.

Цель CRM – найти клиентов и построить с ними отношения таким образом, чтобы повлиять на привлечение, удержание, лояльность и прибыльность [9]. С точки зрения цифровой трансформации CRM рассматривается неразрывно от программного обеспечения, созданного с целью фасилитации этих отношений. Важность технологии заключается в более широком ее использовании при установлении отношений и развитии лояльности среди уже существующих клиентов.

Для некоммерческого сектора знать и понимать мотивацию донора, разговаривать с ним «на одном языке», не забывать вовремя отправить отчет, просьбу о помощи или поздравить с днем рождения – важные задачи, направленные на выстраивание эффективной работы с клиентами. CRM-система, при грамотном ее использовании, помогает справиться с ними.

Исходя из первоначального назначения, система может приобретаться для управления продажами, клиентским обслуживанием, либо всем процессом маркетинга. В процессе обработки информации может проявлять себя как операционная система, аналитическая либо смешанная или коллаборативная. Доступ для тех, кому важно полностью и надежно защитить свою коммерческую информацию, может осуществляться только со стационарного компьютера, и система может иметь только свой сервер для работы. Для повышения мобильности и легкости доступа к системе различных сотрудников можно выбрать систему с возможностью онлайн-доступа, в том числе с мобильного приложения, и держать всю информацию в облаке [10].

Успех стратегии CRM можно измерять в конкретных целях, установленных при ее разработке. Например, сохранение существующих клиентов, привлечение новых, повышение LTV (LifetimeValue – пожизненная ценность), удовлетворенности и лояльности клиентов.

Основная задача CRM-системы — сбор и оптимизация информации о донорах. Например, откуда они пришли и что их интересует. С помощью такой системы НКО могут мониторить данные, узнавать, с каких страниц выполнено пожертвование, сегментировать аудиторию по каналам привлечения и способу передачи средств. Кроме того, она позволяет быстро найти проблему, если произошел сбой при совершении пожертвования. Благодаря CRM можно добиться главной фандрайзинговой цели — привести донора к постоянным пожертвованиям [11].

Метод анализа иерархий как инструмент выбора ПО

Метод анализа иерархий (МАИ) применяется для выбора предпочтительных вариантов решения сложных задач на основе системного подхода с учетом количественных и качественных факторов. Математический аппарат МАИ помогает найти решение, базирующееся на процессе структурирования проблемы выбора и построения иерархии решения. МАИ не предписывает ЛПР какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требований к ее решению.

Построение иерархии начинается с очерчивания проблемы исследования. Далее строится сама иерархия, включающая цель, расположенную в ее вершине, промежуточные уровни (например, критерии) и альтернативы, формирующие самый нижний иерархический уровень. В нашем случае, целью является внедрить CRM-систему, альтернативами – варианты ПО, их тарифы; критериями –

со, согласно чему происходит выбор и сравнение систем (например, одним из критериев может являться стоимость системы, приятность интерфейса или же наличие какого-либо функционала). Для установления относительной важности элементов иерархии используется шкала относительной важности (значимости), подробнее в [12, стр. 86].

Суть МАИ заключается в следующем. Пусть C_1, C_2, \dots, C_n – совокупность сравниваемых объектов – альтернатив (вариантов ПО). Количественные суждения о парах объектов (C_i, C_j) представляются матрицей размера $n \times n$:

$$A = \{a_{ij}\}, i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Элементы a_{ij} – определяются по следующим правилам:

1. Если $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$, $\alpha \neq 0$.
2. Если суждения таковы, что C_i имеет одинаковую с C_j относительную важность, то $a_{ij} = 1$ и $a_{ji} = 1$. В частности, $a_{ii} = 1$ для всех i .

Согласно этим правилам, матрица A имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

Таблица 1

Пример таблицы с результатами подсчета глобального вектора приоритета для каждой из альтернатив

Альтернативы	Критерии							Глобальные приоритеты
	Количество пользователей в системе	Чат внутри карточки CRM	Интеграция с Google Drive, Docs	Интеграция с SendPulse	Роботы (боты), триггеры	Открытый исходный код	Стоимость системы	
	Численное значение вектора приоритетов							
	0,166	0,147	0,133	0,166	0,121	0,067	0,200	
Б24 "Команда"	0,112	0,286	0,227	0,190	0,257	0,142	0,368	0,2367
Б24 "Компания"	0,210	0,286	0,227	0,190	0,257	0,142	0,144	0,2081
Б24 "CRM"	0,049	0,286	0,227	0,190	0,257	0,285	0,228	0,2079
amoCRM "Расширенн."	0,210	0,048	0,045	0,190	0,100	0,142	0,132	0,1275
amoCRM "Профессион."	0,210	0,048	0,045	0,190	0,100	0,142	0,086	0,1183
Террасофт "enterprise"	0,209	0,047	0,227	0,048	0,027	0,142	0,043	0,1014

При сравнении критериев обычно спрашивают, какой из критериев более важен; при сравнении альтернатив по отношению к критерию — какая из альтернатив более предпочтительна или более

вероятна. Подробное описание метода анализа иерархий может быть найдено в открытых источниках, например, в [13].

Сравнивая нормализованные оценки вектора приоритета каждого из критериев, можно сделать вывод о том, какому критерию придается наибольшее значение при выборе технологического решения. Исходя из подсчитанных значений глобального приоритета для каждой из альтернатив (как сумма произведений значения вектора приоритета для критерия и значения вектора глобального приоритета этой альтернативы в отношении данного критерия), выявляется то альтернативное решение, которое наиболее подходит по всем критериям по системе МАИ (оно имеет максимальный приоритет). Пример финальной таблицы с результатами подсчета приведен в табл. 1.

Библиографический список

1. Что такое цифровая трансформация?. URL: <https://www.hpe.com/ru/ru/what-is/digital-transformation.html> (дата обращения: 29.02.2020).
2. Что такое цифровая трансформация и чем она отличается от цифровизации и Индустрии 4.0. URL: <https://rb.ru/story/what-is-digital-transformation/> (дата обращения: 28.02.2020).
3. The New Imperative of Nonprofit Digital Transformation. URL: [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/575821/Nonprofit %20Digital %20Transformation %20Whitepaper_9_23_17.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/575821/Nonprofit%20Digital%20Transformation%20Whitepaper_9_23_17.pdf) (дата обращения: 28.02.2020).
4. Цифровая трансформация – двигает бизнес!. URL: <https://blog.bitrix24.ru/216/index.php> (дата обращения: 28.02.2020).
5. Вишнева К. В. Цифровизация некоммерческого сектора // Elibrary.ru: Научная электронная библиотека. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42315515> (дата обращения: 28.02.2020 г.).
6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 1632-р об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // Портал – сетевое издания Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. URL: <http://base.garant.ru/72190034/> (дата обращения: 28.02.2020).
7. Платформы онлайн пожертвований: 10 лет в России // КАФ: благотворительный фонд развития филантропии. URL: http://www.cafrussia.ru/page/platformi_onlain_pozhertvovanii_10_let_v_rossii (дата обращения: 28.02.2020).
8. Форум Доноров и Фонд целевого капитала «Истоки» представляют результаты исследования цифровизации благотворительности// Форум Доноров: ассоциация грантодающих организаций. URL: <http://www.donorsforum.ru/reports/forum-donorov-i-fond-tselevogo-kapitala-istoki-predstavlyayut-rezultaty-issledovaniya-tsifrovizatsii-blagotvoritelnosti/> (дата обращения: 02.03.2020).
9. Customer relationship management and big data enabled: Personalization & customization of services / A. Muhammad, N. Mohammad, A. Syamimi, A. Abdullah // Applied Computing and Informatics. 2019. № 15 (2). P. 94–101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aci.2018.05.004> (дата обращения: 15.03.2020).
10. Свиридова Е. В. Анализ мирового рынка CRM-систем, перспективы его развития, тренды на российском рынке // Вестн. АГТУ. Сер.: Экономика. 2017. № 3. URL: <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2017-3-70-78> (дата обращения: 02.03.2020).
11. CRM для НКО: как автоматизировать работу с донорами // Агентство социальной информации: asi.org.ru. URL: <https://www.asi.org.ru/news/2019/02/25/crmdlyankoka/amp/> (дата обращения: 09.03.2020).
12. Saaty T. L. Decision making with the analytic hierarchy process // Int. J. Services Sciences. 2008. Vol. 1, № 1. URL: <http://www.rafikulislam.com/uploads/resources/197245512559a37aadea6d.pdf> (дата обращения: 12.03.2020).
13. Saaty T. Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. University of Pittsburgh, RWS Publications, 1990.

УДК 656.025.4

М. С. Шугалей

студент кафедры системного анализа и логистики

С. В. Уголков – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПО МАРШРУТУ ЛИУЯНГ – САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Введение

«Пиротехнические изделия» – это обобщенный термин, который подразумевает под собой любое изделие для салюта, фейерверка или даже для военной промышленности, где слово изделие можно объяснить как устройство, предназначенное для получения нужного эффекта, с помощью горения пиротехнической смеси.

Поскольку Китай является одним из крупных производителей пиротехнических изделий и импортером в Россию, представляется вполне обоснованным рассмотрение организации перевозки данного вида грузов из г. Лиуянг в г. Санкт-Петербург.

В данной работе будет рассмотрена перевозка развлекательной пиротехники – как самого популярного и ходового товара для празднования различных мероприятий. Крупные заводы в КНР производят миллионы килограмм в год различных пиротехнических изделий от хлопушек и петард до батарей салютов и римских свечей для запуска не только в праздничные дни, но и по таким торжественным случаям как: свадьбы, юбилеи, дни рождения и т. д.

Основная часть

Пиротехнические изделия относятся к 1 классу 4 подклассу опасности [1]. Пиротехнические изделия развлекательного характера подразделяются на:

– профессиональные (изделия 4–5 классов потенциальной опасности по [2], для запуска требуется определенная лицензия и опыт работы, а также такой вид пиротехнических изделий невозможно приобрести обычному покупателю в магазине).

– бытовые (относятся изделия 1–3 классов потенциальной опасности по [2], для запуска такой пиротехники не нужно никаких специальных документов и профессиональных навыков, возможности приобрести данный вид пиротехники имеет любой потребитель, в магазине специализирующемся на продаже пиротехнических изделий).

К такой категории относятся: батареи салютов, фонтаны, петарды и римские свечи [2]. По условиям перевозки грузополучателю необходимо доставить 496 коробок пиротехнических изделий из них:

- петард – 100;
- фонтанов – 132;
- батарей салютов – 264.

Петарды (рис. 1, а). Относят к шумовым фейерверкам, издающим резкий звук, такой как: треск, выстрел или ряд выстрелов. По способу воспламенения петарды бывают:

- терочные (поджигаются как спички);
- фитильные (огнеупорный шнур, служащий запалом).

Фонтаны (рис. 1, б). Считаются наиболее безопасными и бывают двух видов:

– конические (образуют яркий шарообразный пучок искр, с постоянно нарастающей высотой);

– цилиндрические (выбрасываются искры, которые с большой скоростью поднимаются вверх и, образуя рассыпающийся хвост искр, постепенно угасая, падают вниз).

Батареи салютов (рис. 1, в). Данный вид пиротехнических изделий достаточно прост в применении и являются самым популярным и массовым видом пиротехники приобретаемой по всему миру.



Рис. 1. Пиротехнические изделия

Существуют разные варианты перевозки между 2-мя участвующими странами. Перевозка возможна как прямая, т. е. 1 видом транспорта, так и комбинированная с участием 2-х и более видов транспорта.

В настоящей работе рассматриваются вопросы перевозки пиротехнических изделий по четырем маршрутам, представленным в табл. 1. Маршруты перевозки представлены на рис. 2.

Таблица 1

Характеристика маршрутов перевозки пиротехнических изделий

Предприятие	№ маршрута	Вид транспорта	Количество подвижного состава, вид	Расстояние 1 ездки, км
ООО «Салюты большого праздника»	№ 1 (авто, авиа)	№1а Лиуян-Чанша	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	7009
		№1б аэропорт Хуанхуа-аэропорт Пулково	8хУАК типа ААА в самолете «AirbusA320»	
	№ 2 (авто, ж/д)	№2а Лиуян-Чанша	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	8560
		№2б ж/д ст.Чанша-ж/д ст. СПб	Крытый вагон «11-1807-01»	
	№ 3 (авто, море, ж/д)	№3а Лиуян-Гуанчжоу	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	15069
		№3б порт Гуанчжоу-порт Бендер-Аббас	Судно-ролкер «Mazarine»	
		№3в ж/д ст. Бендер-Аббас- ж/д ст. СПб	ж/д платформа «13-491»	
	№ 4 (авто, море, авто)	№ 4а Лиуян-Гуанчжоу	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	15605
		№4б порт Гуанчжоу-порт Новороссийск	Судно-ролкер Mazarine»	
		№4в Новороссийск-СПб	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	

На автомобильном транспорте груз транспортируется в ящиках из гофрированного картона, дополнительно пропитанного огнезащитным составом [3].

При транспортировке ящиков авиатранспортом они размещаются в УАК. В один УАК помещается 50 коробок петард, 66 коробок фонтанов или 66 коробок батарей салютов. На ж/д транспорте груз разместиться в одном вагоне 11-1807-01. Для автомобильного транспорта потребуется 2 седельных тягача с полуприцепом.



Рис. 2. Маршруты перевозки из г. Лиуянг в г. Санкт-Петербург

Перевозка пиротехнических изделий морем осуществляется судном ролкером, непосредственно в седельном тягаче с полуприцепом, без какой-либо перегрузки.

Таким образом, для осуществления перевозки пиротехнических изделий выбран следующий ПС:

- на автомобильном транспорте будет использоваться седельный тягач MAN TGA с полуприцепом Кроне SDP 27, рис. 3а,б [4];
- на ж/д – универсальный крытый вагон модели 11-1807-01 и длиннобазовая платформа модели 13-491, рис. 3в,г [5];
- на воздушном – Airbus A320, рис. 3д [6];
- на морском – судно-ролкер MAZARINE, рис. 3е [7].

Определение оптимального маршрута перевозки целесообразно проводить сравнением расчетных показателей провозных платежей и сроков доставки груза. На морском транспорте в расчет принимались тарифы трампового судоходства. Скорость движения судов летом 17 узлов, зимой 9 узлов. Расчет производился по летним скоростям. Время стоянки под грузовые операции в портах погрузки и выгрузки приняты по 12 ч [8].

Расчеты за перевозку на железнодорожном транспорте проводились по тарифному руководству 10-01 [9]. Расчетная скорость принималась 600 км/сутки.

Время доставки груза определяется исходя из протяженности маршрута и скорости перевозки, а также времени на погрузочно-выгрузочные работы и время задержки поездов на сортировочных станциях в железнодорожных узлах.

Провозные платежи на авиационном транспорте определялись по авиационным тарифам установленным ИАТА. Время взлета/посадки по 0,25 ч, стоянки под грузовые операции в аэропортах погрузки/выгрузки приняты по 1 ч.

Следуя данным реальных тарифов, устанавливаемых для автомобильных перевозок генеральных грузов с учетом надбавок за использование специализированного подвижного состава и отчислений за амортизацию автомобильных дорог и НДС, произведен расчет для определения платы за перевозку пиротехнических изделий по маршрутам 1-2а, 3-4а и 4в.



а) седельный тягач MAN TGA



б) полуприцеп Кроне SDP 27



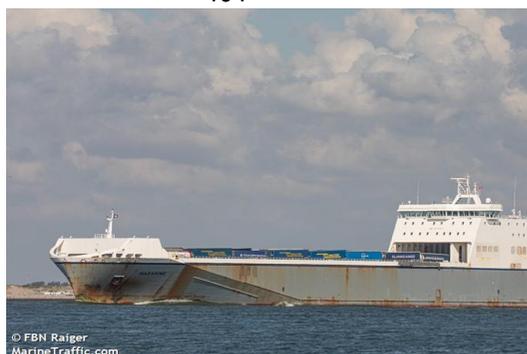
в) вагон модели 11-1807-01



г) длиннобазовая платформа модели 13-491



д) Airbus A320



е) судно-ролкер MAZARINE

Рис. 3. Подвижной состав

Наиболее оптимальный вариант перевозки груза производится по показателю отношения перевозки по отношению к стоимости сепараторов.

Показатели отношения стоимости перевозки к стоимости товара R_n по маршрутам определяются по формуле [10]:

$$R_n = E_n / C \quad (1)$$

где E_n – суммарная стоимость перевозки на n маршруте, руб.; C – стоимость перевезенного груза, руб.

Сравнительные результаты использования маршрутов по стоимостным и временным показателям представлены в табл. 2.

Из анализа табл. 2 следует, что самым дорогим, но при этом быстрым является маршрут № 1 автомобильного + авиационного транспорта. Если грузополучателю необходимо в кратчайшие сроки доставить груз, и при этом стоимость не имеет значения, то оптимальным вариантом будет являться перевозка по воздуху.

Самым дешевым по стоимости и средним по времени является маршрут № 2 с использованием автомобильного + ж/д транспорта. Самыми же долгими по времени и средними по стоимости пере-

возки являются маршруту № 3 и № 4. Из-за низкой скорости и долгого выполнения ПРР, данные варианты перевозки являются наименее удобными и неэффективными для перевозки пиротехнических изделий из г. Лиуянг в г. Санкт-Петербург.

Таблица 2

Сравнительные результаты использования маршрутов

№ маршрута	Вид транспорта	Количество подвижного состава, вид	Расстояние 1 ездки, км	Время 1 ездки, сут.	Стоимость, руб / год	Грузооборот Руб./т км	Относит. стоимость
№ 1 (авто, авиа)	№1а Лиуянг-Чанша	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	7009	1,09	37 738 717,2	4486,94	1108,66
	№1б аэропорт Хуанхуа-аэропорт Пулково	8хУАК типа ААА в самолете «AirbusA320»					
№ 2 (авто, ж/д)	№2а Лиуянг-Чанша	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	8560	15,1	371 390,98	36,15	10,91
	№2б ж/д ст.Чанша-ж/д ст. СПб	Крытый вагон «11-1807-01»					
№ 3 (авто, море, ж/д)	№3а Лиуянг-Гуанчжоу	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	15069	23,1	4 222 482,32	233,51	124,05
	№3б порт Гуанчжоу-порт Бендер-Аббас	Судно-ролкер «Mazagine»					
	№3в ж/д ст. Бендер-Аббас- ж/д ст. СПб	ж/д платформа «13-491»					
№ 4 (авто, море, авто)	№ 4а Лиуянг-Гуанчжоу	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN	15605	21,7	6 241 250,16	333,29	183,35
	№4б порт Гуанчжоу-порт Новороссийск	Судно-ролкер «Mazagine»					
	№4в Новороссийск-СПб	2хСедельный тягач с полуприцепом MAN					

В среднем перевозка по маршруту № 1 дороже, чем перевозка по маршруту № 2 на 37 367 326,22 рубля, т. е. в 101,62 раза. Зато срок перевозки по маршруту № 1 быстрее, чем по маршруту № 2 на 14 суток, т. е. в 13,85 раз.

Делая вывод из всего вышеизложенного, перевозка пиротехнических изделий будет состоять в следующем. Если главным критерием является стоимость перевозки, а время перевозки не имеет значения, перевозка выполняется по маршруту № 2, а если на первый план выходит время перевозки, и стоимость имеет меньшую значимость, то перевозка выполняется по маршруту № 1.

Варианту перевозки по маршрутам № 3 и № 4 являются невыгодными ни по времени, ни по

стоимости, поэтому к этим вариантам перевозки прибегать не стоит.

Кроме того, такая высокая стоимость перевозки по отношению к стоимости груза показывает необходимость отправлять грузы большими партиями с максимальным укрупнением транспортного пакета в подвижном составе.

Заключение

В данной работе были определены способы и методика перевозки пиротехнических изделий, выбран тип ПС для перевозки морским, ж/д, авиационным и автомобильным транспортом, произведен расчет тарифных платежей за перевозку и время самой перевозки пиротехнических изделий не только по видам транспорта, но и по маршрутам перевозки.

Также были изучены правила организации безопасной перевозки данного ОГ. Пиротехнические изделия относятся к 1.4 классу опасных грузов.

Независимо от выбора транспортного средства для перевозки пиротехнических изделий нужно соблюдение общих требований при выполнении ПРП, а также и транспортировки:

- избегать соприкосновения с другими грузами;
- тара и (или) упаковка должна быть нейтральна в отношении перевозимого в ней ОГ;
- во время грозы любые виды ПРП необходимо незамедлительно приостановить.

По результатам практической части ВКР можно сделать следующие выводы:

Если главным критерием является стоимость перевозки, а время перевозки не имеет значения, перевозка выполняется по маршруту № 2, а если на первый план выходят сроки перевозки, и стоимость имеет меньшую значимость, то перевозка выполняется по маршруту № 1.

Варианту перевозки по маршрутам № 3 и 4 являются невыгодными ни по времени, ни по стоимости, поэтому к этим вариантам перевозки прибегать не стоит.

Кроме того такая высокая стоимость перевозки по отношению к стоимости груза показывает необходимость отправлять грузы большими партиями с максимальным укрупнением транспортного пакета в подвижном составе.

Библиографический список

1. ГОСТ 19433-88. Грузы опасные. Классификация и маркировка. М.: Изд-во стандартов, 2004.
2. ГОСТ Р 51270-99. Изделия пиротехнические. Общие требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1999.
3. ГОСТ 26319-84. Грузы опасные. Упаковка. М.: Изд-во стандартов, 2003.
4. Полуприцепы «Кроне»: технические характеристики. URL: <https://fb.ru/article/324047/polupritsepyi-krone-tehnicheskie-harakteristik-i>(дата обращения: 01.02.20).
5. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР: альбом-справочник. М.: Транспорт, 1989.
6. Все о самолетах. AirbusA320. URL: <https://ekek.ru/vse-o-samoletah-airbus-a320/> (дата обращения: 02.02.20).
7. Данные судна «MAZARINE». URL: <https://www.marinetraffic.com/ru/ais/details/ships/shipid:297824/mmsi:249673000/imo:9376696/vessel:MAZARINE> (дата обращения: 05.02.20).
8. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации. М.: Эксмо, 2015. 128 с.
9. Прейскурант № 10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами (Тарифное руководство № 1). Ч. 1; 2. М.: Красный Пролетарий, 2003 / с изм. на 31 января 2017 г.
10. Уголков С. В. Особенности организации перевозки живой рыбы // Системный анализ и логистика. 2019. № (21). С. 45–53.

Эксплуатация и управление аэрокосмическими системами

УДК 629.7.058.52

П. С. Будариева

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Ю. А. Кузьмичев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

О НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАКОНАХ УПРАВЛЕНИЯ В РАКЕТЕ-НОСИТЕЛЕ

Введение

Главным отличием нелинейных законов от линейных является то, что они придают системе управления принципиально новые свойства. Если при линейном законе всегда используется сигнал, пропорциональный входной переменной или ее производной, то при нелинейном законе может существенно изменяться сам характер действия системы управления на объект в зависимости от величины входного воздействия [1].

Нелинейные законы регулирования обладают богатыми возможностями во всех случаях, когда требуемый эффект может быть достигнут изменением свойств системы с изменением величин ошибок. Важным классом нелинейных систем являются системы с переменной структурой.

Для исследования нелинейных алгоритмов управления в системе угловой стабилизации ракеты-носитель, была разработана и исследована математическая модель. Нелинейный алгоритм управления представляет собой устройство, состоящее из двух линейных алгоритмов и переключающего устройства, которые в зависимости от процессов, протекающих в этой системе выбирают нужный алгоритм из условия повышения оперативности в системе угловой стабилизации РН [1]. Данные системы являются представителями систем с переменной структурой и их использование раскрывает более широкие возможности перед линейными системами [2].

Рулевой привод камеры двигателя является исполнительным органом системы угловой стабилизации РН.

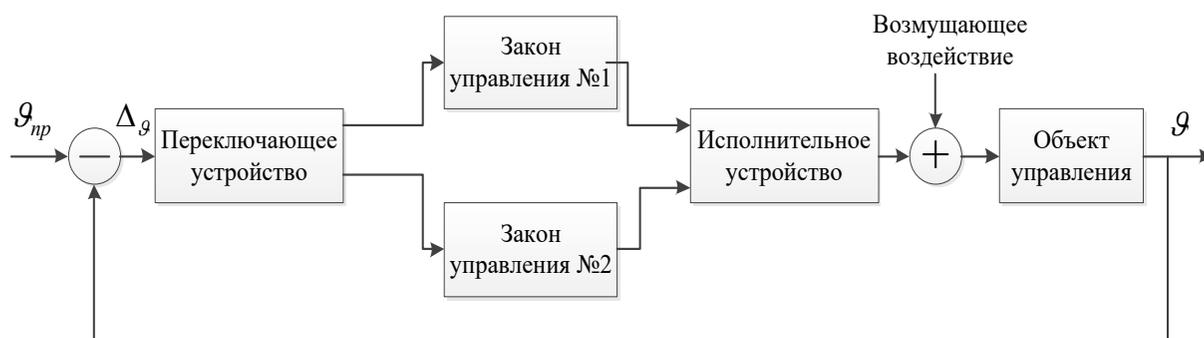


Рис. 1. Структурная схема системы с нелинейным законом управления

Нелинейные законы управления обеспечивают большие возможности повышения качества систем стабилизации.

Основными показателями качеств систем стабилизации ракет-носителей являются устойчивость, точность, надежность, качество переходных процессов, помехоустойчивость и другие. Все эти показатели тесно взаимосвязаны, а условия их обеспечения противоречивы. Поэтому в системах стабилизации эти показатели обеспечиваются на основе компромисса, причем предпочтение отдается главному для данного случая показателю.

Нелинейные законы управления в отличие от линейных могут придать системам стабилизации принципиально новые свойства. Например, с помощью нелинейных законов управления в ряде случаев удается разрешить известное противоречие между устойчивостью и точностью.

Цель: минимизация времени переходного процесса в системе угловой стабилизации.

Для оценки влияния нелинейного закона управления на основные показатели качества системы стабилизации будет рассмотрен комбинированный нелинейный закон управления, который совмещает в себе параметрические и структурные законы. Он является наиболее общим случаем нелинейных законов управления.

Для этого разработаем и исследуем математическую модель и определим влияние параметров управляющих воздействий на динамические свойства рассматриваемой системы [3].

В соответствии со структурной схемой системы с нелинейным алгоритмом управления, математическая модель реализована с помощью программного комплекса *Matlab Simulink*

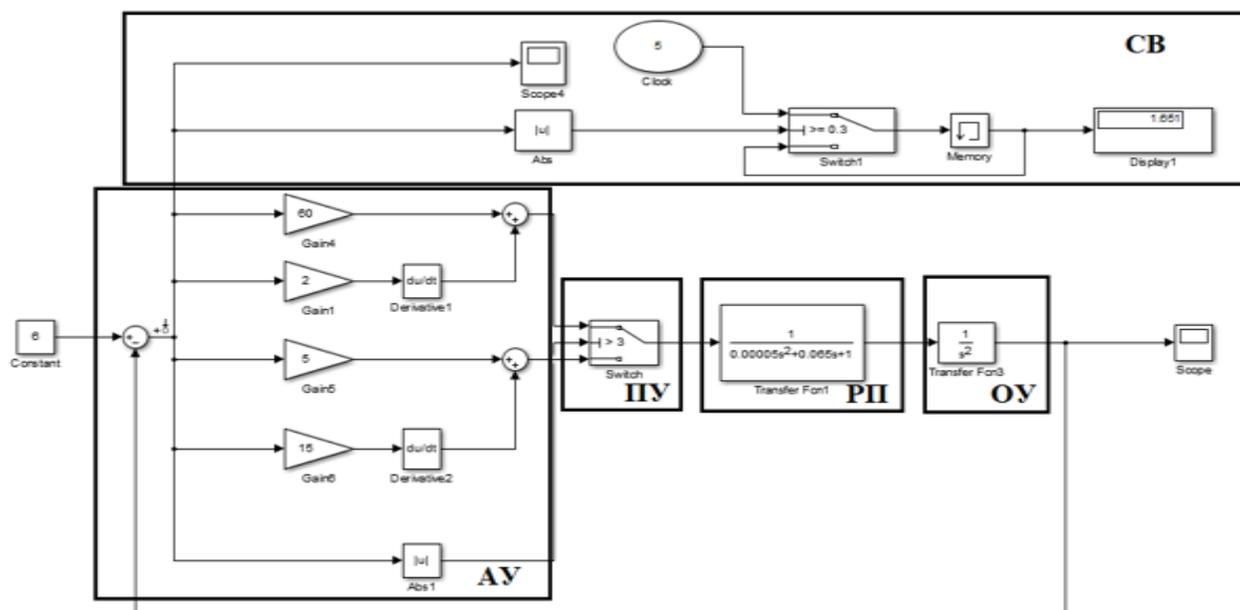


Рис. 2. Структурная схема системы, реализованная в MATLAB Simulink [3]

На рис. 2 представлены следующие обозначения: АУ- алгоритм управления; СВ – счетчик времени; ПУ- переключающее устройство; ОУ- объект управления; РП – рулевой привод.

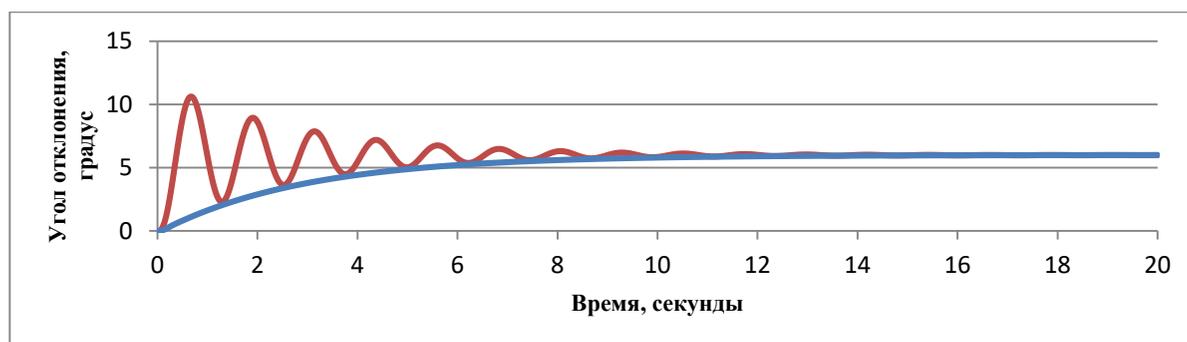


Рис. 3. Переходные процессы при использовании колебательного и апериодического закона управления [2, 4]

Переключающее устройство, осуществляет сначала включение первого закона, затем переключает систему на второй закон в некоторый момент времени t , когда отклонение достигнет определенного значения x . В результате процесс управления объединяет в себе два качества – быстроту и плавность процесса.

Примем следующие допущения: ракета является жестким, твердым телом (это минимизирует порядок системы дифференциальных уравнений.); отсутствует аэродинамическое демпфирование движения ракеты; рулевая сила создает только управляющий момент и не влияет на движение центра масс ракеты.

РП обладает инерционной характеристикой, он является аналогом существующих систем. Исходя из характеристик РП, изображается область устойчивости и выбирается рабочая точка, которая удовлетворяет условию по качеству переходного процесса, а в частности по быстродействию. Счетчик времени предназначен для определения времени переходного процесса и представляет собой переключающее устройство с функцией памяти и дисплеем [2].

Исследование линейного алгоритма управления

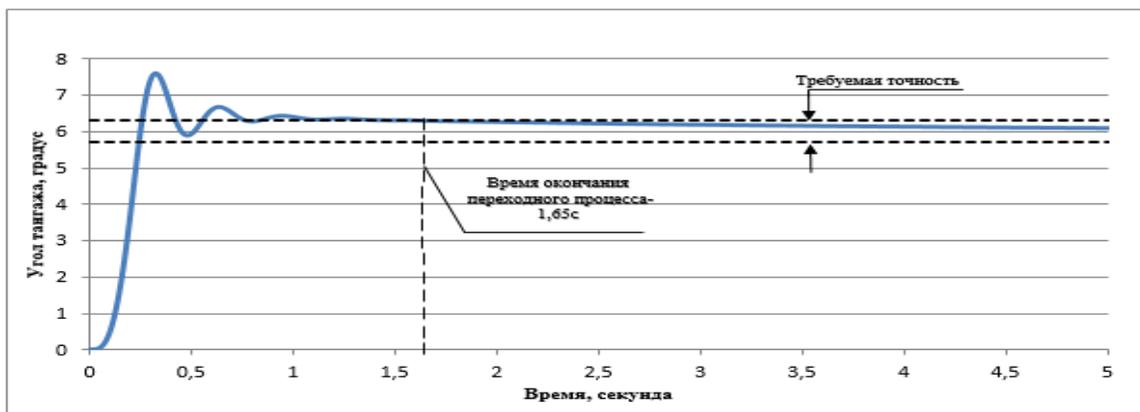


Рис. 3. Переходный процесс с использованием линейного закона управления

При использовании в качестве исполнительного устройства рулевого привода, динамические характеристики которого учитываются уравнениями второго порядка, управляющее воздействие в виде момента формируется с некоторым запаздыванием, так как рулевой привод обладает инерционностью. В результате этого, переходный процесс достигает установившегося значения в момент времени равный 1,65 с.

Исследование нелинейного алгоритма управления

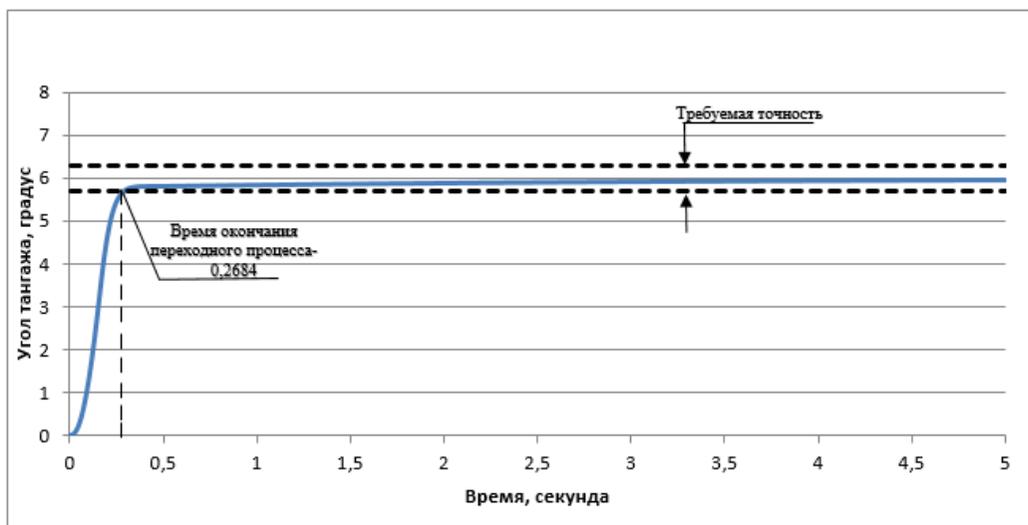


Рис. 4. Переходный процесс с использованием нелинейного закона управления

Аналитически условие переключения между алгоритмами управления с целью минимизации времени переходного процесса в системе угловой стабилизации получить не удастся, поэтому эта задача решается численными методами. В данном случае на первом этапе используется безынерционный рулевой привод. Условием переключения является вхождение переходного процесса в об-

ласть заданных погрешностей отработки без перерегулирования ($\Delta < \Delta_{зад}$). Путем пошаговой итерации с точностью $0,01^0$, находится точка переключения, при которой обеспечивается наилучшее условие по быстродействию в системе. Переключающее устройство в данном случае срабатывает почти мгновенно, а это приводит к увеличению быстродействия системы в целом. По сравнению с первым случаем. Время срабатывания уменьшается до $0,2684$ с.

Выводы

1. Условие переключения между законами управления выбирается с целью минимизации времени переходного процесса в системе стабилизации летательного аппарата.

2. Поскольку переключающее устройство срабатывает практически мгновенно, а управляющее воздействие формируется с некоторым запаздыванием, так как рулевой привод обладает инерционностью, то условие переключения законов управления будет существенным образом зависеть от быстродействия исполнительного устройства.

3. Целесообразно исследовать систему стабилизации РН в которой будет использован нелинейный закон управления параметры которого будут функциями величин, связанных с регулируемыми параметрами. Вместо использования двух законов управления (колебательного и апериодического) возможно изменять значение коэффициентов каждый раз, когда рассчитывается управляющее воздействие в системе стабилизации.

Использовать предложенный метод в СУ РН для сокращения времени переходных процессов целесообразно в следующих случаях:

- при реализации терминального управления, когда изменения в программе управления вызывают переходные процессы;
- после прохождении РН плотных слоев атмосферы при перестройке системы стабилизации (включение контура системы стабилизации центра масс);
- при разделении ступеней (на систему стабилизации воздействует кратковременное возмущающее воздействие).

Библиографический список

1. Теория автоматического управления. Ч. 1; 2 / под ред. А. А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986.
2. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. 1975.
3. Дьяконов В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. 2016.
4. Вадутов О. С., Тригуб М. В. Теория автоматического управления. 2014.

УДК 62-50

В. Г. Буласова

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. К. Пономарев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАВЕДЕНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА
НА ЗАДАННУЮ ЛИНИЮ ПУТИ**

К числу типовых навигационных задач относится задача вывода ВС на заданную линию пути (ЛЗП). Такая задача решается на взлете, на этапе оперативного изменения маршрута полета и посадки без выполнения предпосадочного маневра.

При выборе законов управления выходом ВС на ЛЗП учитывают ряд общих требований к результату решения этой навигационной задачи:

- Способность осуществить выход ЛЗП из любой точки пространства, в которой в текущий момент времени находится ВС;
- Способность решить задачу при любом текущем путевом угле полета ВС;
- Обеспечение при больших начальных отклонениях ВС от ЛЗП прямолинейной траектории полета с заданным углом подхода к ЛЗП;
- Обеспечение на заключительной фазе стабилизации ВС на ЛЗП при действии возмущающих факторов;
- Обеспечение требуемых динамических характеристик системы управления движением центра масс.

Задачу выхода ВС на ЛЗП можно решить с помощью разных алгоритмов формирования сигналов управления движением центра масс в горизонтальной плоскости. При этом маневрирование осуществляется, как правило, с помощью координированного разворота, а основным сигналом управления является сигнал управления креном [1].

При формировании сигнала управления креном ВС может использоваться только информация о текущем положении ВС относительно ЛЗП и скорости изменения этого параметра. Использование функции ограничения позволяет реализовать траектории, удовлетворяющие указанным выше требованиям. В качестве другого варианта можно указать на систему с перестраиваемой структурой с привлечением дополнительного сигнала в виде текущего курса ВС.

В этой статье будут использованы характеристики и свойства системы с формированием закона управления по первому варианту.

В качестве примера рассмотрим систему с алгоритмом траекторного управления (АТУ), в которой сигнал заданного значения угла крена (γ_3) формируется по закону [2]:

$$\gamma_3 = k_z z + k_{\dot{z}} \dot{z}. \quad (1)$$

Во многих практических вариантах систем стабилизации воздушного судна при движении по ЛЗП используют следующий закон управления креном [2]:

$$\gamma_3^* = -k_z z^* - k_{\dot{z}} \dot{z}^*,$$

$$z^* = \begin{cases} z & \text{при } z < z_{огр} \\ z_{огр} & \text{при } z \geq z_{огр} \end{cases}, \quad \gamma_3^* = \begin{cases} \gamma_3^* & \text{при } \gamma_3^* < \gamma_{3огр}^* \\ \gamma_{3огр}^* & \text{при } \gamma_3^* \geq \gamma_{3огр}^* \end{cases}. \quad (2)$$

где $z_{огр}$ и $\gamma_{3огр}$ – предельные значения линейного бокового отклонения и угла крена.

В ходе синтеза алгоритма управления движением центра масс в процесс вывода ВС на ЛЗП должна быть определена не только структура закона регулирования, но и его параметры. В рассматриваемой задаче это коэффициенты передачи k_z , $k_{\dot{z}}$, а также $z_{огр}$. Их выбирают исходя из следующих условий [1]:

- переходные процессы при управлении движением центра масс должны быть без перерегулирования;
- динамика системы управления γ не должна существенно влиять на процесс управления траектории полета;
- при больших начальных отклонениях ВС от ЛЗП должна быть реализована траектория с постоянным углом подхода [2].

Для получения необходимых соотношений, позволяющих выбирать параметры закона управления, рассмотрим простейшую модель движения центра масс ВС в ортодромической системе координат [4]:

$$\ddot{x} = -\frac{g}{V}(\dot{z} - U_z) \sin \gamma, \quad \ddot{z} = \frac{g}{V}(\dot{x} - U_x) \sin \gamma,$$

$$V = \sqrt{(\dot{x} - U_x)^2 + (\dot{z} - U_z)^2}, \quad \operatorname{tg} K = -(\dot{z} - U_z) / (\dot{x} - U_x), \quad (3)$$

где x, z – ортодромические координаты, V – воздушная скорость, U_x и U_z – составляющие скорости ветра в проекциях на оси ортодромической системы координат, K – условный курс.

Систему управления креном будем считать идеальным динамическим звеном:

$$\gamma \equiv \gamma_3. \quad (4)$$

Уравнения (2) – (4) образуют замкнутую систему, описывающую движение центра масс ВС [3]. При $V \approx \dot{x} - U_x$ и $\sin \gamma \approx \gamma$ система преобразуется к виду:

$$\ddot{z} + gk_z \dot{z} + gk_z z = 0. \quad (5)$$

Это уравнение можно представить в виде:

$$\ddot{z} + 2\Omega_z \xi_z \dot{z} + \Omega_z^2 z = 0, \quad (6)$$

где $\Omega_z = \sqrt{gk_z}$ – собственная частота колебаний системы, а ξ_z – коэффициент колебательности.

Из уравнения (6) найдем:

$$k_z = \frac{\Omega_z^2}{g}, k_{\dot{z}} = \frac{2\Omega_z}{g} \quad (\text{при } \xi_z = 1). \quad (7)$$

Частоту Ω_z выбирают по второму условию:

$$\Omega_z = (0,005 \div 0,1) \Omega_\gamma, \quad (8)$$

где Ω_γ – собственная частота системы стабилизации крена.

При выборе параметра $z_{\text{оер}}$ учитывается то, что ВС совершает разворот до тех пор, пока не будет выполнено условие [4]:

$$k_z z_{\text{оер}} + k_{\dot{z}} \dot{z}_n = 0, \quad (9)$$

где \dot{z}_n – линейная скорость бокового отклонения от ЛЗП на участке сближения. Из уравнения (9) получаем:

$$z_{\text{оер}} = -\frac{k_{\dot{z}} \dot{z}_n}{k_z}. \quad (10)$$

Величину \dot{z}_n можно вычислить исходя из заданного курса подхода K_n . При отсутствии ветра получаем:

$$\dot{z}_n = V \sin K_n. \quad (11)$$

Таким образом получаем:

$$z_{оэп} = \frac{k_z k_z V \sin K_n}{k_z}. \quad (12)$$

Параметр $z_{оэп}$, как видно, зависит не только от выбранного угла K_n , но и от скорости полета.

Работоспособности системы траекторного управления при выводе ВС на ЛЗП исследована методом математического моделирования, результаты которого представлены на рис. 1-3 [1].

На рис.1 показаны траектории наведения при разных значениях начального курса ВС и отсутствии ветра. Результаты получены при следующих параметрах модели: $V = 200\text{м/с}$, $\Omega_z = 0,05 \text{ с}^{-1}$, $K_n = 30^\circ$ и начальном курсе K_0 , который соответствует четырем основным направлениям ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$) [4].

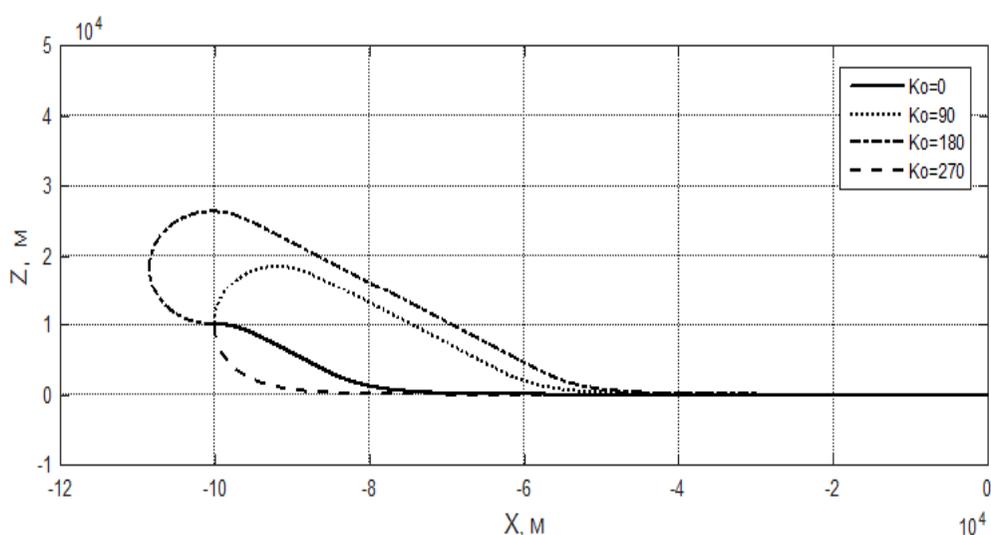


Рис. 1. Траектории ВС при выходе на ЛЗП

На рис. 2 приведены траектории полета при наличии бокового ветра $U = 50\text{м/с}$ для $K_0 = 180^\circ$.

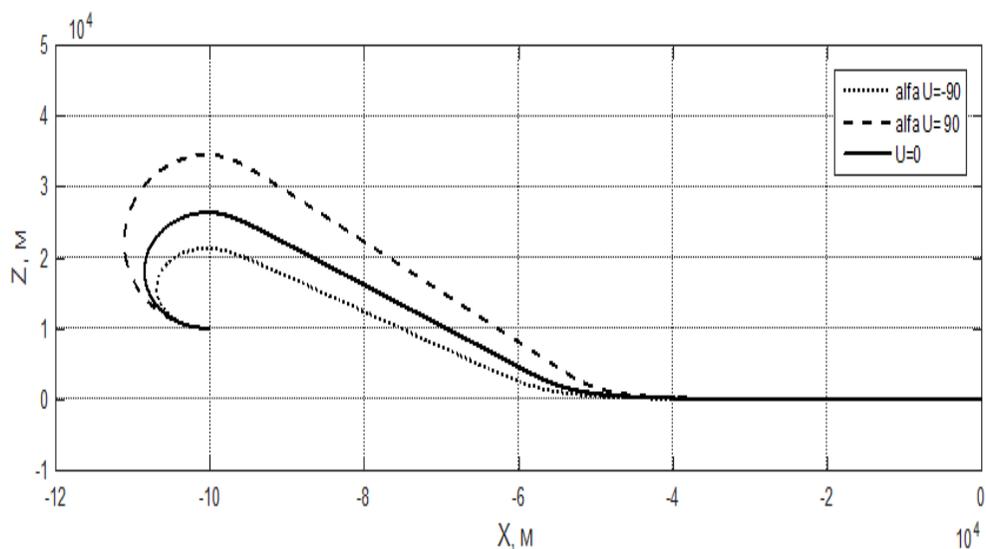


Рис. 2. Траектории ВС при выходе на ЛЗП при наличии ветра

На рис.3 представлены графики текущего курса при наличии бокового ветра.

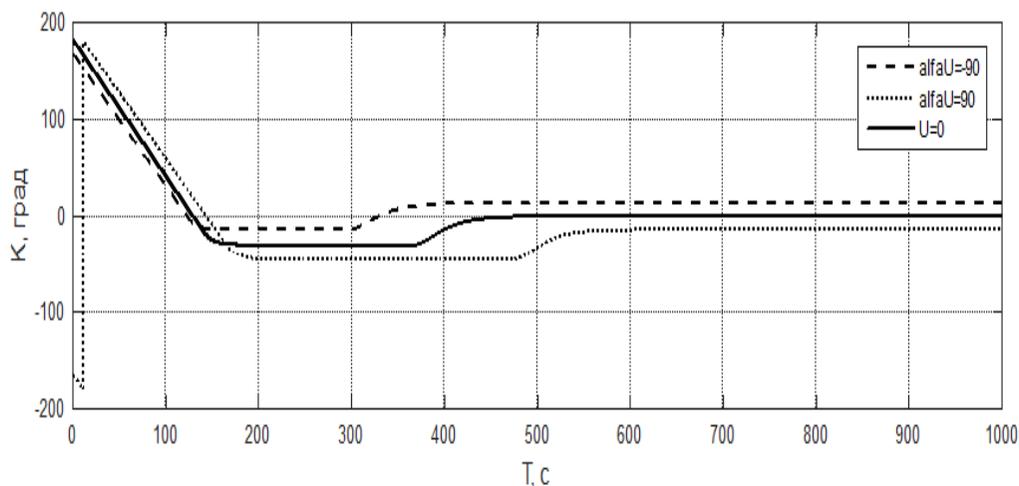


Рис. 3. График изменения текущего курса при наличии бокового ветра

Анализ графиков показывает, что закон управления траекторным движением в форме [2] обеспечивает вывод ВС на ЛЗП с любого направления и подход к ней с заданным углом. При действии бокового ветра изменяется угол подхода, однако время выхода на ЛЗП практически не меняется. После выхода на ЛЗП текущий курс ВС не равен путевому углу и отличается от него на угол сноса, который соответствует значению, вычисленному по треугольнику скоростей.

Библиографический список

1. Автоматизированное управление самолетами и вертолетами / С. М. Федоров, В. В. Дробкин, В. М. Кейн, О. И. Михайлов; под ред. М. Федорова. М.: Транспорт. 1977. С.100-108.
2. Воздушная навигация / А.М.Белкин, Н.Ф. Миронов, Ю.И. Рублев, Ю.Н. Сарайский. М. Транспорт. 1988. С.128, С.62.
3. Поленов Н. М. Управление движением воздушного судна по заданному маршруту.
4. Бортовые системы управления полетом / Ю. В. Байбородин, В. В. Дробкин, Е. Г. Сменковский. М. Транспорт. 1988. С.71, С.89.

УДК 629.7.05

А. В. Буяновская

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

А. И. Панферов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВСТРЕЧЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Одной из интересных задач в прикладной теории управления является задача вывода беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в заданную подвижную или неподвижную точку. В дальнейшем эта точка будет называться целью. Такие задачи являются актуальными при наблюдении за состоянием биосферных заповедников в труднодоступных местах, доставки неотложных грузов экспедициям, для решения тактических задач в условиях локальных конфликтов. Наиболее интересной с точки зрения теории управления является задача противодействия проникновению в зону охраняемых объектов других БПЛА. При этом цель может двигаться с постоянным курсом на постоянной высоте. Может изменять курс и высоту полета в соответствии с заранее введенной в бортовой вычислитель программой. Целью такого маневрирования обычно является обход районов, наиболее защищенных наземными средствами. Наиболее интересным является случай, когда используется интеллектуальное маневрирование цели. Этот вариант предполагает получение и использование бортовым вычислителем цели внешней информации о движении БПЛА в процессе выполнения полетного задания. В этом случае цель совершает оптимальный маневр уклонения от БПЛА [1].

Ниже приведен достаточно общий алгоритм управления встречей управляемых объектов в виде игровой оптимальной задачи. В этой задаче перехватчик стремится в трехмерном пространстве за ограниченное время встретиться с целью при минимальных управляющих воздействиях. Движение цели описывается вектором скорости v_e и вектором положения r_e . Аналогично описывается движение управляемого объекта. Уравнение пространственного движения управляемого объекта и цели имеют вид [2]:

$$\dot{r}_{CV} = f_{CV} + a_{CV}, \dot{r}_{CV} = v_{CV}, \dot{v}_e = f_e + a_e, \dot{r}_e = v_e,$$

где v – скорость в пространстве трех измерений, r – вектор положения в том же пространстве; f – отнесенная к единице массы сила, действующая на беспилотный ЛА; a – вектор управляющее ускорение тела. Индексы s и e обозначают управляемый аппарат и цель соответственно.

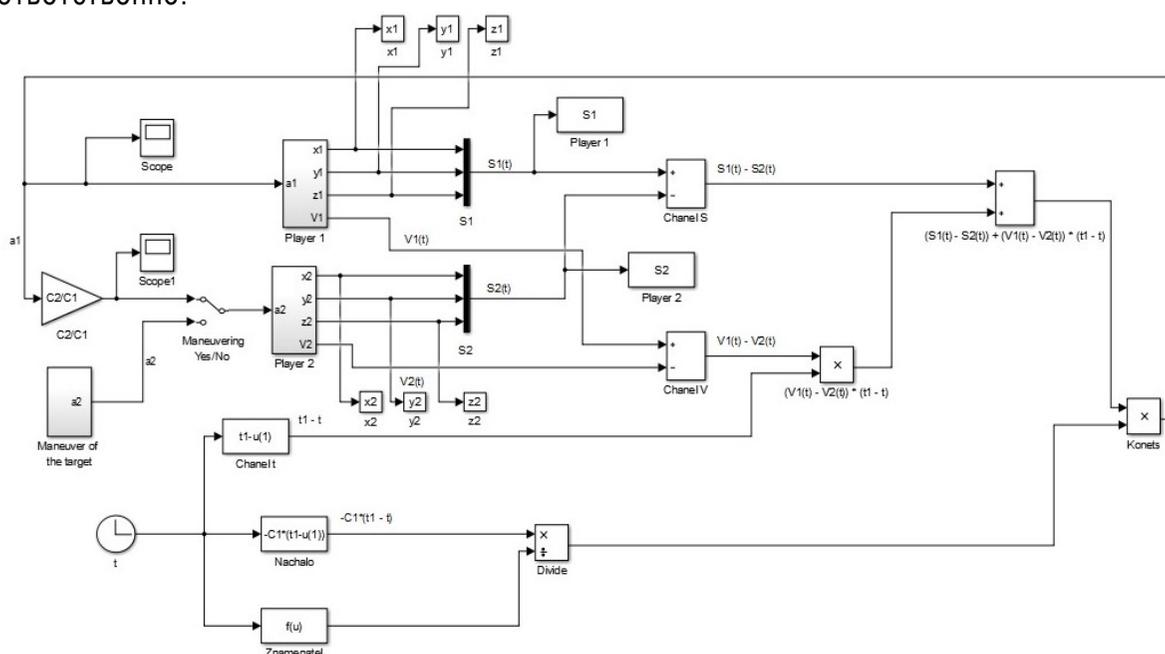


Рис. 1. Программа моделирования алгоритма формирования оптимальной траектории перехвата цели [4]

С учетом ограничений на управляющие воздействия в качестве критерия качества можно использовать следующий функционал [2, 3]:

$$J = \frac{b}{2} [r_{cv}(t_f) - r_e(t_f)]^T \cdot [r_{cv}(t_f) - r_e(t_f)] + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} [c_{cv}^{-1} a_{cv}^T(t) a_{cv}(t) - c_e^{-1} a_e^T(t) a_e(t)],$$

где c_{cv} и c_e – постоянные, связанные энергией управляемого объекта и цели соответственно.

Полученные уравнения используются в качестве эталонного перехвата. Далее будет проведен анализ эффективности решения задачи перехвата с помощью предложенного алгоритма при различных условиях.

Программа моделирования алгоритма формирования оптимальной траектории перехвата цели приведена на рис. 1.

На рис. 2 изображена модель интеллектуального маневрирования БПЛА [5].

На рис. 3 показаны проекции местоположения БПЛА на оси y и z [5].

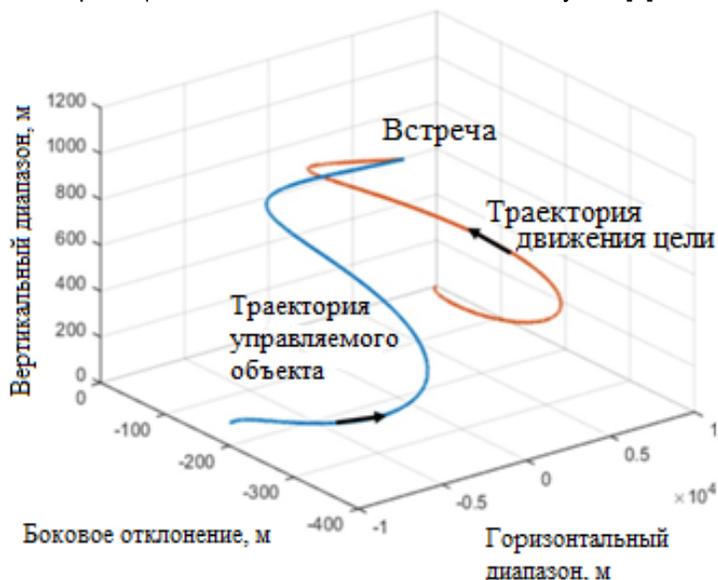


Рис. 2. Трехмерная модель интеллектуального маневрирования БПЛА [5]

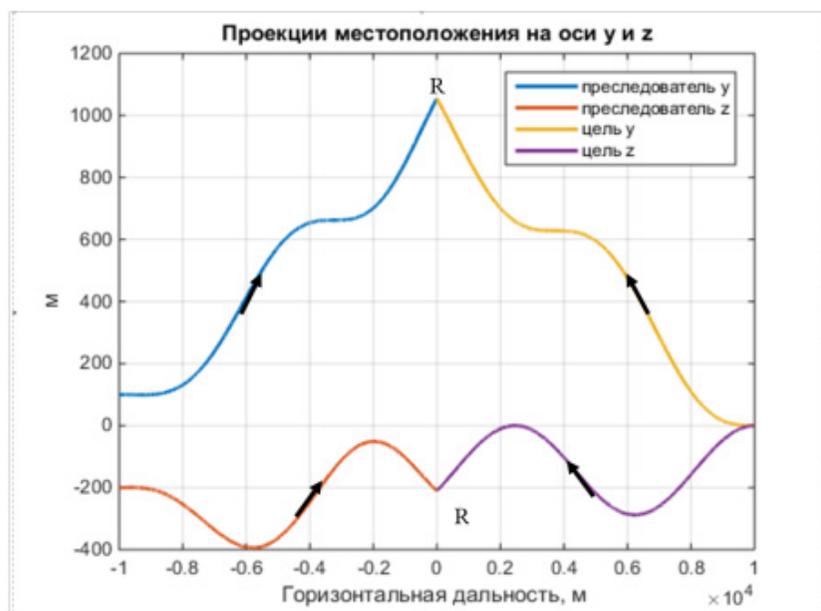


Рис. 3. Проекция местоположения БПЛА на оси y и z [5]

Углы ориентации преследователя в продольном движении изображены на рис. 4.

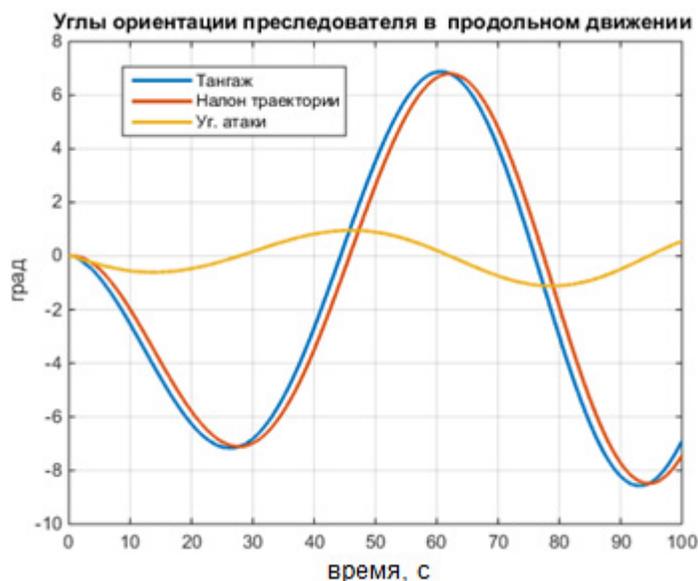


Рис. 4. Углы ориентации преследователя в продольном движении

В результате моделирования были получены модели движения двух беспилотных летательных аппаратов. Результаты моделирования подтвердили работоспособность предложенного алгоритма для перехвата цели. Показано, что при любых активных маневрах алгоритм управления преследователем стремится обеспечить встречу с целью.

Библиографический список

1. Куприянов М. Ю. Беспилотный летательный аппарат. URL: www.bigenc.ru (дата обращения 15 апреля 2020).
2. Panferov A. I., Nebylov A. V., Brodsky S. A. Optimization of the Control System for Collecting a Group of Vehicles 21st IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace // IFAC-PapersOnline. Cranfield, UK, 2019. P. 244–249.
3. Synthesis of a control system for relative movement of closely spaced satellites / A. I. Panferov, A. V. Nebylov, S. A. Brodsky, M. Padron // 7-th European conference for aeronautics and space sciences, EUCASS. Italy, Milan, 2017. 9 p.
4. Panferov A. I., Nebylov A. V., Brodsky S. A. Relative navigation and positioning of nanosatellites in formation, in AIRTEC Congress. Munich, Germany, 2017.
5. Толпегин О. А. Наведение беспилотного летательного аппарата на посадочное устройство судна с использованием траектории поводыря. М.: Вопросы радиоэлектроники, 2018. № 7. С. 18–23.

УДК 519.687.4

Н. А. Гончаренко

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. И. Тимофеев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА АЛГОРИТМА САМООРГАНИЗАЦИИ ГРУППЫ БПЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ И МОНИТОРИНГЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Введение

Особенностью нашего времени является относительно быстрое развитие технологий и увеличение технических новинок, призванных облегчить работу человеку. Одной из таких технологий является идея применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Долгое время БПЛА находили применения исключительно в военном деле. Однако в наши дни приобретают все большую актуальность БПЛА гражданского назначения. Согласно [1], применение БПЛА в гражданском секторе касается функций мониторинга и контроля. С помощью БПЛА можно отслеживать лесные пожары, находить пропавших людей в труднодоступной горной местности, получать данные о химическом составе атмосферы или даже помогать в мониторинге месторождений нефти и газа. В данной работе анализируется последний случай применения БПЛА.

Актуальность

Анализ нефтегазовой промышленности нашей страны свидетельствует о растущей роли БПЛА [2–4]. БПЛА используют для повышения безопасности работы, геологической разведки, поиска утечек нефти и газа, повышения финансовой выгоды работ и т. д. Так, из [4] можно узнать, что БПЛА исследовал территорию в 100 км² в 10 раз быстрее, чем это можно было сделать на земле, и в 2 раза дешевле, чем традиционные методы с привлечением самолетов.

Однако, в силу своей природы, человечество всегда стремится к большему. Все больше механизмов и машин нуждается в топливе. А самое распространенное топливо в наши дни – это нефть. В связи с этим встает задача *автоматизированного* поиска месторождений нефти и газа с помощью БПЛА на больших территориях и в большем количестве.

Поиск нефтегазовых месторождений

Поиск нефти происходит в несколько этапов. Первым делом производят аэрофотосъемку местности совместно с геофизическими работами и сейсморазведкой для определения нахождения нефтегазоматеринской породы. Далее строят цифровую модель и получают распределение количества нефти, которое с определенной вероятностью может находиться в данном месте.

Применение БПЛА происходит на полевом этапе для получения данных о свойствах данной местности в процессе геофизических работ. При этом, как правило, используют методы:

- геохимической разведки – исследование химического состава подземных вод;
- электроразведки – исследование сопротивления пласта;
- магниторазведки – исследование магнитного поля и фиксации аномалий в магнитном поле Земли.

Эффективнее всего использовать БПЛА для магниторазведки.

Постановка задачи

Итак, пусть мы имеем множество B мини БПЛА вертолетного типа $b_i (i = 1 \dots N)$, способных нести магнитометры, работать при температурах от -25° до $+30^\circ$ на высотах от 50 до 200 метров.

Пусть есть область, которую необходимо просканировать с целью выявления магнитных аномалий. Данную область будем называть территорией.

Областью ответственности БПЛА будем называть часть территории, занятую конкретным БПЛА b_i .

Полетным планом будем называть программный объект, описывающий траекторию движения конкретного БПЛА b_i в своей области ответственности и набор действий, производимый конкретным БПЛА при облете своей зоны ответственности.

Целью нашей работы является создание самоорганизующейся группы БПЛА для автоматизации поиска месторождений нефти и газа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- обосновать систему организации полета;
- разработать прототип алгоритма самоорганизации группы БПЛА.

Для создания подобной интеллектуальной группы БПЛА авторами предлагается использовать метод роевого интеллекта, а точнее, один из частных случаев роевого интеллекта – мультиагентные системы (МАС).

Мультиагентные системы

В основе МАС лежит понятие «агент». Агент – программный объект, способный воспринимать ситуацию, подстраиваться под новые условия, принимать решения и, соответственно, действовать исходя из динамично развивающейся ситуации.

Характерными особенностями агента являются:

- коллегиальность;
- автономность;
- адаптивность.

Благодаря применению МАС, данная группа БПЛА будет децентрализована и интеллектуальна. Главной же характеристикой группы будет самоорганизованность. Это означает, что участие человека в работе группы сведено к минимуму и заключается в постановке начальной задачи и анализа поступающей информации. Для подобных целей существует система «оператор-группа».

Обоснование системы организации полета

Оператор и компьютер с установленным на нем специальным программным обеспечением (СПО) находятся на наземном пункте управления (НПУ) и представляют собой систему начальной организации (СНО). СНО вместе с группой БПЛА образует систему «оператор-группа».

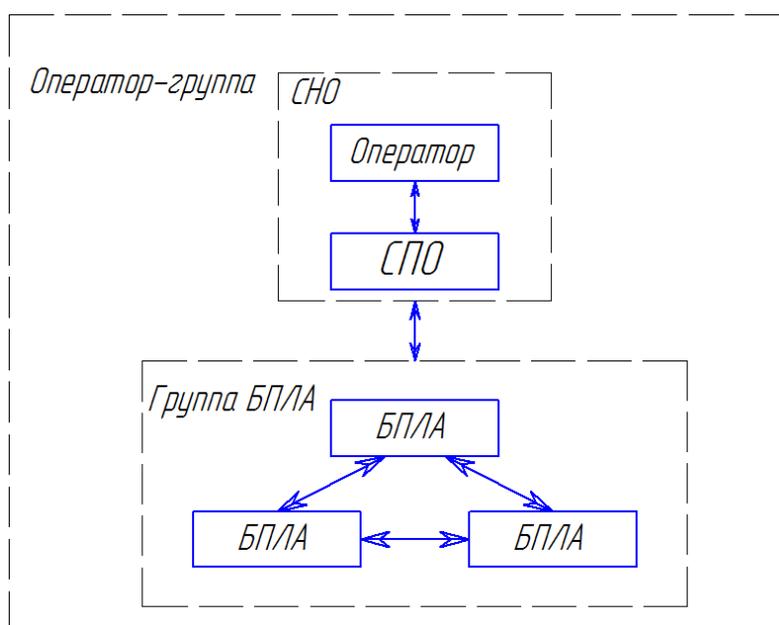


Рис. 1. Схема системы «оператор-группа»

В работе системы «оператор-группа» можно выделить несколько ключевых этапов:

1) Этап формирования задачи. Самый простой и быстрый этап, в ходе которого оператор в графическом интерфейсе СПО вводит необходимые параметры:

- выбирает задачу, которую необходимо решить;
- вводит количество БПЛА;
- вводит координаты местности.

2) Этап распределенного планирования. На этом этапе приходят в действие некоторые подалгоритмы алгоритма самоорганизации, отвечающие за:

- разбиение заданной местности на зоны ответственности;
- распределение зон ответственности между БПЛА;
- составление полетного плана.

3) Этап отладки и корректировки плана. На этом этапе оператор видит уже готовые полетные планы всех БПЛА, и, при необходимости, может скорректировать полетные планы вручную.

После отработки данных этапов, начинается этап решения поставленной задачи. На данном этапе прекращается воздействие оператора на группу БПЛА, следовательно, прекращается управление группой.

Алгоритм самоорганизации

Начиная с этапа распределенного планирования приходит в действие алгоритм самоорганизации группы БПЛА. Что же это такое?

Алгоритм самоорганизации – набор команд для осуществления децентрализованного управления группой БПЛА без внешних воздействий со стороны оператора.

Алгоритм самоорганизации – очень широкое понятие. Он состоит из множества более мелких подалгоритмов.



Рис. 2. Структура алгоритма самоорганизации

Рассмотрим каждый из подалгоритмов подробнее.

Алгоритм разделения заданной территории на равные зоны ответственности

Поскольку магниторазведка, производимая группой БПЛА, происходит на начальных этапах поиска нефтегазовых месторождений, большая точность в задании территории не требуется. В связи с этим предлагаю задать исследуемую территорию как прямоугольник. Данный прямоугольник, в зависимости от нашего местоположения относительно территории, делим на N более мелких прямоугольников, которые являются зонами ответственности членов группы БПЛА.

Таким образом, мы:

- минимизируем количество поворотов БПЛА, тем самым экономя ресурс аккумуляторов;
- в разы упрощаем маршрут БПЛА.

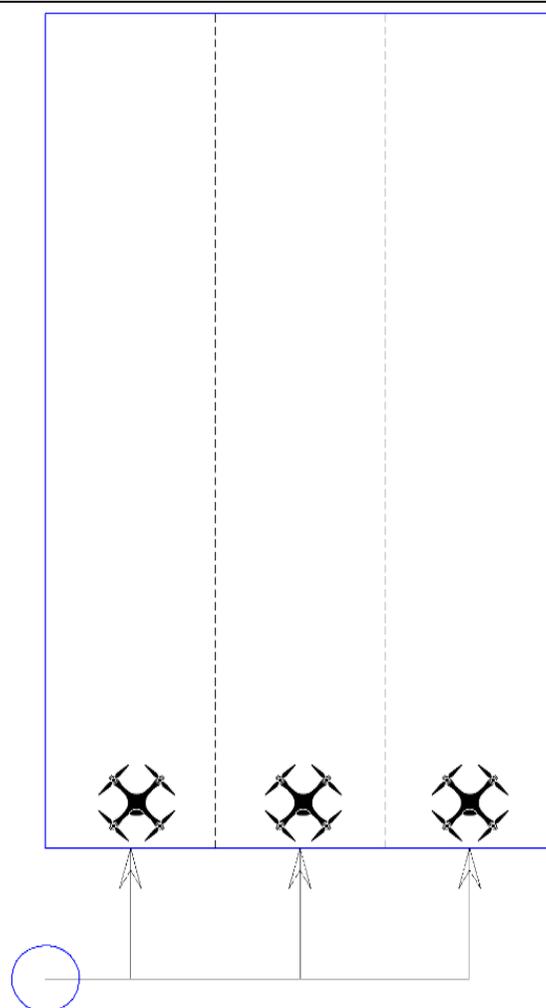


Рис. 3. Результат работы алгоритма деления территории на три равные зоны ответственности. Окружностью указан аэродром базирования

Однако представим ситуацию, что нам необходима большая точность. В этом случае оператор в графическом интерфейсе СПО отмечает на карте необходимые точки, тем самым мы получаем произвольный многоугольник без самопересечений.

Авторами статьи не был найден эффективный алгоритм деления невыпуклого многоугольника на равные части. В связи с этим предлагается перед разделением выполнять проверку многоугольника на выпуклость. В случае невыпуклости, многоугольник достраивается до минимальной выпуклой оболочки (МВО) любым известным методом (алгоритм Джарвиса, алгоритм Грэхема, алгоритм Чана, алгоритм монотонных цепочек Эндрю и т. д.). После получившийся выпуклый многоугольник делится на N равные зоны ответственности.

Таким образом, алгоритм для деления территории имеет две вариации:

- алгоритм деления территории при задании территории как прямоугольника;
- алгоритм деления территории при задании территории как произвольного многоугольника без самопересечений.

Блок-схемы обоих алгоритмов представлены ниже.

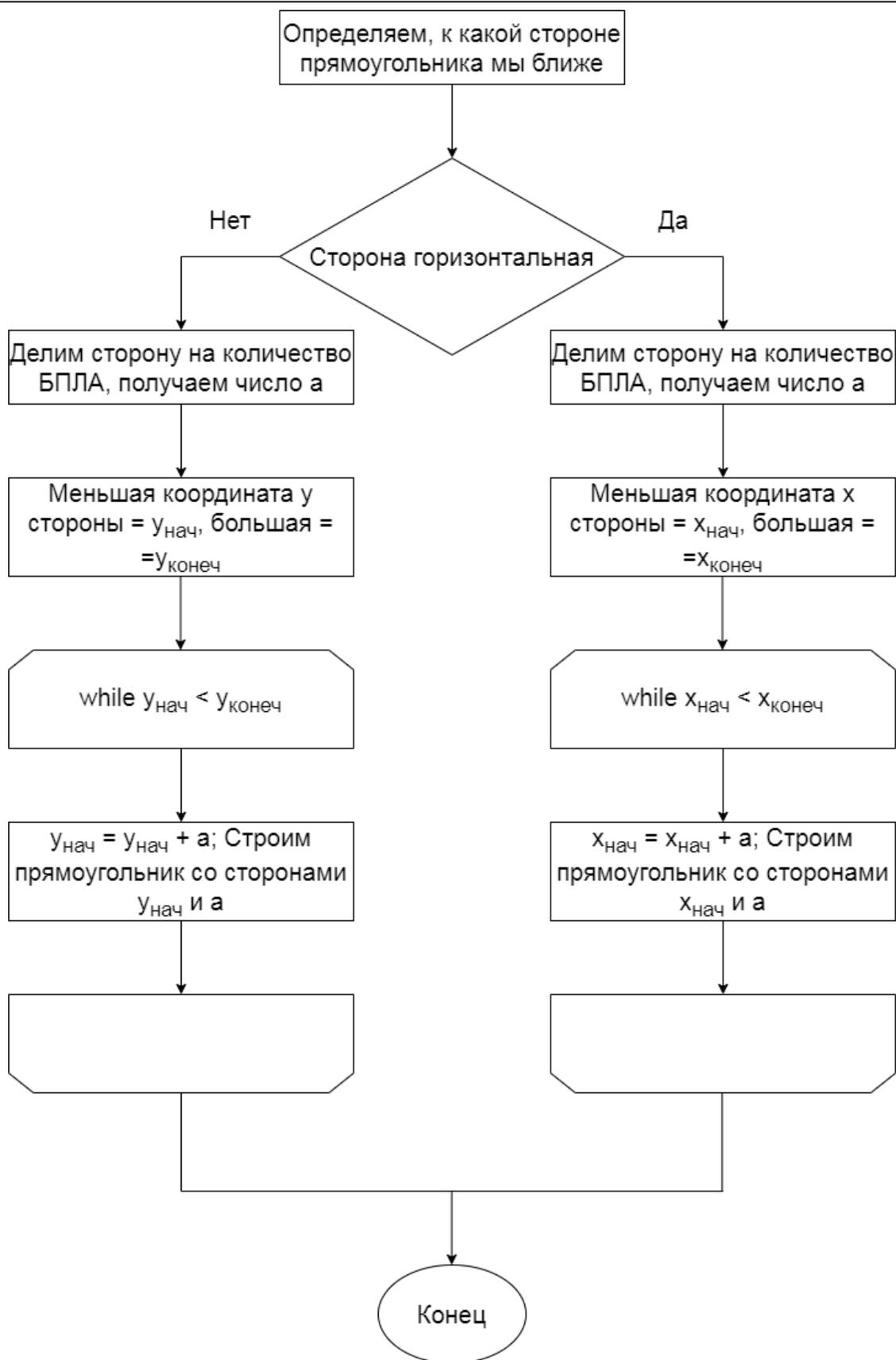


Рис. 4. Блок-схема алгоритма разделения территории на зоны ответственности в случае задания территории как прямоугольника

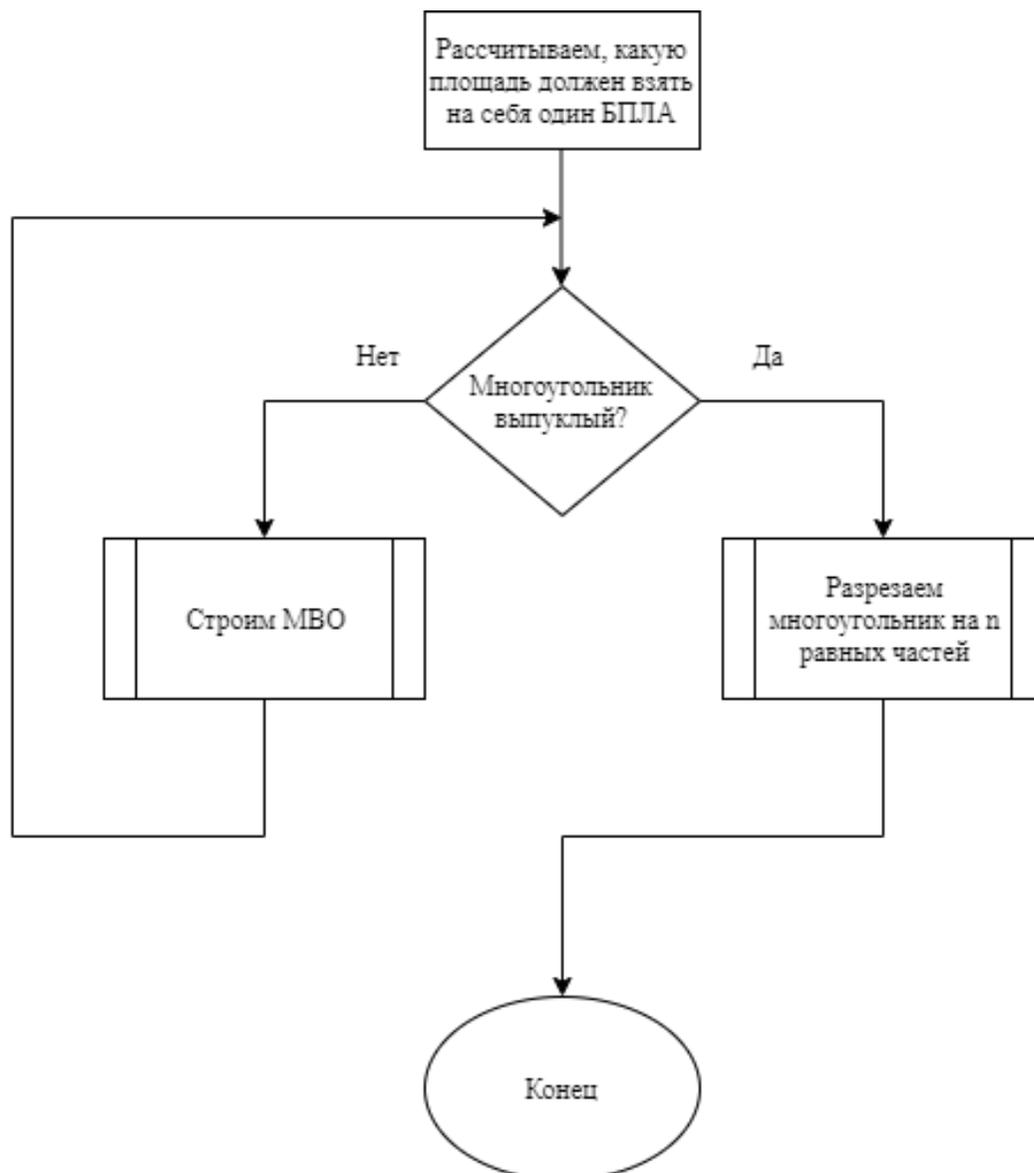


Рис. 5. Блок-схема алгоритма деления территории на зоны ответственности в случае задания территории как многоугольника

Алгоритм распределения зон ответственностей между членами группы

После деления территории, члены группы должны распределить зоны ответственности между собой. Данный алгоритм так же имеет две вариации и работает на двух этапах:

- этап распределенного планирования;
- этап повторного распределения при отказе одного или нескольких из членов команды.

Работа данного алгоритма во время этапа распределенного планирования тривиальна, поскольку зоны ответственности равны.

Во время этапа повторного распределения работа алгоритма заключается в равномерном разделении освободившейся зоны ответственности между ближайшими БПЛА.

Блок-схемы обоих алгоритмов представлены ниже.

Алгоритм формирования эффективного маршрута внутри зоны ответственности

Для понимания работы данного алгоритма необходимо ввести несколько новых понятий.

Сектором будем называть квадрат с размерами $a \times a$. Размер сектора не фиксирован и вычисляется исходя из возможностей БПЛА и оборудования на нем. Каждая зона ответственности делится на сектора.

Единичным проходом будем называть проход по всем секторам вдоль большей стороны зоны ответственности. Проход вдоль большей стороны необходим для уменьшения количества поворотов БПЛА, что способствует экономии ресурса аккумулятора.

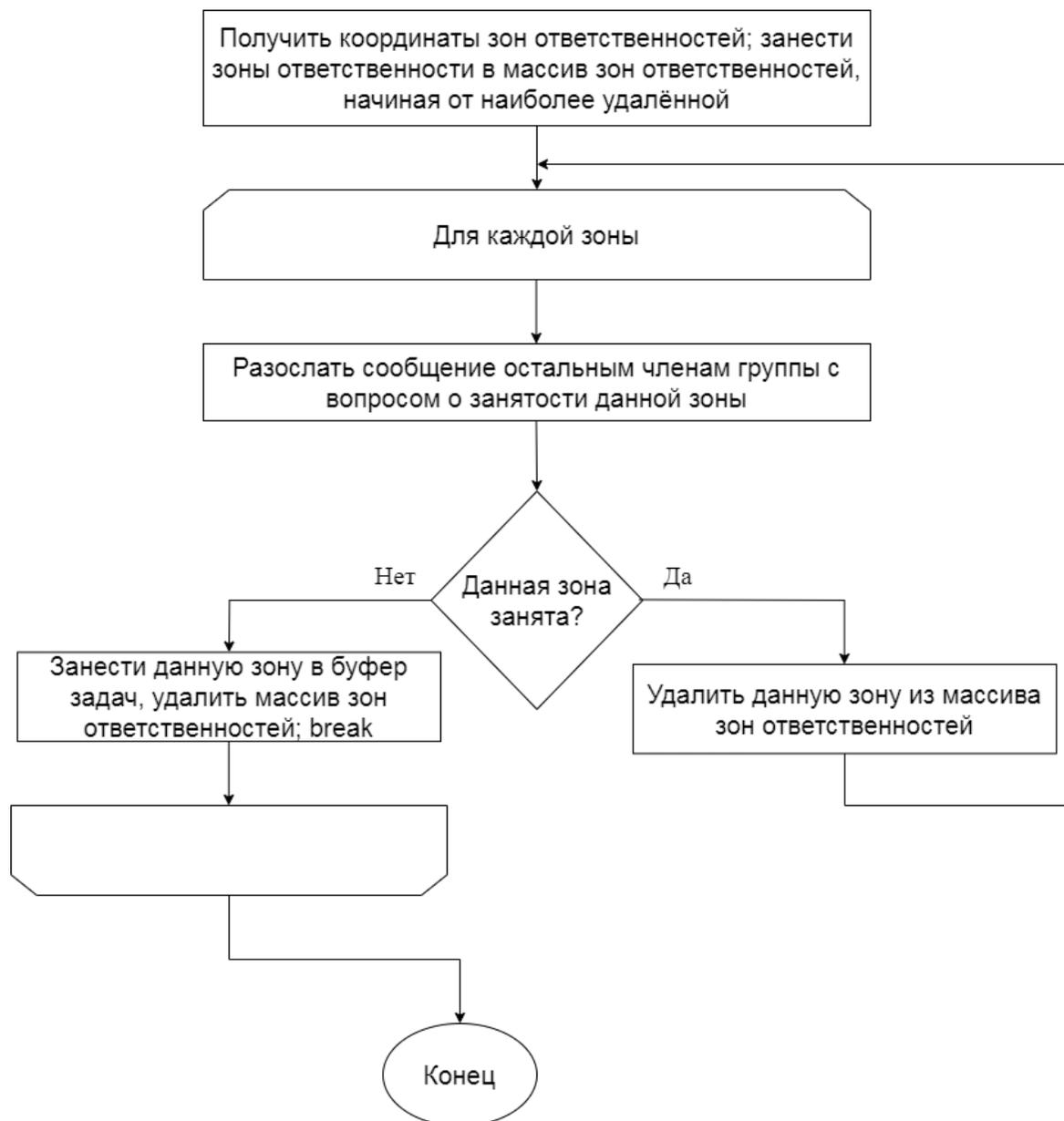


Рис. 6. Блок-схема алгоритма распределения зон ответственностей на этапе распределенного планирования

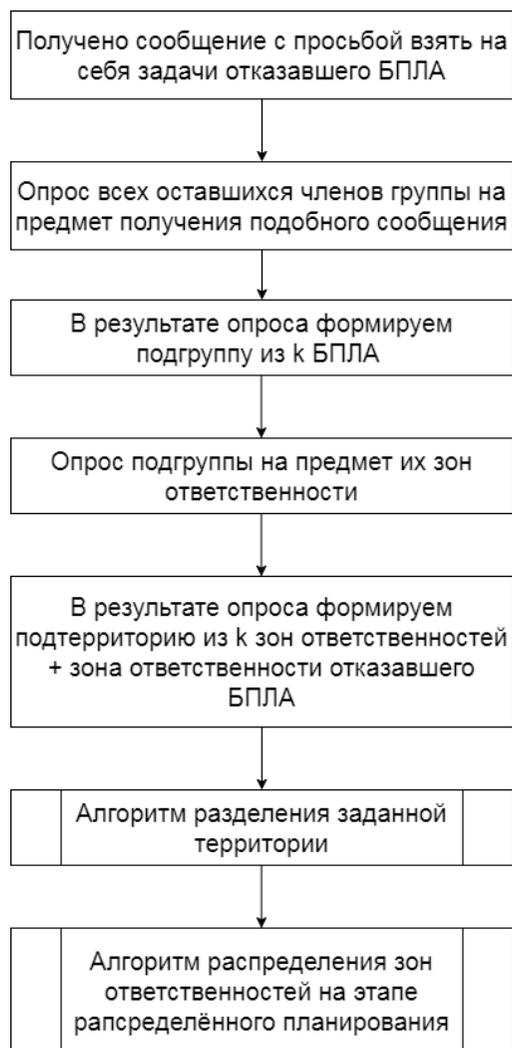


Рис. 7. Блок-схема алгоритма распределения зон ответственностей на этапе повторного планирования в случае отказа одного или нескольких членов группы

В случае прямоугольной зоны ответственности маршрут строится в виде единичного прохода зоны ответственности с последующим смещением в сторону на Δx или Δy под углом 90° и отклонением вектора движения на 180° относительно предыдущего единичного прохода.

В случае зоны ответственности как произвольного многоугольника алгоритм построения маршрута в разы сложнее и в данный момент находится в разработке.

Блок-схема алгоритма и результаты работы при разных условиях приведены ниже.



Рис. 8. Блок-схема алгоритма построения маршрута в прямоугольной зоне ответственности

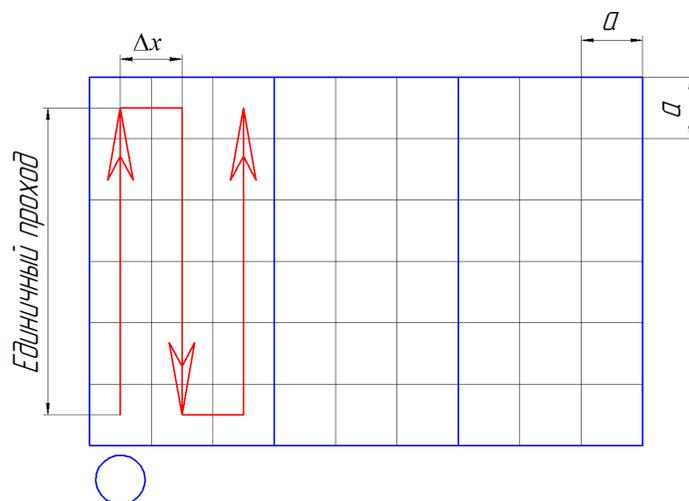


Рис. 9. Результат работы алгоритма построения маршрута в прямоугольной зоне ответственности в случае вертикальной ориентации зоны ответственности

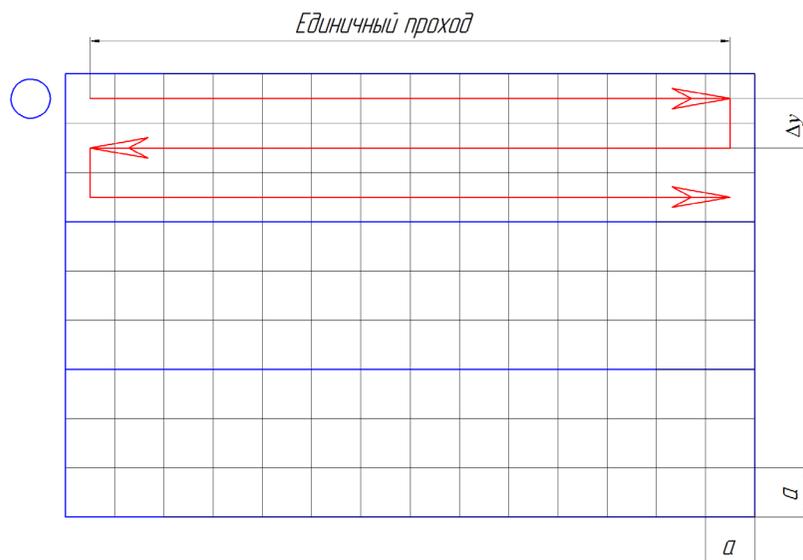


Рис. 10. Результат работы алгоритма построения маршрута в прямоугольной зоне ответственности в случае горизонтальной ориентации зоны ответственности

Алгоритм взаимодействия БПЛА друг с другом

Алгоритм взаимодействия предназначен для «общения» членов МАС между собой. Членами МАС являются члены группы БПЛА и оператор на НПУ.

Алгоритм находится в разработке, однако, можно выявить некоторые обязательные аспекты работы алгоритма:

- каждый БПЛА должен совершать запрос о занятости зоны ответственности на этапе распределенного планирования;
- каждый БПЛА должен совершать запрос информации о состоянии ближайших к нему членов группы БПЛА;
- каждый БПЛА может совершать запрос о получении сообщения другими членами группы БПЛА об отказе одного из членов группы и просьбой взять на себя свои обязанности во время выполнения алгоритма распределения зон ответственностей на этапе повторного планирования;
- каждый БПЛА должен отсылать получаемую с датчика магнитометра информацию на компьютер оператора для построения цифровой модели в реальном времени.

Библиографический список

1. Трубников Г. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в гражданских целях. URL: http://www.uav.ru/articles/civil_uav_th.pdf. (дата обращения: 13.03.2020).
2. URL: https://vestiirk.ru/news/news_day/184939/ (дата обращения: 13.03.2020).
3. URL: <http://alb.aero/blog/kak-ispolzuyutsya-bespilotnye-letatelnye-apparaty-v-neftegazovoj-otrasli.html> (дата обращения: 20.03.2020).
4. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-pervoy-v-rossii-primenila-bespilotniki-dlya-poiska-uglevodorodov/> (дата обращения: 24.03.2020).

УДК 629.7.054

К. С. Гунин

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Ю. М. Осипов

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Е. В. Шигаичев

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

М. И. Лесняк

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

С. Г. Бурлуцкий – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ГИРОИНТЕГРАТОР ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ

Гироинтегратор линейных ускорений (ГИЛУ) необходим для измерения интеграла от проекции вектора мнимого ускорения объекта на ось чувствительности (ОЧ) прибора (или другими словами – приращения мнимой скорости в направлении ОЧ). Зная эту величину и ускорение силы притяжения можно вычислить абсолютную скорость объекта, необходимую для решения навигационной задачи. Так же необходимо обеспечить возможность фиксирования данных при минимальных динамических и статических погрешностях во время процесса разгона гиromотора (ГМ), благодаря этому уменьшается время готовности гироинтегратора (ГИ) к использованию.

ГИЛУ имеют характеристики достаточно высокой точности. Этим обусловлено обширное их применение в различных системах навигации, а также преимущественно в системах дальней навигации, разнородных объектов. Таким образом, основное назначение ГИ заключается в применении их в баллистических ракетах, это позволяет формировать сигнал отключения двигателей в конце траектории активного участка пути. Так же возможно применение в гироинерциальной вертикали, где он заменяет акселерометр и интегратор. Схема ГИЛУ представлена на рис. 1.

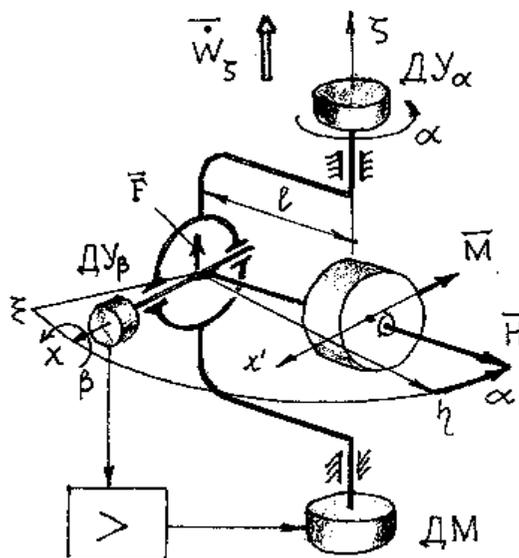


Рис. 1. Схема гироскопического интегратора линейных ускорений

Схема состоит из трехстепенного разбалансированного гироскопа, датчика угла ΔU_α , с которого снимается выходной сигнал ГИЛУ, датчика угла β ΔU_β по промежуточной оси подвеса, датчика момента ДМ на внешней оси подвеса и электронного звена. ОЧ прибора является ось ξ (дзета) – внешняя ось подвеса.

При работе гироскопа в замкнутом реверберационном акустическом пространстве у прибора оси карданового подвеса перекрещиваются, это приводит к возникновению особенностей функционирования ГИ в натуральных условиях. В своей совокупности эти особенности послужат причиной появления дополнительных погрешностей измерений.

Плоская звуковая волна с давлением P воздействует на кожух с гиромотором, в свою очередь они начнут испытывать возмущающее действие двух моментов – $\vec{M}_1(P)$ и $\vec{M}_2(P)$ (рис. 2). Вектор первого устремлен вдоль оси наружной рамки и, соответственно, равен

$$M_1(P) = P \cdot S \cdot \cos(\vec{n}; Oy) \cdot l_1, \quad (1)$$

где P – является давлением в падающей волне; S – это площадь поверхности кожуха; l_1 – является расстоянием от оси вращения кожуха до точки, куда приложена равнодействующая всех сил акустического давления. Второй же вектор момента $\vec{M}_2(P)$ устремлен вдоль оси вращения внутренней рамки и соответственно равен:

$$M_2(P) = P \cdot S \cdot \cos(\vec{n}; Ox) \cdot l_2, \quad (2)$$

где l_2 – является расстоянием до центра, к которому приложена равнодействующая всех сил акустического давления.

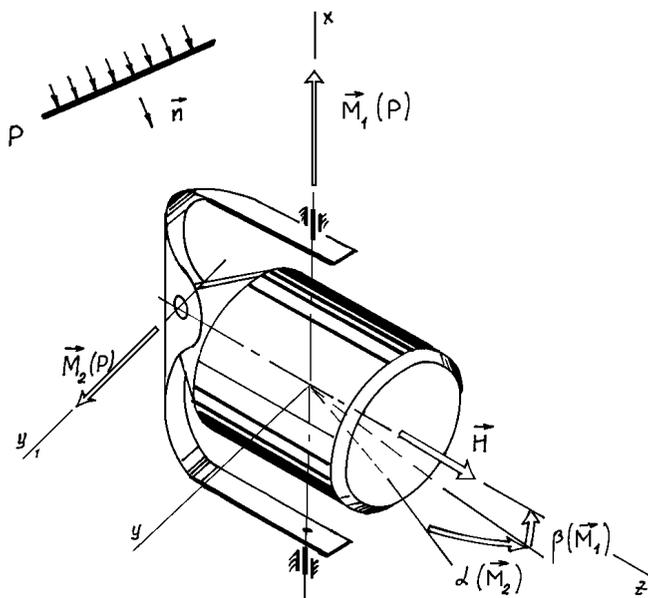


Рис. 2. Влияние звуковой волны на динамику гируинтегратора

Возникновение возмущающего момента $\vec{M}_1(P)$ приводит к отклонению главной оси на угол $\beta(\vec{M}_1)$, который нарушает требование перпендикулярности оси наружной рамки и оси фигуры. Это сказывается на искажении входного сигнала $M(W) = -mIW \cos \beta$, (3) и, соответственно, на возникновении погрешности измерений.

Появление возмущающего момента $\vec{M}_2(P)$ вызывает прецессию подвижной части на угол $\alpha(M_2)$, который в выходной сигнал вносит изменения, соответствующие также погрешности измерений.

В схеме подвеса гироскопа имеются перекрещивающиеся оси, это приводит к тому, что кожух с гиромотором, по факту, является физическим маятником, который подвержен действию волны давления. При этом наибольшую опасность вызывает ее антисимметричная составляющая

$$P_a = \frac{1}{2}(P_{10} + P_{20} - P_{30}) \cdot \exp i(\omega t - \vec{k}_0 \cdot \vec{r}), \quad (4)$$

которая приводит к раскачке относительно оси наружной рамки и осей подвеса кожуха. Получается, что симметричная составляющая давления P не представляет для подвеса серьезной опасности.

Точку, к которой приложена равнодействующая всех сил акустического давления, гораздо точнее для определенного класса приборов получится определить только в акустической камере. Для того чтобы получить наиболее качественную оценку явления необходимо прибегнуть к понятию площади какого угодно сопротивления (площади Миделя). Численное значение давления в отраженной и прошедшей волнах, т. е. P_{20} и P_{30} , можно оценить приближенно.

Исходя из всего этого, получается, что наличие геометрической асимметрии (парусности) может стать причиной появления дополнительных моментов-помех и, соответственно, – дополнительных погрешностей ГИЛУ.

Наибольшим недостатком известных ГИ является возникновение погрешности, вызванной расхождением величин кинетических моментов гироскопов и их преобразованием в процессе работы прибора, поэтому, когда проектируют ГИЛУ стремятся к тому, чтобы точка центра масс маятника находилась на оси вращения подвижной системы. Осуществляется это с целью исключения дополнительных моментов, нагружающих датчики моментов и вызванных перегрузками, перпендикулярными ОЧ.

Библиографический список

1. *Одинцов А. А.* Об уменьшении погрешностей интегрирующего гироскопа, вызванных угловыми колебаниями основания // Известия вузов СССР. Приборостроение. 1971. Т. XIV, № 2. С. 39–42.
2. *Ковалец О. Я.* Дополнительные погрешности гироскопического интегратора линейных ускорений баллистических ракет // Молодой ученый. 2011. № 9 (32). С. 33–39. URL: <https://moluch.ru/archive/32/3662/> (дата обращения: 18.03.2020).
3. *Ковалец О. Я., Заброта А. А.* Анализ возникновения дополнительных погрешностей поплавок-гироскопа // Научная сессия ГУАП: сб. докл.: в 3 ч. Ч. II: Технические науки. СПб.: ГУАП, 2010. С. 141–143.

УДК 629.7.054.07

О. А. Жданов

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. А. Авдеев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОТОМ ГРУППЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С каждым годом возможности беспилотной авиации растут, также увеличивается спектр задач, выполняемых БПЛА, появляются новые сферы ее применения. Наибольшей эффективности ее использования получается достичь организацией групповых полетов. Обеспечение управления группой БПЛА осуществляется одним из двух способов [1–3]: автономное (по заложенной в памяти бортового компьютера программе полета), либо централизованное (с помощью одного или нескольких операторов, обеспечивающих оперативное планирование полета в реальном времени со стационарного или переносного пункта). В процессе полета БПЛА приходится совершать различные маневры, это накладывает определенные требования к точности их относительного позиционирования в реальном времени. От точности определения относительных координат и скоростей также зависит минимальное расстояние между соседними БПЛА группы [1–3].

Анализ точности различных навигационных систем, показал, что наилучшую точность, наряду с глобальностью и доступностью, в настоящее время обеспечивает навигационная аппаратура потребителя (НАП) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и, в частности, ее работа в режиме относительных измерений – RTK (Real-Time Kinematic) режим [4, 5].

Для реализации относительных измерений необходимо наличие двух приемников, которые устанавливаются на борту каждого БПЛА. Обязательным условием реализации относительного режима, является наличие одновременных измерений по сигналам одних и тех же навигационных космических аппаратов навигационной аппаратурой потребителя каждого БПЛА и наличие канала связи, для передачи измерений друг другу. В результате обработки этих измерений вычисляются векторы относительного положения и скорости. Определяемый вектор между двумя точками называют вектором базовой линии [3].

Пусть A и B – определяемая пара БПЛА, а \overline{D}_{AB} – вектор базовой линии. Введем соответствующие геоцентрические векторы положения $\overline{R}_B, \overline{R}_A$ и представим вектор базовой линии в виде [3]:

$$\overline{D}_{AB} = \overline{r}_B - \overline{r}_A, \quad (1)$$

Компоненты вектора базовой линии будут определяться следующим образом:

$$\overline{D}_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{\Delta X}_{AB} \\ \overline{\Delta Y}_{AB} \\ \overline{\Delta Z}_{AB} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где X_A, Y_A, Z_A – геоцентрические координаты точки A ; X_B, Y_B, Z_B – геоцентрические координаты точки B .

Для вычисления компонент вектора базовой линии используются, так называемые, разностные уравнения, которые получаются в результате разности одновременных измерений навигационных параметров в точках A и B .

Дальномерные измерения в обоих образцах НАП могут выполняться [4]:

– путем измерения времени задержки распространения сигнала от НКА до НАП по огибающей сигнала и с учетом скорости его распространения (измерения по коду стандартной и высокой точности);

– путем подсчета количества длин волн высокочастотного сигнала на расстоянии от НКА до НАП (измерения по фазе несущей).

Навигационно-временные определения, основанные на фазовых измерениях, характеризуются высокой точностью. Однако их обработка сопряжена с рядом трудностей, связанных с необходимостью разрешения фазовой неоднозначности и устранением возможных срывов слежения за фазой несущей частоты.

Указанный выше подход позволяет компенсировать погрешности навигационных определений, являющиеся общими для определяющихся объектов.

Блок-схема работы алгоритма оценки относительного положения представлена на рис. 1 [4].

Шаг 1: Начало работы: инициализация структур данных.

Шаг 2: Считывание данных для вычисления неоднозначностей фазовых измерений спутников.

Шаг 2.1: Проверка данных фазовых измерений на пригодность. Для вычисления первой разности фазовых измерений в текущую секунду необходимы измерения по конкретному спутнику от обоих приемников. Шаг 2.2: Проверка текущего состояния спутников. По уже измеренным данным (первым разностям по двум приемникам) строится аппроксимация их вторых разностей. Шаг 2.3: Проверка данных спутников на пригодность. На основе полученных навигационных данных и эфемерид спутников вычисляются орты координат спутников в системе координат ECEF, затем по ним рассчитываются углы места спутников. Данные спутника считаются непригодными, если его угол места меньше некоторого порогового значения (использовалось значение около 0.2 радиан).

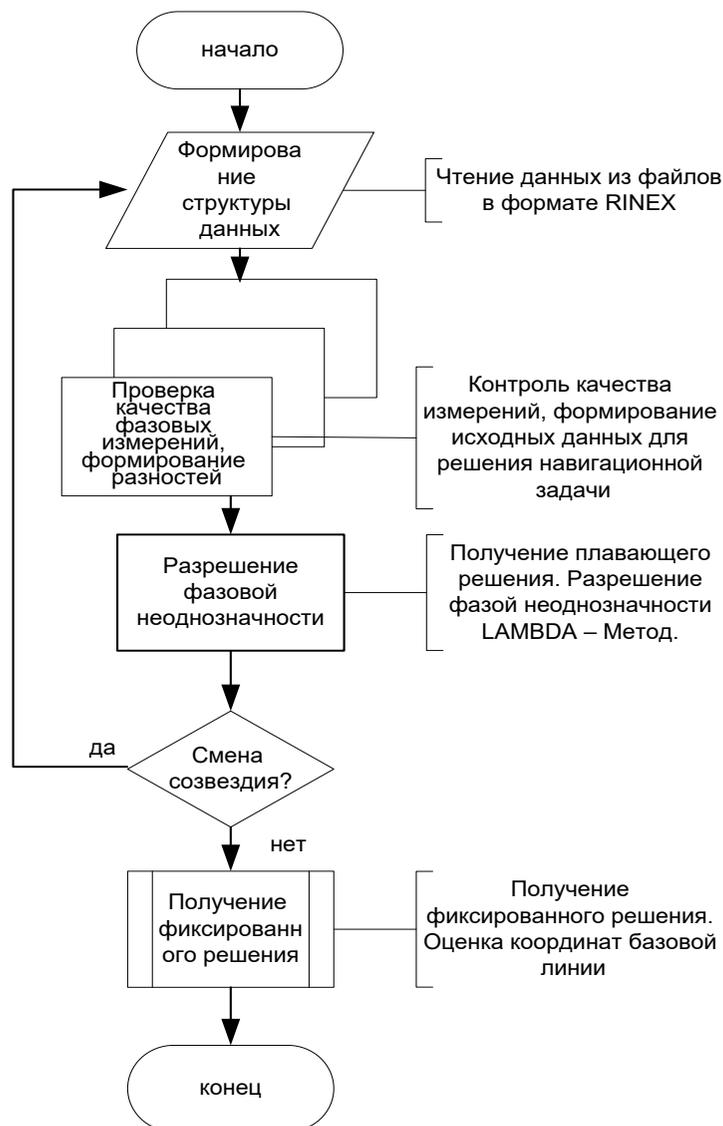


Рис. 1. Блок-схема работы алгоритма оценки относительного положения [4]

Шаг 2.4: Определение опорного спутника. В качестве него берется спутник с максимальным углом места. Также для этого спутника должны быть получены данные более чем за 3/4 рассмотренного промежутка времени (около 15 мин.). Шаг 2.5: Проверка данных на пригодность для использования в режиме вычисления базовой линии. Если в рассмотренном промежутке времени данные от какого-либо спутника перестают поступать вплоть до конца промежутка, то полученные данные пригодны только для вычислений в режиме определения неоднозначностей.

Шаг 3: Обработка вторых разностей. Режим определения неоднозначностей: расчет неоднозначностей и оценка вектора базовой линии.

На данном этапе, используя вторые разности кодовых и фазовых измерений, производится (методом наименьших квадратов или при помощи фильтра Калмана) совместная оценка координат базовой линии и вторых разностей фазовых неоднозначностей по всем спутникам. В результате получаем набор значений вторых разностей фазовых неоднозначностей в виде чисел с «плавающей» точкой. Простое округление до целого данных значений неоднозначностей может привести к значительным ошибкам в определении длины базовой линии. Наличие остаточных погрешностей кодовых и фазовых измерений приводит к формированию некоторой области в которой необходимо осуществить перебор возможных значений неоднозначностей, обеспечивающих минимум ошибки определения длины базовой линии. Для решения этой задачи применяют специальные методы разрешения фазовой неоднозначности [5].

Большая часть существующих в настоящее время приемников ГНСС, применяемых при относительном позиционировании и поддерживающих RTK режим, использует двойные разности фазы несущей GPS и/или ГЛОНАСС измерений, чтобы определить местоположение подвижного приемника. Типичная номинальная точность для двухчастотной системы – 1 сантиметр \pm 2 ppm (в плане) и 2 сантиметра \pm 2 ppm (по высоте).

Таким образом реализация предложенного алгоритма в системе управления двух или более БПЛА позволит удовлетворить самым высоким требованиям по точности определения относительной дальности и скорости при решении задач группового полета.

Библиографический список

1. Доставка беспилотниками грузов [Электронный ресурс] // RoboTrends. - Режим доступа: <http://robotrends.ru/robotpedia/dostavka-bespilotnikami-gruzov> (дата обращения: 11.04.2020).
2. Коммерческая доставка грузов с помощью дронов: мировой опыт [Электронный ресурс] // Integral. URL: <http://integral-russia.ru/2017/03/24/kommercheskaya-dostavka-gruzov-s-pomoshhyu-dronov-mirovoj-opyt/> (дата обращения: 11.04.2020)/
3. Лебедев Г. Н. Интеллектуальные системы управления и их обучение с помощью методов оптимизации: учеб. пособие. М.: МАИ, 2002.
4. Бакулев П. А., Сосновский А. А. Радионавигационные системы: учеб. для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Радиотехника, 2011. 272 с.
5. GNSS 2008 Bernhard Hofmann-Wellenhof. New-York: Springer, 2007.

УДК 62-50

А. М. Китенко

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

А. С. Ковалев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКАХ

В данной статье будет рассмотрена реализация термостабилизации корпуса для инерциального измерительного модуля, построенного на базе микромеханических датчиков производства АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР».

Инерциально-измерительные модули на базе микромеханических датчиков получили достаточно широкое применение в современной навигации благодаря своим качествам. Данные навигационные системы обладают малыми массами, габаритными размерами, энергопотреблением и себестоимостью. Таким образом, разработкой навигационных систем с использованием микромеханических датчиков занимается множество компаний по всему миру. Одними из лидеров рынка по производству данных навигационных систем являются такие компании как,

- «Xsens Technologies» [1]
- «Sensoror» [2]
- «Silicon Sensing» [3].

Одна из основных проблем данных систем является достаточно большой выходной шум, который обуславливается механической частью или встроенными электронными компонентами.

Термостабилизированный корпус позволяет уменьшить погрешности связанные с температурными зависимостями, за счет того что, температура датчиков зависит не только от внешней среды, но а также от температуры нагревательных элементов внутри корпуса. В данной модели термостабилизация будет реализована таким образом, чтобы датчики работали в диапазоне от 60°C до 85 °C, при внешней температуре от –80 до 85 °C.

Для термостабилизации была спроектирована модель инерциально-измерительного модуля на базе микромеханических датчиков производства АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР» [4]. На рис. 1 изображена модель с прозрачной крышкой модуля.

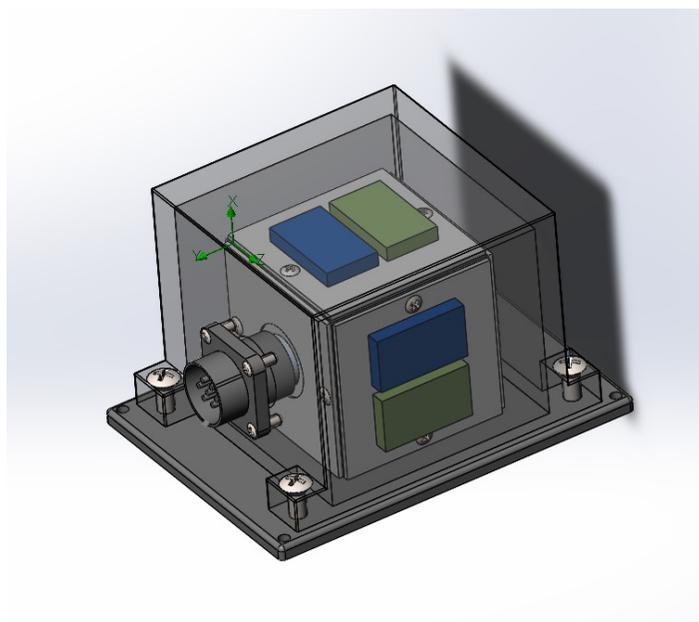


Рис. 1. Модель микромеханического модуля на базе микромеханических датчиков производства АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»

Модель была спроектирована в программном обеспечении «Solidworks», для проведения анализа, был использован пакет «Flow Simulation» входящий в состав программного обеспечения «Solidworks» [5].

Первостепенно было необходимо провести анализ возможных способов реализации термостабилизации корпуса. В первую очередь это зависит от выбранных элементов, которые будут нагревать сам корпус или датчики напрямую. Проведя краткий анализ разновидностей нагревательных элементов, был выбран способ прямого контакта между нагревателем и печатной платы, где установлены сами датчики. Нагрев внутри корпуса будут обеспечивать плоские металлические нагреватели с удельной мощностью рассеивания до 40 Вт/см². Данный нагревательный элемент позволяет равномерно распределять тепло в месте соприкосновения с печатной платой, так как может быть разработан по конфигурации в плоскости повторяющий нагреваемую поверхность, в результате чего достигается наиболее оптимальная передача тепла от теплоотдающей поверхности к нагреваемой поверхности, что значительно сокращает потери [6]. Также данные нагревательные элементы, могут быть скреплены с обогреваемой поверхностью двумя способами. При первом способе крепления могут использоваться болты или винты, для этого во время производства нагревателя сверлятся отверстия определенного диаметра. Второй способ заключается в использовании терморасты, благодаря чему, уменьшаются тепловые потери. Но наилучшим решением будет, скомбинировать два этих способа.

Термический анализ в «Flow Simulation» можно проводить в стационарном и в нестационарном режиме. Нестационарный режим решения задачи, позволяет оценивать результаты в определенном промежутке времени. В табл. 1 указаны начальные условия моделирования.

Таблица 1

Начальные условия моделирования

Термодинамические параметры	Статическое давление: 101325.00 Па Температура внутри корпуса: -80.00 °С Температура снаружи корпуса: -80.00 °С
Параметры твердого тела	Начальная температура твердого тела: -80.00 °С
Мощность тепловыделения компонентов в сборке	Микроконтроллер 2 Вт/см ² Датчики 0.2 Вт/см ² Нагревательный элемент от 3.5 до 7 Вт/см ²

На рис. 2 показана зависимость температуры от времени. Из этого графика следуют, чтобы прогреть гироскоп до 60 градусов при начальных условиях приведенных в таблице 1, необходимо затратить 3400 секунд, при мощности нагревательных элементов 3.5 Вт/см².

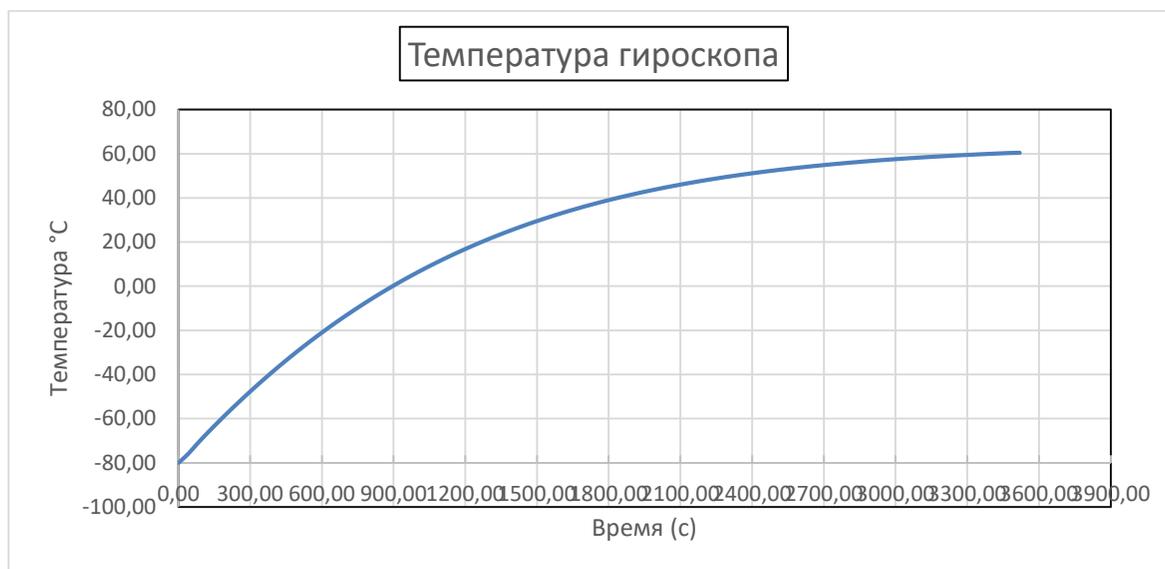


Рис. 2. Изменение температуры гироскопа при мощности нагревательного элемента 3,5 Вт/см²

За данное время также прогреваются и все остальные датчики, с небольшой разницей в температурах. Для более равномерного распределения температуры внутри корпуса присутствует газ. В данном случае для упрощения, был взят воздух с нулевой влажностью. Распределение воздушной массы изображено на рис. 3. Из рис. 3 видно, где воздушная масса нагревается и также можно увидеть, что на боковых гранях, воздушная масса охлаждается.

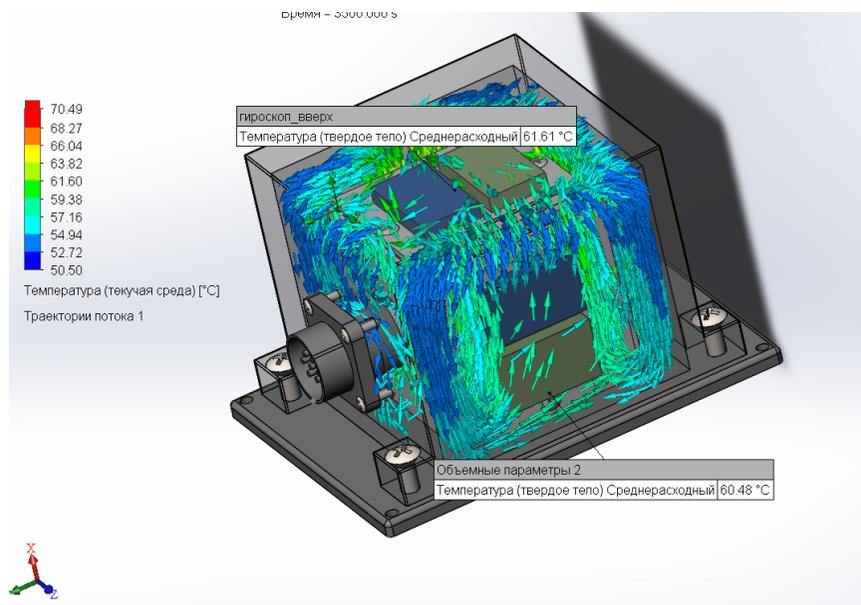


Рис. 3. Распределение воздушной массы внутри корпуса

Регулировка мощности нагревательных элементов должна осуществляться микроконтроллером, который расположен на отдельной плате. В данной сборке, температурные датчики установлены внутри микромеханических гироскопов и акселерометрах, получая информацию от датчиков температуры, микроконтроллер изменяет мощность нагревательных элементов. При заданной мощности в 7 Вт/см² нагревательных элементов, скорость нагрева датчиков вырастает в 4 раза. На рис. 4 изображен график температуры от времени для гироскопа при разных мощностях нагревательных элементов.

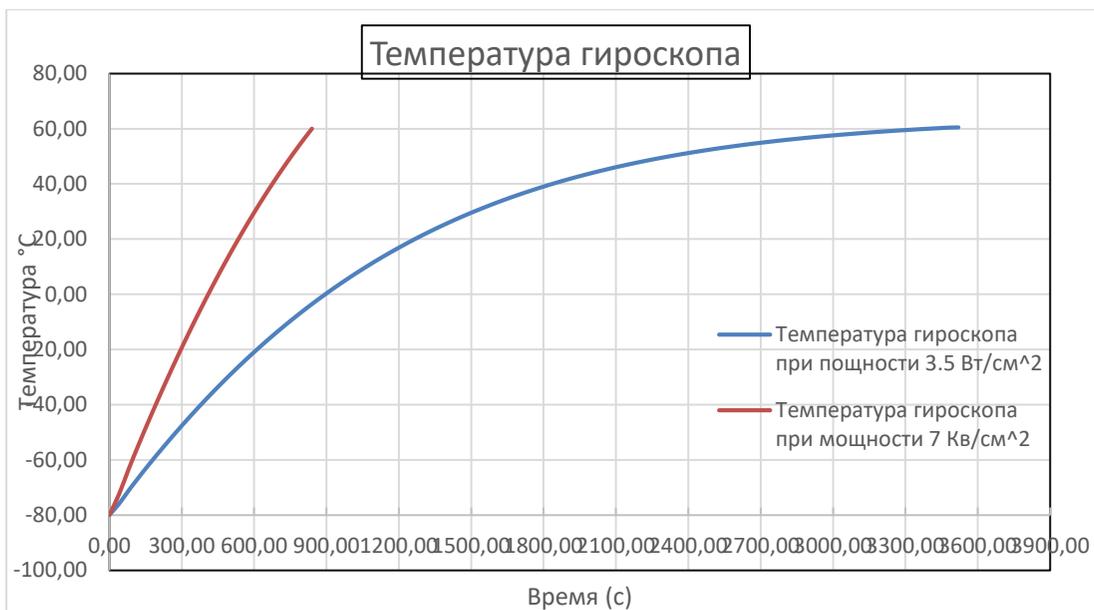


Рис. 4. Изменение температуры гироскопа при мощности нагревательного элемента 3,5 и 7 Вт/см²

В данной статье была продемонстрирована одна из возможных реализаций термостабилизации корпуса и были приведены первичные расчеты. Из которых следует, чтобы выйти на рабочие температуры наиболее быстрым способом, выставляется наибольшая мощность нагревательных элементов. При достижении желаемых температур, мощность понижается, для поддержания заданной температуры. В следствие термостабилизации корпуса, удается уменьшить уровень выходного шума, который зависит от температуры. Также благодаря термостабилизации удалось повысить диапазон рабочих температур микромеханических датчиков производства АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР» в пределах $-80... +85$ °С.

Библиографический список

1. Официальный сайт компании «Xsens Technologies». URL: <https://www.xsens.com/> (дата обращения: 05.05.2020).
2. Официальный сайт компании «Sensoror». URL: <https://www.sensoror.com/> (дата обращения: 05.05.2020).
3. Официальный сайт компании «Silicon Sensing». URL: <https://www.siliconsensing.com/> (дата обращения: 05.05.2020).
4. Официальный сайт компании «Dassault Systemes». URL: <https://www.3ds.com/> (дата обращения: 06.05.2020).
5. Официальный сайт АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР». URL: <http://www.elektropribor.spb.ru/> (дата обращения: 06.05.2020).
6. Официальный сайт производителя плоских нагревателей. URL: http://onyxmef.ru/nametall.htm#h2_12 (дата обращения: 06.05.2020).

УДК 614.88

М. С. Лебедева

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. П. Семенова

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

С. Ф. Скорина – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**МОДЕРНИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШЕГО**

В современном мире остро стоит проблема здравоохранения, отрасли жизнеобеспечения, имеющей принципиальное значение, глобальная задача которой состоит в улучшении качества и продолжительности жизни человека, в сохранении жизни.

Только по статистике ГИБДД (государственная инспекция безопасности дорожного движения) в прошлом 2019 г. в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) погибло около 17 тысяч человек. За 2016 г. этот показатель составлял свыше 20 тысяч [1].

Ради снижения числа погибших в настоящее время ежегодно в оборот вводятся новые методы лечения, усложняется программа подготовки персонала, развивается медицинское оборудование. Все это помогает улучшить качество медицинского обслуживания.

Кроме того, по данным сводок ЦНИИ (Центральный научный исследовательский институт) за последние годы существенно сократилось время прибытия медицинского персонала к пострадавшим. Доля вызовов со временем доезда до пациента менее 20 минут по отношению к общему числу вызовов возросла с 88,3 % в 2016 г. до 89,4 % в 2018 г. [2].

Доля выездов бригад скорой медицинской помощи, %

Данные по Российской Федерации на момент	До места вызова				До места ДТП			
	до 20 минут	21-40 минут	от 41 до 60 минут	более 60 минут	до 20 минут	21-40 минут	от 41 до 60 минут	более 60 минут
2016	88,3	8,1	2,2	1,5	94,0	5,0	0,7	0,3
2017	88,8	8,0	2,0	1,2	94,6	4,5	0,6	0,2
2018	89,4	7,4	1,93	1,27	95,1	3,83	0,65	0,46

Однако процент летальных исходов непосредственно в автомобиле скорой медицинской помощи (СМП) за последние годы практически не изменился и составляет около 2 % от всех летальных исходов, зарегистрированных на догоспитальном этапе.

В большинстве случаев смерть в машинах СМП регистрируется у пациентов с тяжелыми травмами, несовместимыми с жизнью, которые сопровождаются шоком и острой кровопотерей, а также у пациентов с хронической патологией в критическом состоянии.

Основная проблема оказания помощи этой категории больных связана с тем, что на ранних этапах госпитализации медицинский персонал может только строить предположения об имеющихся повреждениях. В то же время необходимо в кратчайшие сроки провести диагностику повреждений, транспортировать потерпевшего в стационар. Все это сопровождается неравномерной нагрузкой на тело, может вызвать новые смещения и усиление болевой импульсации, увеличить внутреннюю кровопотерю.

По статистике ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), в 90 % случаев, причиной осложнения состояния пациента является его неправильная иммобилизация и последующая транспортировка. Именно поэтому перемещения пострадавшего должны всегда осуществляться максимально быстро, целенаправленно и как можно более «бережно», исключая резкие воздействия и, по возможности, без изменения позы больного, во избежание нанесения ему новых повреждений.

В настоящий момент согласно приказу Министерства здравоохранения РФ от 22 января 2016 г. в состав оснащения автомобиля СМП, в зависимости от его класса, должны быть включены следующие средства транспортировки и иммобилизации [3]:

- тележка-каталка;
- приемное устройство тележки-каталки;
- носилки;
- комплекты шин;
- щит спинальный с устройством для фиксации головы, рентгенпрозрачный, амагнитный;
- комплект повязок разгружающих для верхней конечности (для взрослых и детей);
- косынки медицинские;
- матрас вакуумный иммобилизационный с разнонаправленными ремнями разного цвета, для обеспечения фиксации по передней поверхности тела.

И все же использование этих средств не может полностью устранить влияние внешних воздействий на потерпевшего, особенно при его перевозке в машине СМП. Связано это в частности с плохим качеством дорожного покрытия в РФ. Ускорения при торможении и поворотах машины, вибрации и удары при движении по неровной или плохо отремонтированной дороге. Эти и другие факторы оказывают серьезное негативное влияние на тело пациента при его госпитализации, существенно увеличивая вероятность летального исхода.

Но если представить пациента и носилки не отдельно, а как единый подвижный объект, обладающий массой, моментом инерции и подверженный различного рода динамическим нагрузкам то вопрос об устранении влияния внешних воздействий может быть решен путем создания автономной системы стабилизации.

Тогда основная задача будет состоять в определении параметров углового положения некоторой платформы, на которой необходимо установить приборы, и выработке сигналов управления, способных обеспечить требуемое положение в выбранной системе координат. Технологически вопрос автономности прекрасно решается использованием гироскопа, в качестве измерительного устройства.

Это возможно благодаря двум его основным свойствам:

- способности сохранять заданное направление оси собственного вращения в инерциальном пространстве;
- возможности прецессировать под воздействием внешнего момента.

Такое устройство, в котором гироскоп осуществляет слежение за внешним моментом и с помощью двигателя компенсирует его, создавая обратно направленное прецессионное движение и удерживая тем самым стабилизируемую массу в неизменном положении, и называют гиросtabilизатором (ГС). В общем случае он изолирует стабилизируемый объект от движения основания, тем самым обеспечивая его полную неподвижность, что, по сути, и является главной задачей транспортировки пострадавшего [4].

Для перевозки пациента достаточно провести стабилизацию в плоскости горизонта, применив двухосный гиросtabilизатор (ДГС). Конструктивное оформление ДГС, выполненного по классической схеме, представлено на рис. 1.

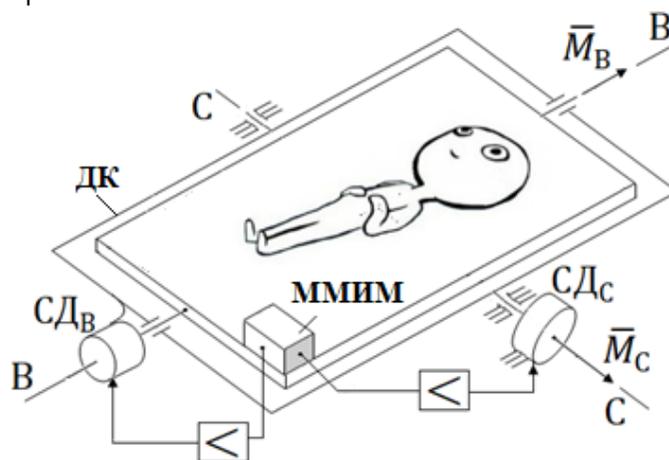


Рис. 1. Кинематическая схема платформы с ДГС

Платформа, на которой располагаются чувствительный элемент (ЧЭ), а также пострадавший, выступает в качестве наружного кольца. Совокупность измерительных датчиков: двух гироскопов и акселерометров – реализуется в двухкоординатном микромеханическом инерциальном модуле (ММИМ), сигналы с которого через усилители поступают на соответствующие стабилизирующие двигатели СДс и СДв. Двигатели поворачивают дополнительное кольцо ДК, тем самым обеспечивая стабилизацию и коррекцию горизонтального положения платформы.

Использование платформы ДГС допускает большие нагрузки. Гироскопы, установленные на платформе, вокруг осей прецессии поворачиваются на относительно малые углы. При этом облегчена балансировка гироскопов вокруг осей прецессии, расширены возможности конструктивного оформления платформы ГС.

Таким образом, учитывая проблемы летальности при транспортировке, и проведя анализ состояния медицинских средств иммобилизации, можно заключить, что на нынешний момент разработка системы стабилизации на основе ДГС имеет право на существование и создание такой системы важно и актуально.

Библиографический список

1. Сведения ГИБДД о показателях состояния безопасности дорожного движения. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 17.04.2020).
2. Департамент мониторинга, анализа и стратегического развития здравоохранения. Статистические материалы. URL: <https://www.rosminzdrav.ru/ministry/61/22/stranitsa-979/statisticheskie-i-informatsionnye-materialy/statisticheskie-materialy> (дата обращения: 17.04.2020).
3. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 22 января 2016 года № 33н «Об утверждении Порядка оказания скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи».
4. *Серегин В. В.* Прикладная теория и принципы построения гироскопических систем: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 78 с.

УДК 629.7.063.6

М. И. Лесняк

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Е. В. Шигачев

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

К. С. Гунин

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Ю. М. Осипов

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

П. Н. Неделин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ (H) И ОБЪЕМА ТОПЛИВА (V) В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЕМКОСТИ

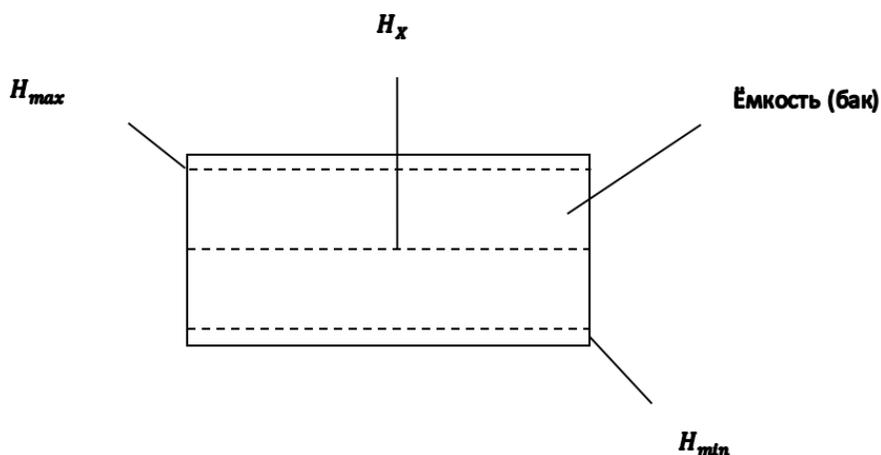


Рис. 1. Уровень топлива при горизонтальном полете

H_x – некое текущее значение уровня;
 H_{min} – минимальное (критическое) заполнение;
 H_{max} – максимальное заполнение.

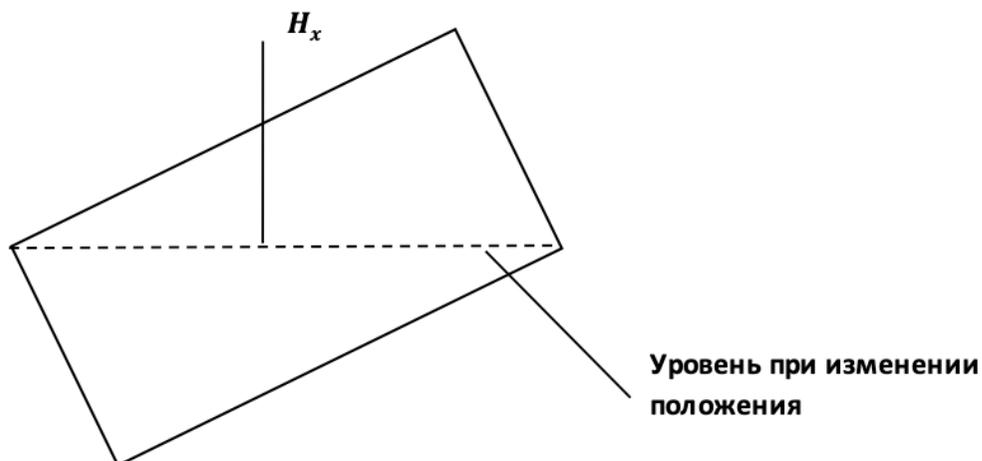


Рис. 2. Уровень топлива при крене

При наклоне (изменении) положения измеренное значение H_x и соответствующего ему объема V_x неверное.

Идея измирителя:

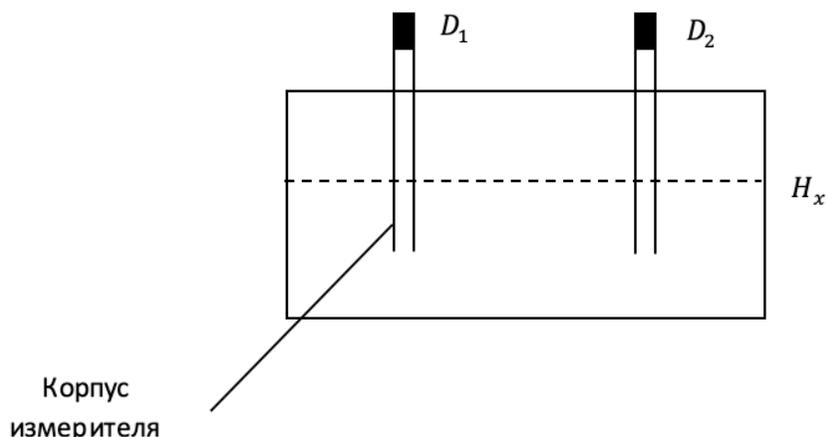


Рис. 3. Схема измерителя с использованием двух датчиков уровня

Измеритель содержит два одинаковых (D_1, D_2) датчика уровня, размещенных в цилиндрических корпусах, закрепленных в корпусе бака, как показано на рис. 3. Выходным сигналом $D_1 \dots D_2$ является:

1. Аналоговый сигнал, амплитуда которого пропорциональна H_x с учетом «наклона» бака;
2. Цифровой сигнал (выходной код) также зависящий от H_x и положения наклона бака.

Тогда, при горизонтальном положении бака, показания D_1, D_2 будут одинаковыми, при наклоне – различными.

Как следует из изложенного, измерение уровня топлива (жидкости) посредством одного датчика возможно в стационарных емкостях; при изменении положения емкости показания датчика дадут верный результат лишь при горизонтальном положении (рис. 1, рис. 2). Вследствие этого целесообразно (рис. 3) использование двух датчиков уровня, по показаниям которых возможно:

1. Определение горизонтального положения емкости, т. е. равенства показаний датчиков D_1 и D_2 ;
2. Измерение уровня по показанию любого из двух датчиков.

Промышленные ультразвуковые датчики уровня вырабатывают выходной сигнал:

1. В аналоговом формате – в виде выходного напряжения $U_{\text{вых}}$, пропорционального уровню топлива H ;
2. В виде цифрового кода B , пропорционального уровню топлива H .

В первом случае функциональная схема измерителя с двумя датчиками D_1 и D_2 (аналоговыми) выглядит следующим образом:

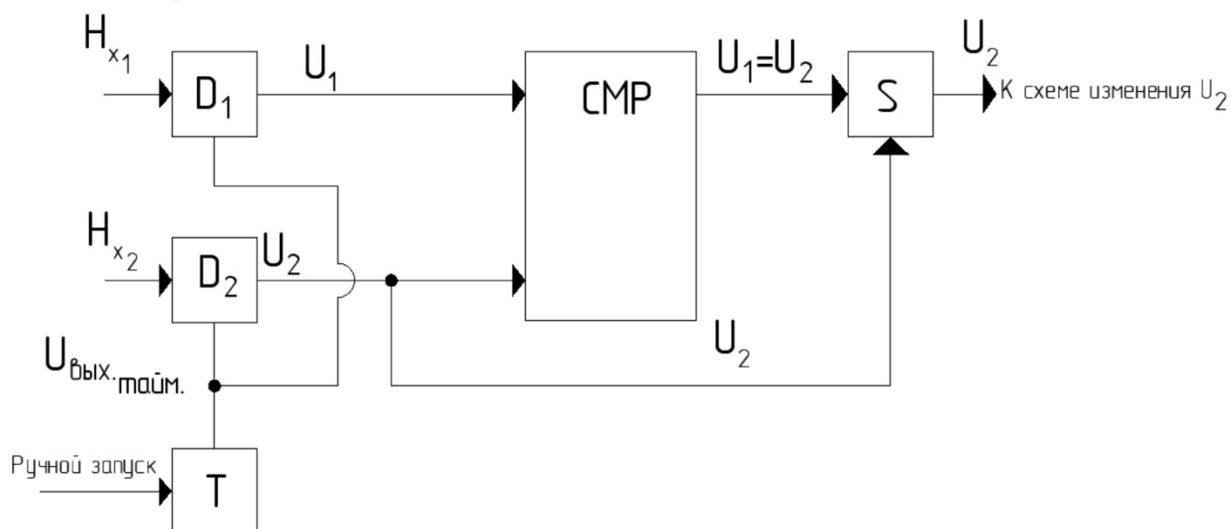


Рис. 4. Функциональная схема измерителя с двумя датчиками D_1 и D_2

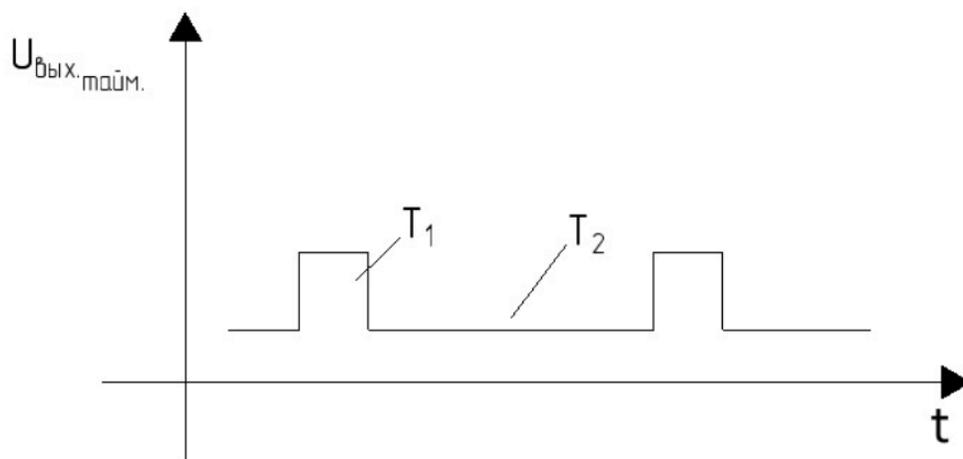


Рис. 5. Диаграмма выходного сигнала таймера Т

Управление работой схемы осуществляется посредством таймера Т (рис. 4), диаграмма выходного сигнала которого показана на рис. 5.

Таймер Т работает в автоматическом режиме, хотя возможен и ручной запуск.

В интервале времени T_1 (рис. 5) производится запуск работы датчиков D_1 , D_2 , которые вырабатывают напряжение U_1 и U_2 , пропорциональные уровням топлива H_{x1} и H_{x2} в корпусах датчиков, вмонтированных в топливный бак (рис. 6).

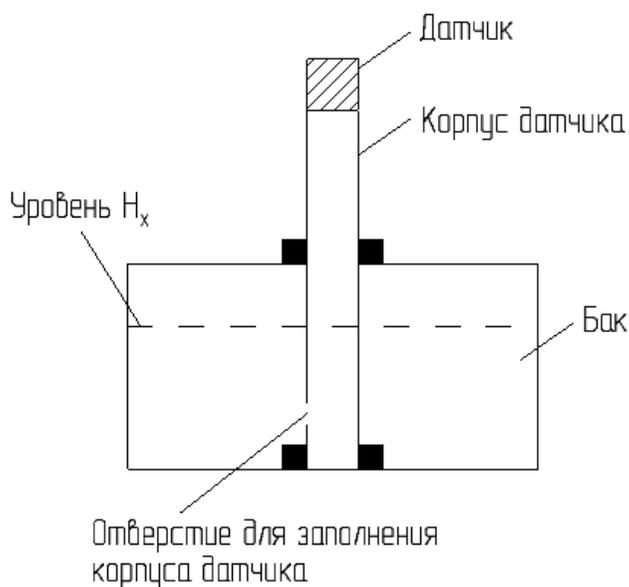


Рис. 6. Схема топливного бака с вмонтированным датчиком

Измеренные значения U_1 и U_2 поступают на входы аналогового компаратора СМР (рис. 5). При равенстве выходных сигналов датчиков $U_1 = U_2$, что соответствует горизонтальному положению бака. Выход компаратора « $U_1 = U_2$ » устанавливает в единицу, которая открывает аналоговый ключ S и выходное напряжение любого датчика (например U_2) подается на вход схемы измерения уровня. При неравенстве U_1 и U_2 выход компаратора « $U_1 = U_2$ », устанавливается в ноль, ключ S оказывается закрытым и выходной сигнал датчика на схему измерения уровня не поступает.

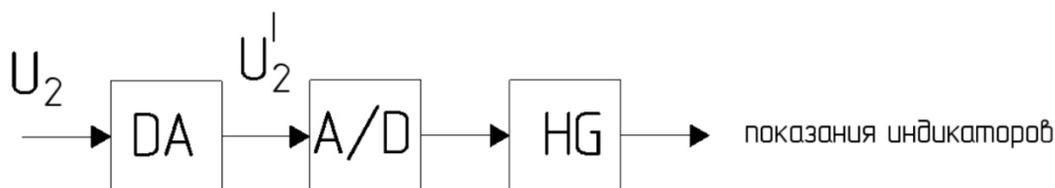


Рис. 7.а. Схема измерения уровня

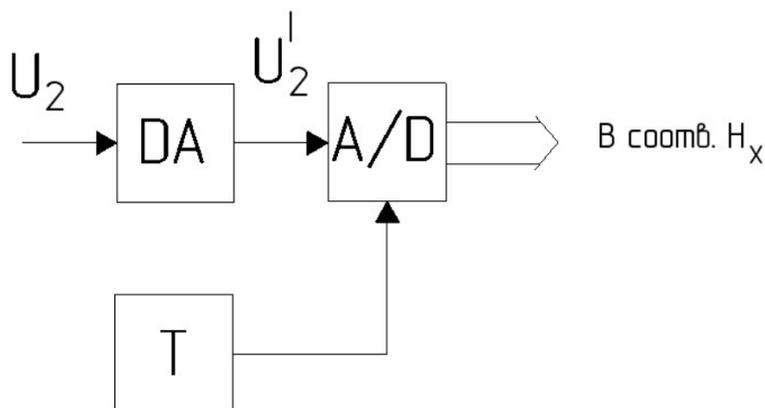


Рис. 7.б. Схема измерения уровня

Варианты реализации схем измерения уровня (H_x), т. е. значение U_2 (или U_1) представлены на рис. 7.а и 7.б. На рис. 7.а – DA – усилитель значения U_2 , A/D – микросхема цифрового вольтметра (например S72 ПВ2), HG – цифровая индикация. Здесь схема DA формирует значения выходного напряжения в пределах $0 \dots 1В$, которые соответствуют максимальному (0) и максимальному значению уровня топлива. Тогда показания индикаторов (3,5 разряда) могут соответствовать «000» – min уровня (пустой), «500» – бак заполнен наполовину, «1000» – полный.

Другой вариант представлен на рис. 7.б, где посредством аналого-цифрового преобразователя формируется многоразрядный цифровой код B, значения которого могут оцениваться бортовым вычислителем. Здесь срабатывание АЦП (A/D) происходит по окончании процедуры измерения (рис. 7).

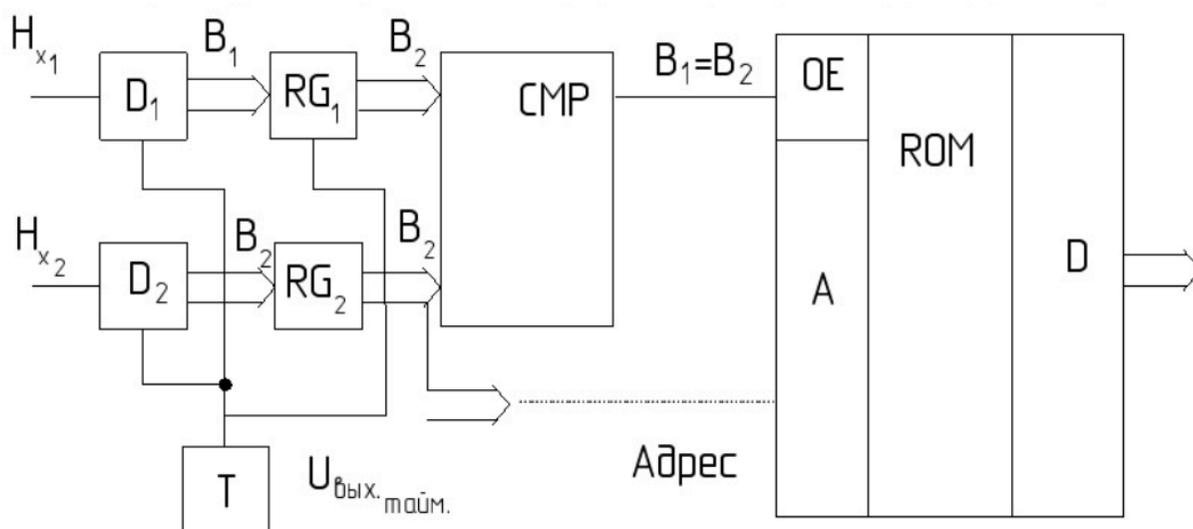


Рис. 8. Схема измерения объема топлива в баке сложной формы

При необходимости определение объема топлива в баке сложной формы целесообразно использовать ультразвуковые датчики уровня, формирующие на выходе цифровой код B , пропорциональные уровню топлива в баке. Схема измерения представлена на рис. 8. Здесь D_1, D_2 – цифровые датчики уровня формирующие цифровые коды B_1, B_2 пропорциональные уровню топлива в нестационарной емкости. Управление процедурой измерения, как и ранее осуществляется таймером T . По окончании процесса измерения (формирования кодов B_1, B_2) их значения загружаются в регистры RG_1, RG_2 (с параллельной загрузкой) и подаются на входы многоразрядного цифрового компаратора $СМР$. При равенстве $B_1 = B_2$ (горизонтальное положение емкости) вырабатывается единица на выходе « $B_1 = B_2$ » компаратора, что обеспечивает доступ в память (ROM).

Теперь код датчика (например B_2) загружается в схему памяти (ROM) (адресные входы), которая запрограммирована под конкретную конфигурацию топливного бака, когда экспериментально (конструктивно) определено соответствие уровня H_x и соответствующего объема V_x :

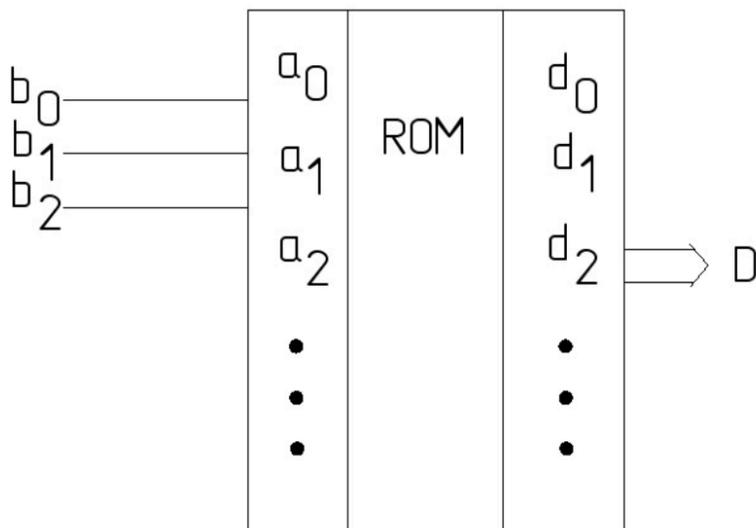


Рис. 9. Измерительно-информационная система

В этом случае код уровня H_{x2} (B_2) является адресом памяти (A), а считываемые данные (D) – представляют собой код объема, т. е. $H_{x1} \Rightarrow V_{x1}, H_{x2} \Rightarrow V_{x2}$ и т.д. Значение кода объема (V_x) загружается в измерительно-информационную систему с целью представления пользователю (пилоту) данных об объеме (количестве) топлива в баке. Схема работает периодически, ритм может быть задан таймером исходя из практических соображений. В любом случае, при отсутствии равенства кодов B_1 и B_2 , показания объема топлива не производится. Точность измерения определяется прежде всего характеристиками датчиков D_1, D_2 , в том числе разрядностью выходных кодов B_1, B_2 . Для более грубых (приблизительных) измерений при сравнении кодов $B_1 \dots B_2$ можно пренебречь значениями младших разрядов.

Следует отметить, что этапы процедуры измерений – сравнение B_1, B_2 ; установление факта их равенства, преобразование кодов уровня в коды объема или количества топлива могут быть реализованы программным путем с реализацией на микроконтроллере.

Библиографический список

1. Приборное оборудование самолета Як-40 и его летная эксплуатация: учеб. пособие / сост. Е. В. Антонец, Г. А. Федосеева. Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2011. 54 с.
2. Самолет Як-40: рук. по летной эксплуатации. М.: Воздушный транспорт, 1995.
3. Авиационные приборы и измерительные системы / под ред. В. Г. Воробьева. М.: Транспорт, 1981. 391 с.
4. Михайлов О. И., Козлов И. М., Гергель Ф. С. Авиационные приборы: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 1977. 410 с.

УДК 620.1-1/-9

О. С. Лесонен

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

П. А. Назаренко

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. А. Авдеев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, РЕАЛИЗУЮЩИЕ ПОСАДКУ

Введение

Этап посадки является одним из ключевых в применении любого летательного аппарата независимо от его функционального назначения, поэтому актуальность развития навигационных средств очень высока. На современных ЛА (летательных аппаратах) устанавливаются различные навигационные системы, помогающие пилоту вести самолет или оператору управлять беспилотным комплексом по заданному маршруту и выполнять предпосадочное маневрирование.

Радиосистемы (радиомаячные системы) посадки

Главная задача – определение угловых отклонений $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$ от траектории захода на посадку. Траектория задается линией курса в горизонтальной плоскости и линией глиссады в вертикальной плоскости. Для определения $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$ используют либо амплитудный метод измерения координат, либо импульсный.

Классификация радиосистем посадки:

- Система I категории обеспечивает управление самолетом при заходе на посадку до высоты 60 м над поверхностью Земли при видимости взлетно-посадочной полосы не менее 800 м;
- система II категории предназначена для управления самолетом при заходе на посадку до высоты 30 м при видимости на ВПП не менее 400 м. Цифры 60 и 30 м определяют высоту принятия решения, до достижения которой пилот самолета, заходящего на посадку, должен установить уверенный визуальный контакт со светотехническими средствами аэродрома и принять решение: продолжать снижение для завершения посадки, или уйти на второй круг;
- система III категории должна обеспечить посадку с приземлением при значительном ограничении или отсутствии видимости Земли. Регламентированы три группы этой категории: системы посадки группы 3А должны обеспечить посадку при видимости на ВПП 200 м; группы 3В – 50 м; группы 3С – при полном отсутствии видимости.

Системы посадки II и III категорий должны быть полностью автоматические. Необходимость автоматизации посадки объясняется тем, что даже при выводе самолета из облачности на высоте 30 м (II категория) летчик имеет в запасе всего 13-15с (в зависимости от скорости снижения, которая обычно равна 1.8-2.3 м/с) для выравнивания летательного аппарата (ЛА), компенсации его сноса и приземления. Так как обзор приборной доски требует примерно 3 с и при этом летчик не имеет возможности следить за приборами, то благополучное приземление зависит только от возможностей радиосистем посадки (РСП), в первую очередь, от точности и надежности аппаратуры посадки.

В состав наземного оборудования РСП МД (и частично дециметрового) входят курсовые и глиссадные радиомаяки, располагающиеся в непосредственной близости от ВПП (взлетно-посадочной полосы) (рис.1) [1].

Основное оборудование для захода самолетов на посадку выдает информацию: о траектории посадки в горизонтальной плоскости, т. е. о расположении курсовой линии – канал курса; о траектории посадки в вертикальной плоскости, т. е. о расположении глиссады – канал глиссады; о расстоянии до начала ВПП при пролете фиксированных точек на оси ВПП – маркерный канал. Наземная аппаратура состоит из курсового (КРМ), глиссадного (ГРМ) и маркерного (МРМ) радиомаяков, комплекса контрольно-поверочных приборов, имитаторов и вспомогательного оборудования. Самолетная аппаратура состоит из приемных устройств, выдающих информацию на индикаторы или на вычислительные устройства при автоматизации посадки самолетов.

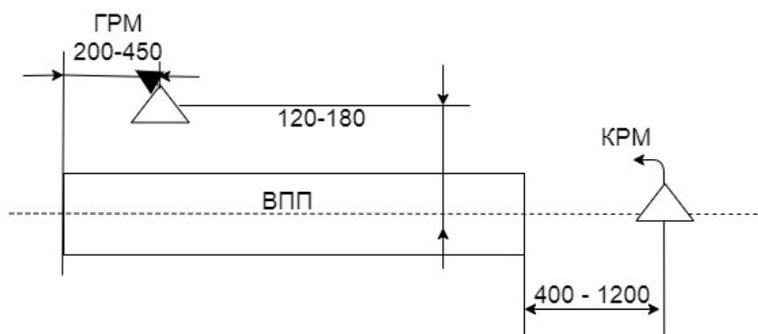


Рис. 1. Расположение радиомаяков

Используемые в настоящее время системы посадки метрового диапазона волн (МВ) обладают некоторыми недостатками и ограничениями:

- 1 несоответствие возможностей этих систем летно-техническим характеристикам перспективных летательных аппаратов, поскольку они задают единственную прямолинейную посадочную траекторию, фиксированную относительно земной поверхности;
- 2 малые размеры сектора, в пределах которого обеспечивается пропорциональная зависимость информационного сигнала от смещения самолета относительно посадочной траектории, что уменьшает возможности предпосадочного маневрирования и ограничивает пропускную способность аэропорта;
- 3 большие габаритные размеры антенных систем;
- 4 значительное влияние земной поверхности на качество работы;

Радиосистемы посадки сантиметрового диапазона

Радиосистемы посадки сантиметрового диапазона (РСП СД) предназначены для получения на борту ЛА информации об углах отклонения летательного аппарата от заданной траектории посадки в вертикальной и горизонтальной плоскостях, дальности до расчетного места приземления, метеословиях, состоянии ВПП, категории метеоминимума обслуживания.

Основа РСП СД – независимые друг от друга угломерная (УПС) и дальномерная (ДПС) подсистемы. Первая служит для определения угловых положений ЛА в горизонтальной и вертикальной плоскостях с помощью азимутальных и угломестных радиомаяков. Бортовая аппаратура (БА) УПС общая для всех функций, связанных с определением угловых координат ЛА.

Наземное оборудование предназначено для создания зон, в пределах которых информативные параметры принимаемых сигналов зависят от углового положения точки приема в горизонтальной или вертикальной плоскостях, а также для определения расстояния до точки приземления.

Комплект наземного оборудования MLS (Microwave Landing System) (рис. 2) состоит из угломерной и дальномерной подсистем. Угломерная подсистема состоит из четырех угломерных каналов (два для измерения углов в азимутальной плоскости и два в угломестной).

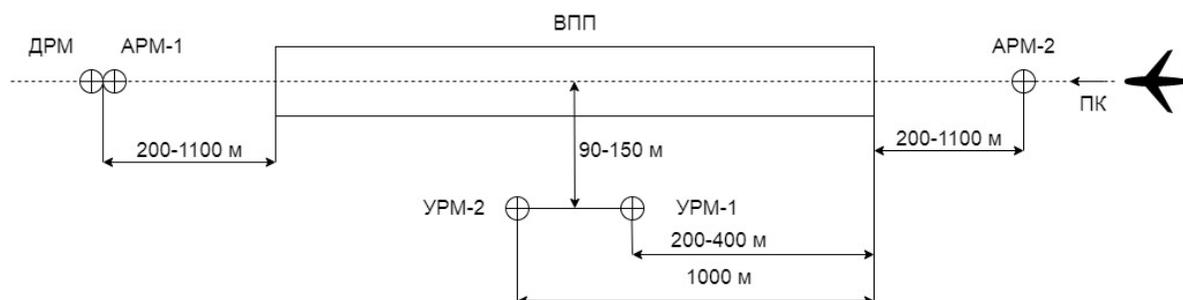


Рис. 2. Схема размещения радиомаяков MLS

Спутниковые технологии посадки

Единственной реальной альтернативой для эффективного и оперативного решения проблемы повышения безопасности полетов (БП) является обеспечение их инструментальными системами спутниковой посадки, получившими в международной практике обозначение GLS (Global Landing System).

Внедрение GLS для повышения БП ВС обусловлено следующими обстоятельствами:

- положительный опыт практического использования глобальных навигационных спутниковых систем: американской GPS и российской ГЛОНАСС;
- международная организация гражданской авиации (ICAO – International Civil Aviation Organization) рассматривает ГНСС как стандартное радионавигационное средство для решения конкретных задач самолетовождения;

Основными функциями бортового оборудования GLS являются: прием сигналов ГНСС, прием и обработка сообщений ЛККС, выбор траектории захода на посадку (FAS), формирование параметров для точного наведения («ILS-подобных» сигналов), определение района точного захода на посадку, формирование навигационных параметров (координаты, скорости и время) и сигналов тревоги.

Высокая точность спутниковой навигации с применением данных GLS обеспечивает возможность сокращения протяженности линии пути и полетного времени (сокращение расхода топлива), снижение минимумов эшелонирования.

Вывод

Поиск и разработка новых способов, схем и навигационных средств посадки является одной из наиболее актуальных задач, от успешного решения которой зависит расширение области применения ЛА, в частности БПЛА, и развитие беспилотной авиации в целом.

Библиографический список

1. Авдеев В. А. Конспект лекций по дисциплине «Технические средства навигации и управления движением». СПб.: ГУАП, 2018.
2. Институт Авиационного приборостроения «Навигатор» (АО «Навигатор»). URL: <https://navigat.ru/articles-list/sputnikovye-tekhnologii-posadki-osnova-bezopasnosti-poletov-vertoletov/> (дата обращения: 10.05.2019).
3. Шивринский В. Н. Навигационные системы летательных аппаратов. Ульяновск: УлГТУ, 2012.
4. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. URL: <https://www.glonass-iac.ru/guide/navfaq.php#section7> (дата обращения: 17.05.2020).

УДК 620.1-1/-9

О. С. Лесонен

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

П. А. Назаренко

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. А. Авдеев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ПРИ ПОСАДКЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Введение

Проблема посадки БПЛА и сохранность его при посадке является актуальной технической задачей, требующей применения специальных навигационных систем, которые с заданной точностью должны определять текущие навигационные параметры БПЛА [1].

Способы посадки беспилотных летательных аппаратов

Беспилотный летательный аппарат — летательный аппарат без экипажа на борту, использующий аэродинамический принцип создания подъемной силы с помощью фиксированного или вращающегося крыла (БПЛА самолетного и вертолетного типа), оснащенный двигателем и имеющий полезную нагрузку и продолжительность полета, достаточные для выполнения специальных задач. БПЛА могут обладать разной степенью автономности — от управляемых дистанционно до полностью автоматических, а также различаться по конструкции, назначению и множеству других параметров [2].

Что касается именно посадки, то этот этап во многом определяет такие важные характеристики беспилотного комплекса, как допустимые условия применения, гибкость, мобильность, маневренность, автономность, всепогодность.

Все известные способы посадки БПЛА могут быть сведены к следующим схемам:

- посадка по-самолетному (на взлетно-посадочную полосу);
- посадка по-вертолетному (на площадку);
- посадка с использованием парашюта;
- посадка в улавливающее устройство.

Реализация автоматической посадки для БПЛА [3], представляет собой сложную задачу. В этом случае, вместо летчика бортовая система управления должна решать задачи планирования действий, оценки текущего состояния и управления исполнительными органами. При этом система управления должна обеспечивать устойчивость, малое время отработки больших отклонений и точность выхода в заданную точку приземления [1].

Обоснование требований к точности навигационных определений при посадке БПЛА

Рассмотрим случай, когда для системы управления БПЛА стоит предварительная задача выхода на координаты платформы по изображению карты местности. Изображение сформировано либо в декартовой, либо в полярной системе координат [4]. Начало системы координат находится в точке, которая является проекцией центра масс БПЛА на земную поверхность в некоторый момент времени.

Декартовы координаты выбираются так, чтобы ось Ox изображения соответствовала путевой дальности, а ось Oy – поперечной горизонтальной дальности. В полярной системе координата D соответствует горизонтальной дальности объекта, а координата Θ – его угловому положению относительно проекции линии пути БПЛА на земную поверхность.

Искомые картографические координаты платформы x_u, y_u определяются измерением декартовых координат изображения платформы x_k, y_k и их преобразованием по формулам:

$$x_u = x_H + M_x^{-1} x_k \cos^{-1} \Theta_k + M_y^{-1} y_k \Theta_k, \quad y_u = y_H + M_x^{-1} x_k \cos^{-1} \Theta_k + M_y^{-1} y_k \Theta_k, \quad (1)$$

где x_H, y_H – навигационные координаты БПЛА, соответствующие началу координат на изображении; Θ_K – курсовой угол (элемент внешнего ориентирования), т.е. угол между осями системы координат на карте и на изображении; x_K, y_K – координаты объекта на изображении; M_x, M_y – масштабные коэффициенты изображения по осям Ox_K, Oy_K .

В первом приближении точность измерения координат x_u, y_u определяются дисперсиями ошибок параметров, входящих в выражения (1):

$$D_x = \sum_{(\varepsilon)} \left(\frac{\partial x}{\partial \varepsilon} \right)^2 D_{\varepsilon}, \quad (2)$$

где ε параметры $x_H, y_H, x_K, y_K, M_x, M_y, \Theta_K$.

Рассмотрим случай автономного определения местоположения, когда погрешность привязки в основном определяется системой определения местоположения и системой ориентации БПЛА [3].

Выразим из выражений (1) значения x_H, y_H :

$$x_H = x_u - M_x^{-1} x_K \cos^{-1} \Theta_K + M_y^{-1} y_K \Theta_K, \quad y_H = y_u - M_x^{-1} x_K \cos^{-1} \Theta_K + M_y^{-1} y_K \Theta_K. \quad (3)$$

Вычислим частные производные по координате x в выражении (2) (по координате y вычисления аналогичны):

$$D_x = D_u + (M_x^{-1} x_K \sin \Theta_K + M_y^{-1} y_K \cos \Theta_K)^2 D_{\Theta_K} + (M_x^{-1} \cos \Theta_K)^2 D_{x_K} + (M_y^{-1} \sin \Theta_K)^2 D_{y_K} + (x_K \cos \Theta_K)^2 D_{M_x} + (y_K \sin \Theta_K)^2 D_{M_y}; \quad (4)$$

При моделировании будем задаваться типичными ошибками параметров входящих в выражения (4), полученными на основе анализа требований к определению координат наблюдаемых объектов и на основе анализа ошибок существующих систем ориентации БПЛА.

Масштабные искажения $\Delta M_x, \Delta M_y$ являются причиной несоответствия текущих координат изображения истинным наземным координатам. Так, если ось Oy_K изображения соответствует наклонной, а не горизонтальной дальности R_r , возникают масштабные искажения вида:

$$\Delta M_y = M_y \sqrt{1 - \left(\frac{H}{R_r} \right)^2}, \quad (5)$$

Если не учитывать кривизны земной поверхности, то:

$$\Delta M_y = M_y \left(1 - \sqrt{\frac{R_3 + H}{R_3}} \right), \quad (6)$$

где R_3 – радиус земли. При малой высоте полёта по сравнению с наклонной дальностью эти искажения незначительны.

Основной причиной масштабных искажений по путевой дальности (по координате x) является неточная установка скорости развёртки по этой координате и измерения скорости полёта БПЛА. Так при боковом обзоре:

$$\Delta M_x = M_x \left(1 - \frac{v_p}{n_x v_n} \right), \quad (7)$$

где v_p – скорость развёртки по координате x_K , v_n – путевая скорость БПЛА, $n_x = x_u/x_K$ – масштабный коэффициент, связывающий расстояние вдоль траектории полёта с расстоянием на изображении x_K .

Инструментальные ошибки измерения координат объекта приводятся в документации на соответствующую систему обработки изображения.

Ошибки измерения курсового угла Θ_k включают в себя как случайные, так и систематические ошибки системы ориентации носителя построенной, как правило, на базе инерциальных навигационных систем.

Используемые при моделировании СКО [5] (среднеквадратические отклонения) измеряемых параметров представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные и их СКО

Моделируемые параметры	Значение СКО моделируемых параметров
Координата $X_{ц}$ положения объекта, м	3
Координата $Y_{ц}$ положения объекта, м	3
Координата X_k положения объекта на изображении, м	5×10^{-5}
Координата Y_k положения объекта на изображении, м	5×10^{-5}
Θ_k – курсовой угол, с	0,1
Масштабные искажения ΔM_x ,	3×10^{-5}
Масштабные искажения ΔM_y	3×10^{-5}

В результате математического моделирования были получены зависимости допустимых ошибок параметров системы навигации и ориентации для достижения требований по точности выхода БЛА на заданные координаты (рис. 1; 2).

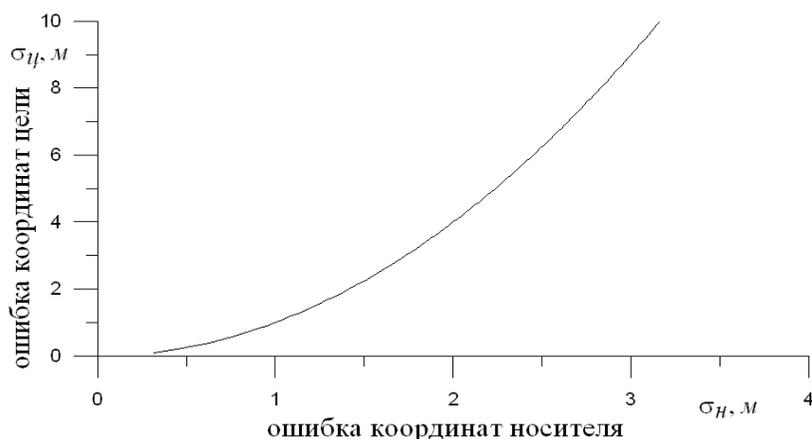


Рис. 1. Зависимость ошибок координат платформы на изображении от ошибок координат БПЛА [5]

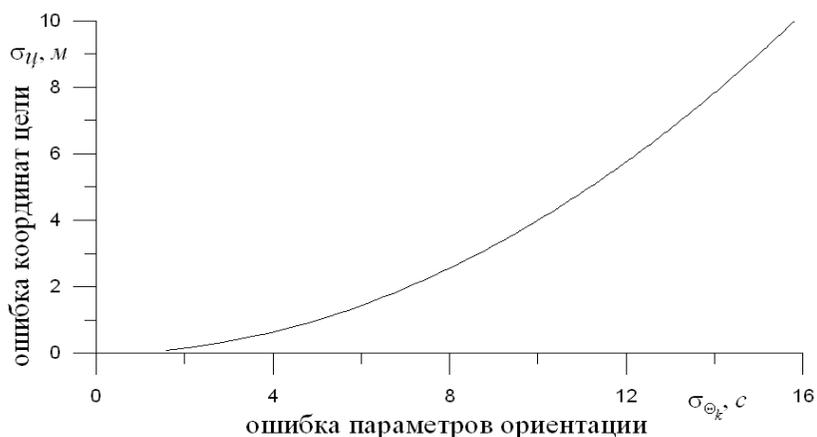


Рис. 2. Зависимость ошибок координат платформы на изображении от ошибок параметров ориентации БПЛА [5]

Вывод

На основании полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что для точного выхода на заданные координаты платформы нужно выполнять довольно жесткие требования к определению координат и ориентации БПЛА. Анализ режимов работы НАП ГНСС [6] показал, что режим относительных измерений по сигналам ГНСС вполне удовлетворяет этим требованиям.

Библиографический список

1. Агеев А. М., Михайленко С. Б., Зезюля В. А. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Способ точной посадки беспилотного летательного аппарата. 2016. С. 17–19.
2. Федосеева Н. А., Загвоздкин М. В. Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnyye-oblasti-primeneniya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov/viewer> (дата обращения: 03.05.2020).
3. Патент № WO 2017/160192 A1, 21.09.2017. Герасимов П.К., Гамаюнов А.Р., Егоров Д.А., Притоцкий Е.М., Ходак М.С. Способ точной посадки беспилотного летательного аппарата.
4. Полярная система координат: основные понятия и примеры. URL: https://function-x.ru/geometry_coordinates_polar.html (дата обращения 15.04.2020)
5. Среднеквадратическое отклонение (Mean square deviation). URL: <https://wiki.loginom.ru/articles/mean-square-deviation.html> (дата обращения 02.05.2020)
6. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. URL: <https://www.glonass-iac.ru/guide/navfaq.php> принципы спутниковой навигации (дата обращения 17.04.2020)

УДК 629.053

Е. И. Морголин

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

А. В. Лопарев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ

Создание интегрированных навигационных систем для безэкипажных катеров (БЭК) является одним из приоритетных направлений отечественного и мирового кораблестроения. В настоящее время к навигационным системам БЭК предъявляют высокие требования по точности, доступности, целостности и непрерывности функционирования в различных условиях плавания. Высокая точность определения координат судна непосредственно влияет на успешность выполнения поставленных задач. Беспилотные надводные транспортные средства используются для наблюдения, исследования больших территорий, борьбы с терроризмом и огневого поражения [1]. На доступном рынке появляется все больше таких транспортных средств, поскольку защита гавани – почти идеальная сфера применения БЭК. Среди эксплуатационных характеристик можно выделить массогабаритные характеристики, энергопотребление, ресурс работы и стоимость аппаратуры [2].

Построение современных навигационных систем осуществляется путем интеграции данных инерциальных (ИНС) и спутниковых (СНС) систем. В качестве ИНС в интегрированных системах часто используются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) ввиду их сравнительно высокой надежности, автономности, малого веса и небольшого энергопотребления. При этом сигналы спутниковой навигационной системы используются в качестве эталонных для выработки корректирующих обратных связей, улучшающих точностные характеристики БИНС без накопления ошибок со временем [3]. В настоящей статье проводится сопоставление известных вариантов комплексирования данных ИНС и СНС [4] применительно к построению интегрированных систем для БЭК.

Раздельная схема

Раздельная схема является простейшим вариантом совместного использования ИНС и СНС. Работа системы состоит из периодического перезапуска алгоритма ИНС с новыми начальными значениями координат и составляющих линейной скорости, поступающих от СНС. Перезапуск используется, чтобы избежать накапливающихся со временем ошибок ИНС. Такой подход позволяет минимизировать информационные отказы интегрированной системы, однако каждый раз после перезапуска требуется осуществлять калибровку ИНС, в течение которой неизбежна пониженная точность выработки навигационных параметров, что недопустимо в задачах навигации автономных аппаратов.

Слабосвязанная схема

В слабосвязанной системе СНС и ИНС работают автономно, при этом данные для коррекции ИНС формируются в отдельном независимом блоке. Выработка данных в этом блоке осуществляется с использованием алгоритма фильтра Калмана, для функционирования которого не требуется высокая скорость передачи данных СНС. Фильтр Калмана, обрабатывая разности показаний ИНС и СНС, формирует оценки погрешностей ИНС, которые компенсируются через обратные связи. Плюсом слабосвязанной схемы является высокая надежность комплексной системы, а минусом – взаимная корреляция ошибок оценок на выходе фильтра.

Представленная схема, очевидно, на порядок сложнее раздельной схемы. В то же время она не требует применения специфических методов теории нелинейной фильтрации и реализует классические алгоритмы обработки. Приближения, используемые при переходе к линеаризованной системе уравнений погрешностей, вполне допустимы в отношении БЭК, не являющихся высокоманевренными объектами [5]. Кроме того, невысокие требования к каналу передачи данных благоприятно влияют на стоимость такой системы. Отмеченные обстоятельства позволяют рекомендовать слабосвязанную систему для использования в задачах навигации БЭК.

Сильносвязанная схема

В этой схеме роль ИНС сводится только лишь к определению первичных параметров поступательного и вращательного движений непосредственно инерциальными датчиками (акселерометрами и гироскопами). Здесь в качестве измерений выступают разности измеренных в СНС и рассчитанных в ИНС значений псевдодальности и псевдоскорости. Полученный вектор разностных измерений подвергается фильтрации, результатом которой будут оценки псевдодальности и псевдоскорости, используемые для расчета координат и составляющих вектора скорости объекта. При реализации сильносвязанного комплексирования полученные после фильтрации данные используются в первичной обработке данных СНС для поддержки контуров слежения за сигналами навигационных спутников (осуществляется замыкание обратной связи). Использование сильносвязанной схемы позволяет повысить чувствительность и помехоустойчивость аппаратуры СНС, а также ускорить процедуру поиска сигналов навигационных спутников и вхождение в режим слежения в случае срыва сопровождения. В связи с этим она получила распространение, в частности, при построении систем навигации беспилотных летательных аппаратов. В то же время необходимо отметить ухудшение надежности такой системы по сравнению со слабосвязанным вариантом комплексирования, а также необходимость разработки аппаратуры потребителя (приемника) особого назначения. Эти обстоятельства ставят под сомнение эффективность использования сильносвязанной схемы комплексирования в системах навигации БЭК.

Глубоко интегрированная схема

Такие системы являются еще более сложными и менее гибкими с точки зрения организации их структуры, имеют жесткую организацию связей и единый выход. Все оценки рассчитываются в едином фильтре Калмана. Приемник СНС в этой схеме состоит только из ВЧ канала приема и первичной обработки, который включает высокочастотный приемный тракт, генератор кода, корреляторы и схему захвата. Выходы корреляторов являются входами фильтра Калмана, где рассчитываются оценки не только погрешностей ИНС, но также псевдодальностей и псевдоскоростей, которые передаются в приемник для улучшения захвата сигнала. Для реализации такой схемы требуется разработка специального приемника, а также специального бортового вычислителя с высоким быстродействием. Поэтому, несмотря на преимущества такой схемы по энергопотреблению и возможности создания на ее основе эффективных систем контроля и диагностики навигационной аппаратуры, разработка интегрированной системы становится весьма дорогостоящей, что неприемлемо при создании мелкосерийных образцов техники, к которым можно отнести БЭК.

Заключение

Рассмотрены существующие варианты построения интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем, отмечены их особенности. Показано, что при создании навигационных систем безэкипажных катеров целесообразно взять за основу слабосвязанную схему обработки данных ИНС и СНС ввиду относительной простоты реализации и приемлемого качества выработки навигационных параметров.

Библиографический список

1. *Слюсар В.* Электроника в борьбе с защитой гаваней // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2009. № 2. С. 2–9.
2. *Богданов В. С.* Особенности построения интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем // Информационно-управляющие системы. 2006. № 2. С. 51–54.
3. Анализ вариантов интегрированных навигационных систем. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19414> / (дата обращения: 17.05.2020).
4. *Красильщиков М. Н., Себряков Г. Г.* Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. М.: Физматлит, 2009. 556 с.
5. *Емельянцева Г. И., Степанов А. П.* Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации / под общ. ред. акад. РАН В. Г. Пешехонова. СПб.: ГНЦ РФ АО «Концерн „ЦНИИ „Электрон“», 2016. 394 с.

УДК 629.05

О. Ю. Пялова

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

С. Ф. Скорина – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

В современных летательных аппаратах управление полетом осуществляется пилотом и автоматической системой. При этом большую часть полета отслеживание параметров и управление осуществляет автопилот, вмешательство летчика требуется на особо ответственных этапах полета (взлет, посадка, управление судном в сложных погодных условиях). Автоматическая система управления в значительной степени облегчает пилотирование, улучшает качество управления и повышает безопасность полетов.

В ряде случаев возникает проблема, связанная с неполной информацией об угловой ориентации воздушного судна. Причины могут быть разнообразны, начиная от отказов соответствующих сенсоров и заканчивая их отсутствием по причине ограничительных требований на массогабаритные характеристики оборудования. Поэтому представляется целесообразным оценить возможность построения эффективной системы управления летательным аппаратом при неполной информации об угловой ориентации объекта.

На сегодняшний день автопилоты, как правило, представлены классической схемой управления, которая имеет три канала: тангажа, крена и рысканья. Первые два канала гарантируют демпфирование колебаний по углам крена и тангажа, регулирование угловых движений и управление траекторией полета воздушного судна. Канал рысканья же представляет собой демпфер. Например, автопилот штурмовика А-7А «Корсар» [1].

Для получения информации об угловой ориентации воздушного судна в пространстве используют или гироскопические приборы – гировертикали и курсовой гироскоп, или бесплатформенные инерциальные системы ориентации, которые построены на основе сигналов датчиков угловых скоростей и акселерометров.

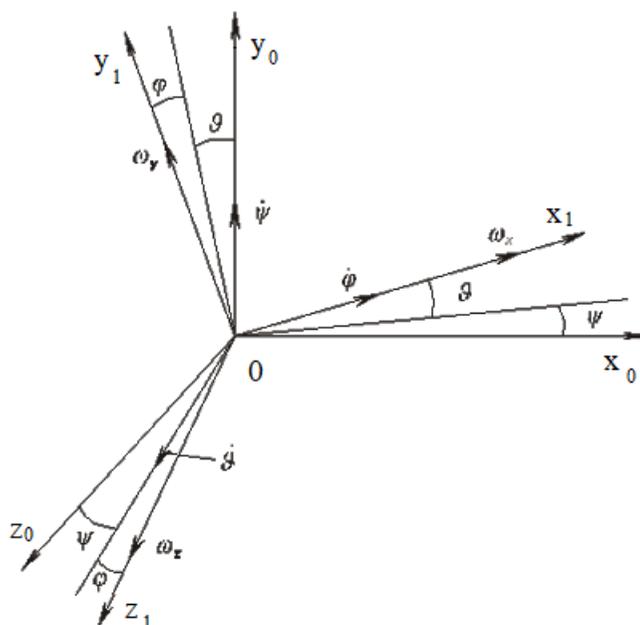
Также в настоящее время существуют системы стабилизации, использующие современные оптические и электростатические датчики, которые фиксируют положение летательного аппарата по крену и тангажу.

Принимая в расчет вопрос неполной информации об угловой ориентации воздушного судна, стоит также рассмотреть автопилоты, построенные по двухканальной схеме, с воздействием на элероны и руль высоты. Существуют малогабаритные беспилотные летательные аппараты и простейшие автопилоты, которые в своем составе могут не иметь датчики вертикали положения воздушного судна. Например, двухканальный автопилот КАР-140 легкомоторного самолета Cessna 172R Skyhawk, который не имеет в своей конструкции датчика вертикали. При этом данному самолету по силам следующие режимы полета [2]: стабилизация заданной вертикальной скорости и заданной барометрической высоты полета, стабилизация угла крена по сигналам указателя поворотов и угла рыскания по сигналам гирополукомпаса; заход на посадку по сигналам курсоглиссадного радиомаяка.

В качестве объекта исследования рассмотрим систему управления боковым движением летательного аппарата при отсутствии в автопилоте сигнала по углу крена.

Боковое движение летательного аппарата как правило рассматривают в связанной системе координат $Ox_1Oy_1Oz_1$, которая повернута на угол α относительно неподвижной системы координат $Ox_0Oy_0Oz_0$ и в которой были записаны уравнения движения самолета. Начало системы координат расположено в центре масс воздушного судна, оси которой направлены по главным осям инерции аппарата: ось Ox_1 – по продольной оси, ось Oy_1 – в плоскости симметрии, ось Oz_1 перпендикулярна к плоскости симметрии.

Положение связанной системы координат относительно неподвижной системы $Ox_0Oy_0Oz_0$ представлено на рисунке.



Система координат

Обозначим через ω мгновенную угловую скорость вращения системы координат $Ox_1Oy_1Oz_1$ относительно системы $Ox_0Oy_0Oz_0$, а проекции ее на оси симметрии $Ox_1Oy_1Oz_1$ – через $\omega_x, \omega_y, \omega_z$.

Реализация бокового движения при малых отклонениях возможна при следующих условиях: исходное невозмущенное движение является продольным; можно пренебречь аэродинамическими и гироскопическими связями между продольным и боковым движением ввиду малости связей. Также при раздельном рассмотрении продольного и бокового движений принимают для бокового движения $\alpha = const, V = const, v = const, \omega_z = 0$.

Дадим обоснование возможности построения системы автоматического управления боковым движением летательного аппарата с одной плоскостью симметрии при отсутствии информации в системе управления об угле крена.

Принцип действия системы при устранении угла крена базируется на связи угла крена с угловой скоростью рыскания y воздушного судна с одной плоскостью симметрии. Приведем соотношение между угловыми скоростями ω_x, ω_y и производными $\frac{d\psi}{dt}, \frac{d\gamma}{dt}$ [3]:

$$\omega_x = \frac{d\gamma}{dt} + \frac{d\psi}{dt} \sin \nu; \quad \omega_y = \frac{d\psi}{dt} \cos \nu \cos \psi + \frac{d\gamma}{dt} \sin \gamma.$$

Поэтому в этих системах крен воздушного судна устраняется до тех пор, пока существует сигнал с датчика угловой скорости рыскания ω_y , ось чувствительности которого располагается параллельно нормальной оси самолета. Таким образом, для стабилизации угла крена используется косвенная информация об угле крена, содержащаяся в сигнале угловой скорости ω_y .

Учитывая вышеупомянутые упрощения, вытекающие из того, что в качестве исходного режима принят установившийся полет, а также полагая малость углов α и β , уравнение бокового движения летательного аппарата можно привести к следующему виду [4]:

$$\begin{aligned} \frac{d\beta}{dt} + k_\beta \beta - \alpha_0 \omega_x - \omega_y - k_\gamma \gamma = 0; \quad \frac{d\omega_x}{dt} + l_\beta \beta + l_\gamma \omega_x + l_\psi \omega_y = -l_\delta \delta_\delta; \\ \frac{d\omega_y}{dt} + n_\beta \beta + n_\gamma \omega_x + n_\psi \omega_y = -n_H \delta_H; \quad \frac{dy}{dt} = \omega_x - tg \vartheta_0 \omega_y; \quad \frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{\cos \vartheta_0} \omega_y; \end{aligned} \quad (1)$$

где $k_\beta, k_\gamma, l_\beta, l_\dot{\gamma}, l_\dot{\psi}, l_\varepsilon, n_\beta, n_\dot{\gamma}, n_\dot{\psi}, n_H$ – аэродинамические коэффициенты летательного аппарата; β – угол скольжения, γ – угол крена, ψ – угол рыскания; $\delta_\varepsilon, \delta_H$ – углы отклонения элеронов и руля направления соответственно; ω_x – угловая скорость крена; ω_y – угловая скорость рыскания.

Если не учитывать угол рыскания ψ , который не входит в первые четыре уравнения системы (1), то характеристическое уравнение системы при заданных значениях параметров $\delta_H = \delta_\varepsilon = 0; \operatorname{tg} \vartheta_0 \approx 0; \cos \vartheta_0 \approx 1$ имеет вид:

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0, \quad (2)$$

где коэффициенты характеристического уравнения (2):

$$a_0 = 1; \quad a_1 = k_\beta + l_\dot{\gamma} + n_\dot{\psi}; \quad a_2 = k_\beta (l_\dot{\gamma} + n_\dot{\psi}) + (l_\dot{\gamma} n_\dot{\psi} - l_\dot{\psi} n_\dot{\gamma}) + n_\beta + a_0 l_\beta;$$

$$a_3 = k_\beta (l_\dot{\gamma} n_\dot{\psi} - l_\dot{\psi} n_\dot{\gamma}) + (l_\dot{\gamma} n_\beta - l_\beta n_\dot{\gamma}) + a_0 (l_\beta n_\dot{\psi} - l_\dot{\psi} n_\beta); \quad a_4 = k_\beta (l_\beta n_\dot{\psi} - l_\dot{\psi} n_\beta).$$

Условиями, которые обеспечивают устойчивость по параметрам $\beta, \omega_x, \omega_y, \gamma$, в соответствии с критерием Гурвица-Рауса являются выполнение неравенства (3) и положительность коэффициентов a_1, a_2, a_3, a_4 .

$$a_3 (a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_4 a_1^2 > 0. \quad (3)$$

Из чего можем сделать вывод, что устойчивости воздушного судна в боковом движении по параметрам $\beta, \omega_x, \omega_y, \gamma$ можно добиться, корректируя средствами автоматики только моменты демпфирования относительно продольной и поперечной осей, перекрестные моменты от угловых скоростей вращения ω_x, ω_y , а также моменты поперечной статической устойчивости и статической устойчивости пути, не имея при этом информации об угле крена γ летательного аппарата.

При этом возможны два подхода к построению систем автоматического управления боковым движением при отсутствии информации об угле крена воздушного судна: первый допускает при работе системы наличие угла скольжения, при втором подходе автоматическим путем устраняется скольжение летательного аппарата.

Библиографический список

1. Бородин В. Т., Рьльский Г. И. Управление полетом самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1972. 242 с.
2. Руководство по техническому обслуживанию самолета Cessna 172R Skyhawk/ 172S Skyhawk SP, Т. 2. 444 с.
3. Боднер В. А. Системы управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1973. 503 с.
4. Белгородский С. Л. Автоматизация управления посадкой самолета. М.: Транспорт, 1972. 357 с.

УДК 620.1-1/-9

В. И. Сатарова

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

П. А. Назаренко

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Л. В. Макарова

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

С. Г. Бурлуцкий – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА****Введение**

Атмосферное давление играет очень важную роль при совершении полета летательным аппаратом (ЛА). Приемники давления подают сигнал о воспринимаемых параметрах в электрические датчики систем отображения полетной информации, в автоматику двигателей, а также в бортовую систему воздушных сигналов (СВС), что позволяет вычислить приборную и воздушную скорости, истинную воздушную скорость, вертикальную скорость и барометрическую высоту полета ЛА.

Виды приемников давления

Приемник полного давления (ППД) предназначен для измерения полного давления встречного потока воздуха, образующегося при движении самолета и в воздухозаборнике. В дозвуковом потоке при совмещении оси приемной трубки с направлением потока приемник измеряет истинную воздушную скорость. В сверхзвуковом потоке перед головкой приемника образуется прямой скачок уплотнения, за которым газ тормозится до дозвуковой скорости и приемник измеряет давление, равное полному давлению за скачком. Для ППД применяется цилиндрическое тело, в центре которого делается сквозное отверстие.

Приемник статического давления предназначен для восприятия статического давления, оказываемого воздушной средой на единицу боковой поверхности тела, движущегося в воздушной среде. Форма приемников статического давления играет основную роль на точность измерения. Приемники выполняются в виде дренажных отверстий, расположенных на поверхности фюзеляжа ЛА; в виде укрепленного на крыле или фюзеляже ЛА вытянутого цилиндра, ось которого направлена вдоль воздушного потока, а на поверхности сделаны отверстия.

Раздельные приемники применяются в основном на дозвуковой скорости полета. На сверхзвуковых скоростях полета обтекание фюзеляжа настолько сложное и непредсказуемое, что невозможно найти места для установки приемников давлений.

Приемник воздушных давлений (ПВД) предназначен для восприятия полного давления встречного потока воздуха, образующегося при движении самолета, и статического давления воздуха, окружающего самолет. В этом приборе совмещены два прибора: приемники полного и статического давления (рис. 1).

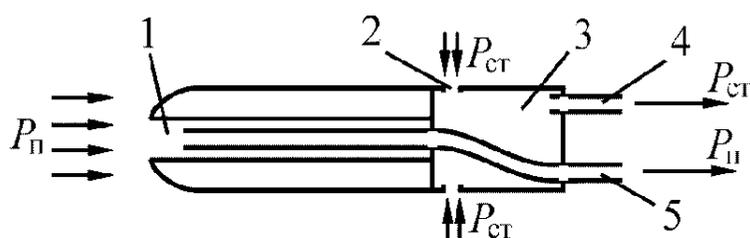


Рис. 1. Принципиальная схема приемника типа ПВД: 1 – камера полного давления; 2 – отверстие камеры статического давления; 3 – камера статического давления; 4 – трубопровод статического давления; 5 – трубопровод полного давления

На сверхзвуковых самолетах ПВД выносятся с помощью штанги в невозмущенное пространство впереди самолета.

Все приемники воздушных давлений должны быть рассчитаны на нормальную работу в условиях возможного обледенения. Камеры полного и статического давлений должны быть герметичными в соответствии с нормами летной годности самолетов (НЛГС).

Модели лабораторного стенда

На лабораторном стенде представлены шесть различных ПВД, каждый из них установлен под своим номером. Данные модели являются демонстрационным вариантом для более наглядного изучения принципов работы ПВД.

Под номерами 1-4 представлены ПВД проточного типа. Они являются уникальной конструктивной разработкой. Данные модели являются более чувствительными и позволяют установить коэффициент скоростей равный 1 при помощи подвижной заслонки (уменьшение выходного сечения приводит к уменьшению скорости внутри приемника, увеличению давления – «Эффект капилляра»), что помогает избавиться от зависимости полученного значения скорости от значения угла атаки.

Под номером 4 ПВД проточного типа в классическом варианте представления (рис. 2). Входной конус сделан под углом 45° , это позволяет создать ПВД, показатели которых не зависят от значения угла атаки. Выходной конус сконструирован под углом 30° , объяснением наклона является закон Бернулли (для действующих значений скорости). Имеет два штуцера – для получения данных о статическом и динамическом (или полном) давлениях.

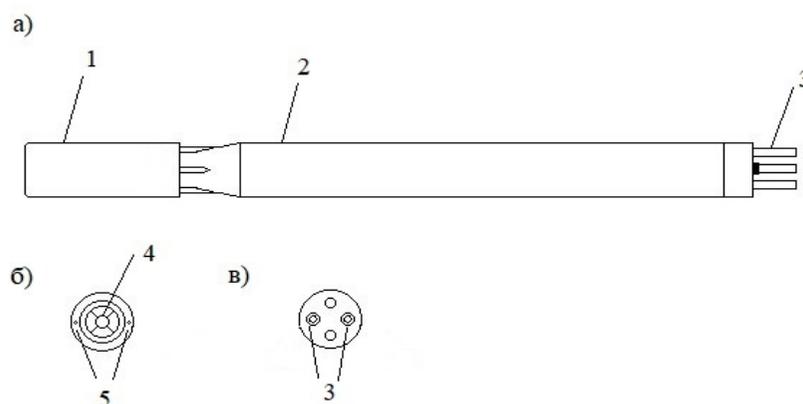


Рис. 2. ПВД проточного типа: а – вид сбоку; б – вид спереди; в – вид сзади; 1 – подвижная заслонка; 2 – камера статического давления; 3 – трубопроводы статического и полного давления; 4 – камера полного давления; 5 – отверстия статического давления

Под номером 1, 2, 3 ПВД проточного типа, позволяющие проводить измерения значения угла атаки пневматически (по разности давлений). Основная часть конструкции схожа с моделью 4. Но из-за отличий функционального характера имеют различное количество штуцеров и отличия в модели поверхности, принимающих давление, а также в расположении приемников статического давления. Для удобства сравнения рассмотрим табл. 1.

Таблица 1

Характеристики ПВД проточного типа

Характеристики	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Количество штуцеров	4	4	4
Позволяет измерить угол атаки	да	Да	да
Приемники для съема статики	На наружной поверхности	На наружной поверхности	На внутренней поверхности
Тип поверхности	сферическая	Конус	конус
Чувствительность	высокая	Повышенная	невысокая

Из-за особенностей конструкции модель ПВД №1 является менее технологичной.

Под номером 5 на лабораторном стенде представлен ПВД классического типа (диаметр головной части 18 мм), изображен на рис. 3. Он является аналогом стандартного ПВД-6М (диаметр головной части 30 мм). Данный тип ПВД может использоваться в легкой авиации и беспилотниках, в частности для спортивных самолетов. Однако в современных спортивных самолетах статическое давление может сниматься с боковых приемников, расположенных в хвостовой части фюзеляжа. Поступление динамического (или полного) давления идет через центральное отверстие начала конуса. Поступление статического давления идет через боковые отверстия, расположенные на одной прямой по всему диаметру ПВД. Расстояние, на котором находятся отверстия для снятия статического давления, от начала конуса составляет 2-3 диаметра. Это позволяет уменьшить искажение значений. Имеются два штуцера – для получения данных о статическом и динамическом (или полном) давлениях.

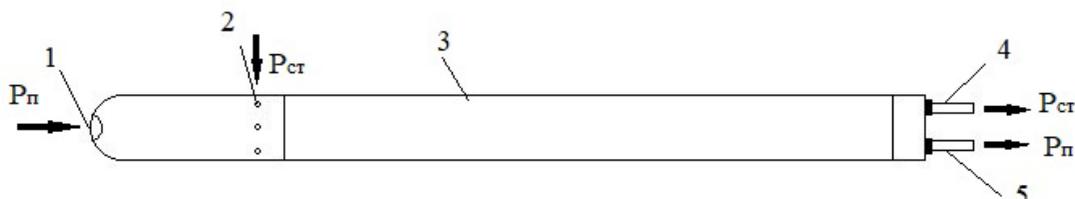


Рис. 3. ПВД классического типа: 1 – камера полного давления; 2 – отверстия камеры статического давления; 3 – камера статического давления; 4 – трубопровод статического давления; 5 – трубопровод полного давления

Под номером 6 представлена модель для снятия эпюры статического давления по поверхности приемника. Она имеет 6 приемников статического давления, не лежащих на одной прямой. Для каждого сечения – свой выход (всего 6 штуцеров).

Вывод

Каждая модель стенда имеет свою особенность, позволяя более наглядно изучить принцип работы ПВД, некоторые законы аэродинамики, а также объяснить специфику конструкции.

Библиографический список

1. Чачикян Р. Г., Дмитриев А. В. Навигационно-пилотажные приборы. М.: Машиностроение, 1973.
2. Ключев Г. И., Макаров Н. Н., Солдаткин В. М. Авиационные приборы и системы. Ульяновск: УлГТУ, 2000.
3. Мхитарян А. М. Аэродинамика. М.: Машиностроение, 1976.
4. Аржаников Н. С., Садекова Г. С. Аэродинамика летательных аппаратов, 1983.

УДК 629.7.051.53

В. П. Семенова

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

М. С. Лебедева

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. А. Авдеев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО СИГНАЛАМ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Анализ систем предупреждения столкновений

Существует несколько разработок бортовой системы предупреждений столкновений. Самой ранней из них является пассивная система наблюдения, которая не обследовала воздушное пространство, а лишь использовала ответные сигналы других ВС, отвечающих на запросы с земли или с других самолетов.

БСПС 1 типа анализирует воздушную обстановку вокруг воздушного судна и выдает экипажу информацию о движении и нахождении других воздушных судов в радиусе 60 км. Такая система выдает предупреждение в виде сигнала ТА (Traffic Advisory – предупреждение о близком прохождении другого самолета), информирующего экипаж о возможной угрозе.

БСПС 2 типа вместе с сигналами ТА также выдает сигналы RA (Resolution Advisory – предупреждение о готовности исполнения команд), необходимые для устранения конфликтных ситуаций. В случае противоречий между указаниями системы и авиадиспетчера, приоритет должен отдаваться указаниям БСПС, так как ее решение согласуется с другим самолетом. То есть если система одного самолета даст указание снижаться, то система другого даст указание набрать высоту. Такая система производится на американских фирмах Rockwell Collins, ACSS, Honeywell и устанавливается на большинстве коммерческих самолетов. На данный момент, система БСПС 2 типа остается самой распространенной системой. Согласно правилам ICAO (International Civil Aviation Organization – международная организация гражданской авиации), она должна быть установлена на всех ВС с газотурбинными двигателями со взлетной массой более 15 000 кг и на борту которых разрешен провоз более 19 пассажиров [1].

Сейчас ведутся разработки над следующими поколениями систем – версией БСПС 3 типа, которая, как предполагается, должна выдавать сигналы RA для маневров как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной.

Несмотря на то, что характеристики БСПС отвечают всем необходимым требованиям, система имеет ряд недостатков. Она обнаруживает только те самолеты, на которых установлены приемопередатчики, а для того, чтобы она могла взаимодействовать с другим самолетом и выдавать согласованную команду по маневру, необходима полная комплектация БСПС на обоих воздушных судах. Также, если датчики конфликтного самолета не выдают данные о своей высоте, система может не индицировать его на дисплее. При взлете и снижении на определенных высотах автоматически могут включаться предупреждения об опасности, которые могут затруднять пилотирование и отвлекать внимание экипажа. В связи с чем система не всегда обеспечивает заданную точность. Так как изготавливается она только за рубежом, имеет высокую стоимость. В данной работе по предупреждению столкновений, предлагается использовать навигационную аппаратуру потребителя (НАП) глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), которая имеет более низкую стоимость и обеспечивает высокую точность [2].

Использование относительных измерений по сигналам спутниковых систем для предотвращения столкновений воздушных судов

В настоящее время основой координатно-временного и навигационного обеспечения большинства потребителей являются глобальные навигационные спутниковые системы. В зависимости от метода определения местоположения объекта в пространстве выделяют три режима работы НАП ГНСС.

Абсолютный метод заключается в том, что приемник может определять свои координаты, скорость и время по сигналам от спутников ГНСС независимо от других приемников с точностью порядка 15–30 м. Погрешности определения положения объекта в этом методе появляются из-за распространения сигналов в атмосфере и из-за неточности стандартов частоты как на борту навигационных аппаратов, так и в самой навигационной аппаратуре.

Дифференциальный режим НАП предполагает наличие как минимум двух приемников, один из которых является базовой станцией с известными координатами, а второй считается потребителем. Разности измеренных и рассчитанных псевдодальностей видимых спутников рассчитываются на станции, передаются потребителю и называются дифференциальными поправками. Точность дифференциального режима находится на уровне единиц метров, в зависимости от удаления потребителя от базовой станции.

Режим, в основе которого лежат одновременные измерения от нескольких одних и тех же спутников двумя (или более) комплектами НАП, получил название «относительный режим». При совместной обработке измерений и образовании разностей измерений появляется возможность исключить влияние погрешностей, одинаково искажающих оба ряда измерений (атмосферные погрешности, погрешности стандартов частоты). Благодаря чему, точность такого метода может достигать сантиметров и выше. Одной из разновидностей такого метода является режим RTK (Real Time Kinematic – кинематика реального времени) [3].

Обработка относительных измерений может быть применена в определении взаимного расстояния между ВС и в системах предупреждения столкновений. Особенно актуально использование высокоточных относительных измерений в районах ответственной навигации, например, при взлете и посадке. Для реализации данного метода аппаратура двух воздушных судов и диспетчер управления воздушным движением (УВД) должны быть оснащены комплектами соответствующей навигационной аппаратурой потребителя, имеющий возможность обработки фазовых измерений и поддерживающий RTK режим.

Примерная схема реализации относительных измерений по сигналам ГНСС между ВС при полете по маршруту и в районе аэропорта представлена на рис. 1; 2.

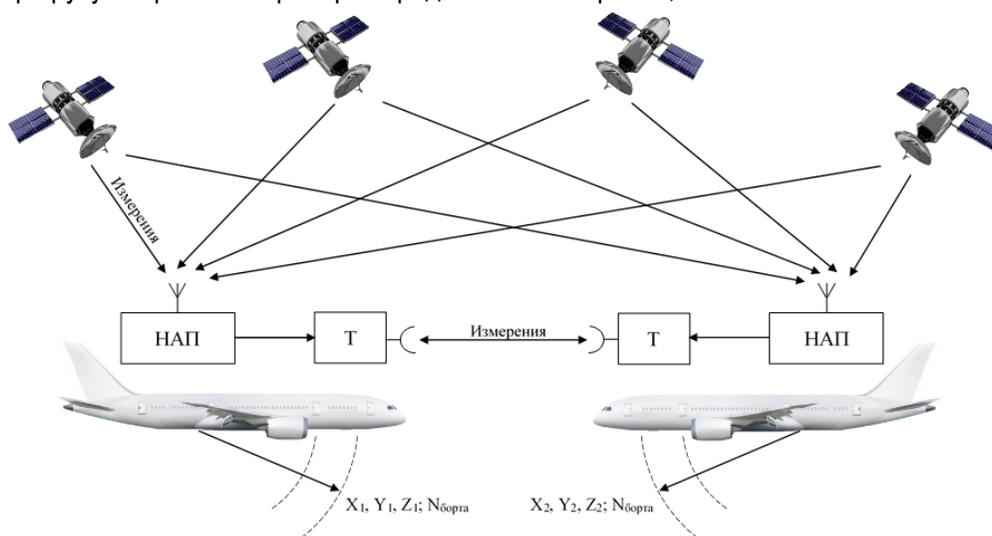


Рис. 1. Полет по маршруту

В перечень необходимого оборудования должны входить: двухчастотная навигационная аппаратура потребителя с поддержкой фазовых измерений, специальное программное обеспечение, установленное на борту ВС и на диспетчерском пункте и позволяющее решать навигационную задачу в относительном режиме; приема-передатчик измерительной информации (транспондер), подключенный к каждому комплекту НАП для передачи измерений.

Суть заключается в том, что каждый самолет (Рис. 1), оборудованный такой системой, самостоятельно выдает по радиоканалу специфическую информацию о себе (местоположение, высоту по-

лета, скорость, курс, бортовой номер и др.). Наземные станции могут комбинировать полученную информацию и ретранслировать ее для всех ВС в радиусе своего обслуживания.

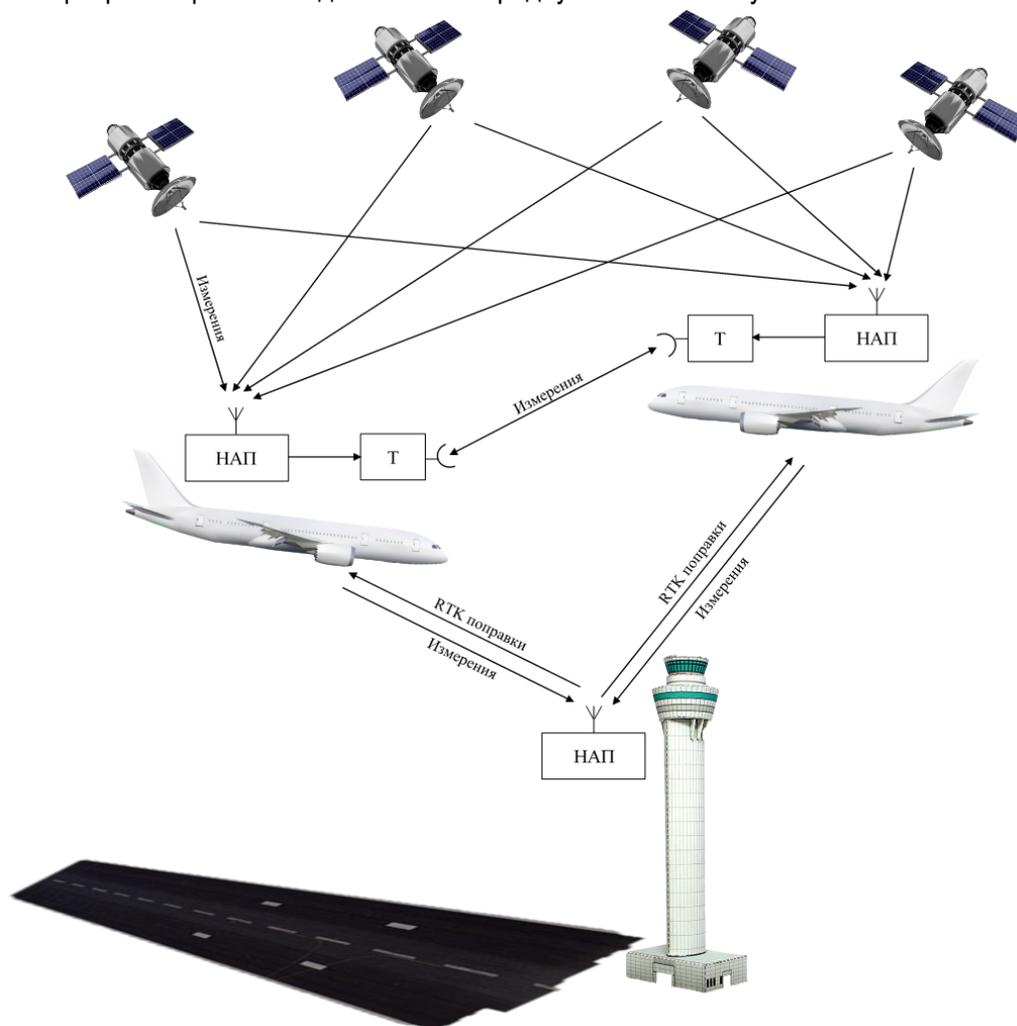


Рис. 2. Зона ответственной навигации

При опасном сближении судов, а также в зонах ответственной навигации навигационная аппаратура потребителя переходит в режим относительных фазовых измерений и реализуется RTK – режим между воздушными судами и аэропортом. При этом диспетчерский пункт или определенная точка в аэропорту может выступать как опорный пункт, дополняющий классический RTK – режим между двумя ВС (когда определяются не только относительные координаты и скорости ВС) до высокоточного абсолютного режима, когда диспетчеру становятся доступны координаты и скорости каждого ВС.

Таким образом, использование RTK режима работы НАП ГНСС позволит не только с высокой точностью определять относительные координаты и скорости ВС в зонах ответственной навигации (информация используется в системах предупреждения столкновений), но и позволит организовать абсолютное высокоточное позиционирование ВС в районе аэропорта для их диспетчеризации.

Библиографический список

1. Комиссаров Н. В. Система TCAS. Предупреждение столкновений самолетов в воздухе. URL: <http://avia-simply.ru/sistema-tcas> (дата обращения: 14.05.2020).
2. Акимов А. Н. Состояние и развитие систем предотвращения столкновений воздушных судов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-razvitie-sistem-predotvrascheniya-stolknoveniy-vozdushnyh-sudov/viewer> (дата обращения: 14.05.2020).
3. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. 334 с.

УДК 629.7.01

П. В. Старыгина

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. И. Тимофеев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СВЕРХЗВУКОВОГО ПАССАЖИРСКОГО АВИАЛАЙНЕРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Один сверхзвуковой самолет заменяет три или даже четыре дозвуковые воздушные машины. Таким образом, сверхзвуковые самолеты дают возможность уменьшить парк при одновременном росте перевозок. В нашем до отказа забитом летательными аппаратами небе эта сторона вопроса имеет большое значение. В современном мире, где сэкономленные 3-4 часа порой имеют решающее значение, сверхзвуковые самолеты открывают перед людьми немало новых возможностей: например, в один день пересечь из конца в конец континент и вернуться домой.

Алексей Андреевич Туполев, ведущий авиаконструктор, сын выдающегося советского авиаконструктора Андрея Николаевича Туполева

Введение

В конце 60-х гг. XX в. были созданы сверхзвуковые пассажирские самолеты, шедевры авиастроения Ту-144 (СССР) и «Конкорд» (Франция совместно с Великобританией), способные развить скорость в 2 Маха и более. Добраться за несколько часов из Калининграда во Владивосток, как и из Лондона в Нью-Йорк, стало возможно и доступно для многих людей.

В современном мире, где человеку важен каждый час, несмотря на острую необходимость, подобных скоростных рейсов не существует, а созданные ранее сверхзвуковые машины находятся на стадии доработки. Это вызывает массу вопросов: насколько надежными были Ту-144 и «Конкорд» по сравнению с современными самолетами, окупалось ли производство, обслуживание и эксплуатация, насколько комфортно было пассажирам, а главное – каковы причины, вызвавшие отказ от их эксплуатации?

Ученые многих стран бьются над вопросом создания сверхзвуковых пассажирских лайнеров, прототипами которых были бы СПС Ту-144 и «Конкорд». Возможно, разумнейшим решением в данной ситуации будет не создание новых пассажирских самолетов на базе военных, а модернизация уже существующих, что гораздо целесообразнее. Для этого необходимо, прежде всего, определить степень необходимых изменений.

С этой целью в настоящей статье был проведен анализ летно-технических характеристик СПС, авиационные происшествия, произошедшие с ними в период их эксплуатации, уровень надежности и безопасности каждого из них. На основе выполненного анализа предпринята попытка предложить методы устранения существовавших эксплуатационно-технических проблем и оценить возможность возобновления производства в РФ современного СПС на основе имеющего научно-технического задела.

Краткая ретроспектива создания СПС Ту-144 (СССР)

Ведущим конструктором по самолету Ту-144 был назначен Алексей Андреевич Туполев (с 1973 года – Борис Ганцевский, с 1979 года – Валентин Близнюк). Общее руководство осуществлял Андрей Николаевич Туполев. Разработку авиационного двигателя (АД) для Ту-144 поручили ОКБ им. Н. Д. Кузнецова.

Строительство предсерийного **Ту-144 №01-1** завершилось в начале 1971 года. 1 июня 1971 года самолет совершил свой первый полет. По программе заводских испытаний машина выполнила 231 полет, общей продолжительностью 338 часов, из которых 55 часов самолет летал на сверхзвуковой режиме. На этой машине отрабатывались технические вопросы взаимодействия силовой установки и самолета на различных режимах полета. 20 сентября 1972 года машина совершила перелет по маршруту Москва-Ташкент, который был пройден за 1 час 50 минут. Крейсерская скорость

во время полета достигала 2500 км/ч. Предсерийная машина стала основой для развертывания серийного производства на Воронежском авиационном заводе (ВАЗ), которому решением правительства было поручено освоение серии СПС Ту-144.

Первый полет серийного **Ту-144 №01-2** с двигателями НК-144А состоялся 20 марта 1972 года. В серии, по результатам испытаний предсерийной машины, была скорректирована аэродинамика крыла и еще раз несколько увеличена его площадь. Взлетная масса в серии достигла 195 т.

Производство Ту-144 с АД НК-144А продолжалось в Воронеже до начала 1977 года. На этих машинах был проведен большой объем летных испытаний и начаты полеты с пассажирами. На **Ту-144 №02-1** первый полет был выполнен 13 декабря 1973 года: отрабатывался пилотажно-навигационный комплекс самолета, система электроснабжения, проводились испытания на режимах прерванного взлета, совершались технические рейсы по городам СССР.

На **Ту-144 №02-2** первый полет был выполнен 14 июня 1974 года: проводились исследования по аэродинамике, прочности конструкции, поведению самолета на больших углах атаки, проверялась работа самолетных функциональных систем и оборудования в нештатных полетных ситуациях.

Ту-144 №03-1 построили в 1973 году и сразу переделали в Ту-144Д с АД РД-36-51А.

Ту-144 № 04-1, первый полет 4 марта 1975 года, использовался для оценки эффективности работы системы кондиционирования воздуха. На нем также решались задачи по устранению некоторых проблем в топливной системе самолета. 26 декабря 1975 года на этой машине был выполнен первый эксплуатационный рейс по маршруту Москва – Алма-Ата. Самолет перевозил по маршруту грузы, почту, полеты проходили на высотах 18000 м и с крейсерской скоростью 2200 км/ч.

Ту-144 № 04-2 выполнил первый полет 12 декабря 1975 года. В 1976-1981 гг. на нем проводились доводочные работы по системам навигационного оборудования, а также по системе директорного захода на посадку и по автомату тяги.

Ту-144 № 05-1 выполнил первый полет 20 августа 1975 года. После заводских испытаний и испытаний по различным программам, был представлен в 1977 году в качестве комплексного объекта на совместные государственные испытания. По результатам этих испытаний отмечалось, что ЛТХ самолета, за исключением практической дальности полета с заданным числом пассажиров и взлетной массы, соответствуют заданным для Ту-144 требованиям. При испытаниях получили практическую дальность полета на сверхзвуке 3080 км при взлетной массе 195 т и коммерческой нагрузке 15 т., а при 7 т – 3600 км. Подчеркивалось, что дальность полета 4000-4500 км при коммерческой нагрузке 14-15 т на Ту-144 с АД НК-144А не может быть реализована, и отмечалось, что получение требуемой дальности возможно при оснащении самолета АД РД-36-51А.

После окончания совместных испытаний было принято решение о начале пассажирских перевозок на СПС Ту-144 с НК-144А.

Самолеты **Ту-144 № 05-2**, первый полет которого состоялся 29 апреля 1976 года, и **Ту-144 №06-1**, первый полет которого состоялся 1 февраля 1977 года, использовались для регулярных пассажирских перевозок по трассе Москва – Алма-Ата.

В первый пассажирский рейс Ту-144 отправился 1 ноября 1977 года. Полеты выполнялись один раз в неделю на расстояние 3260 км на высоте 16000-17000 м со скоростью 2000 км/ч. При этом количество пассажиров на борту не превышало 80 человек. Цена билетов на рейс Ту-144 была всего на 30-40 % дороже, чем на Ил-62. До момента прекращения регулярной эксплуатации с пассажирами в мае 1978 года экипажи «Аэрофлота» на Ту-144 выполнили 55 рейсов (102 с учетом грузовых), перевезя в общей сложности 3284 пассажира. **СПС Ту-144 с НК-144А** стал первым в СССР пассажирским самолетом, который получил национальный сертификат летной годности на безопасность перевозки пассажиров. Остальные самолеты «Аэрофлота» в то время подобного сертификата не имели (исключение составлял Ту-134, который был сертифицирован в Польше по английским нормам летной годности).

Самолеты Ту-144 серийно производились на Воронежском авиазаводе практически штучно, по два самолета в серии. Всего было построено 17 самолетов, из которых 6 последних – модификации **Ту-144Д**. Оборудование пассажирских салонов Ту-144 производилось в ГДР.

В целом, все самолеты Ту-144 выполнили 2556 вылетов и налетали в общей сложности 4300 часов.



Рис. 1. Внешний вид СПС Ту-144 в полете

Краткая ретроспектива создания СПС «Конкорд» (Франция, Великобритания)

«Конкорд» был создан в результате слияния в 1962 году двух национальных программ разработки сверхзвукового пассажирского авиатранспорта, основными разработчиками самолета стали компании Sud Aviation с французской стороны и BAC с английской, двигательные установки самолета совместной разработки британской Rolls-Royce и французской SNECMA.

Всего было изготовлено 20 самолетов, из которых 9 были проданы авиакомпаниям British Airways и Air France, а еще 5 переданы этим же авиакомпаниям по символическим ценам 1 фунт стерлингов и 1 франк соответственно. Первый полет прототипа состоялся в 1969 году, ввод в коммерческую эксплуатацию произошел в 1976 году.



Рис. 2. Внешний вид СПС «Конкорд» при взлете

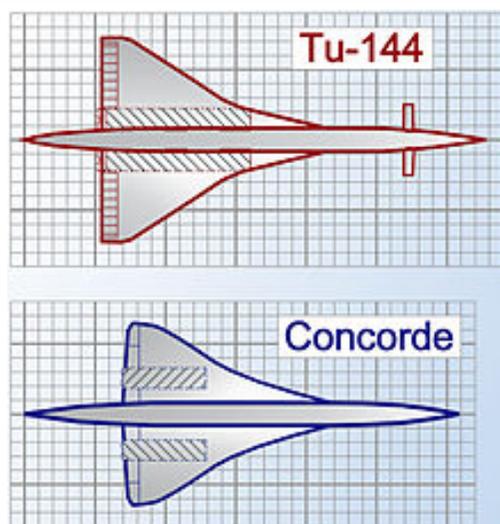


Рис. 3. Сравнение внешнего вида представленных самолетов

Сравнение данных обоих СПС

Таблица 1

Сравнительная оценка летно-технических характеристик (ЛТХ) СПС Ту-144 и «Конкорд»

№ ЛТХ	Название ЛТХ	Ту-144 различных модификаций				«Конкорд»
		Ту-144 («044»)	Ту-144С	Ту-144Д	Ту-144ЛЛ	
Технические характеристики						
1	Экипаж, чел.	4				3
2	Длина, м	59,40	65,70			61,66
3	Высота, м	12,25	12,50			12,2
4	Размах крыла, м	27,65	28,00	28,80		25,60
5	Площадь крыла, м ²	438	503	507		358,6
6	Максимальная взлетная масса, кг	180 000	195 000	207 000	203 000	185 000
7	Масса полезной нагрузки, кг	12 000	15 000		—	13 380
Характеристики авиационных двигателей						
8	Количество	4				4
9	Тип	НК-144	НК-144А	РД-36-51А	НК-32-1	Olympus 593
10	Тяга максимальная, кН	171,6	178,0	196,1	245,0	170,0
11	Тяга на сверхзвуке, кН	127,5	147,0	—	137,5	—
Летные характеристики						
12	Максимальная скорость, км/ч	2443	2500	2285	2500	2330
13	Крейсерская скорость (на сверхзвуке), км/ч	2300	2200	2120	2300	2150
14	Практическая дальность (с полной загрузкой), км	2920	3080	5330	4000	7200 (перегоночная)
15	Практический потолок, м	20 000				18 300
16	Среднечасовой расход топлива, кг/час	38 500		26 000		20 500

По полученным данным, Ту-144 превосходил «Конкорд» в плане максимальной взлетной массы и массы полезной нагрузки, максимальной скорости и крейсерской скорости на сверхзвуке, практическому потолку и максимальной тяги.

«Конкорд» же превосходил в плане дальности и более оптимального среднечасового расхода топлива.

Статистика катастроф и происшествий Ту-144 (СССР)

Первая авиакатастрофа

Произошла катастрофа 3 июня 1973 года на 30-м международном авиасалоне Ле-Бурже (близ Парижа, Франция). Советский авиалайнер Ту-144С ОКБ Туполева выполнял показательный полет, на глазах зрителей внезапно перешел в пике, а через несколько секунд рассыпался в воздухе и упал на расположенные под ним жилые районы городка Гуссенвиль. Были разрушены 5 домов и еще 20 повреждены. В катастрофе погиб весь экипаж из 6 человек, а также 8 – на земле, включая 3 детей, 25 человек получили ранения.

Официальная гипотеза считает наиболее вероятным вмешательство человеческого фактора и учитывает два факта:

1) самолет «Мираж-3Р» находился вблизи самолета Ту-144, что могло стать неожиданностью для пилота, и он мог внезапно произвести маневр для уклонения. С другой стороны, член экипажа – руководитель летных испытаний – находился в пилотской кабине самолета Ту-144 и не был привязан;

2) возможно, произошло падение члена экипажа, вероятно, державшего кинокамеру, что происходило в условиях, вызывающих временную блокировку действий пилота.

На основании изучения обломков не было выявлено никаких неисправностей, способных объяснить причину катастрофы. В том числе не было отказов двигателей, потери управления вследствие выхода на чрезмерные углы атаки, потери работоспособности членов экипажа. Также не было обнаружено никаких признаков диверсии, взрыва или пожара до разрушения конструкции. Таким образом, самолет разрушился из-за запредельных перегрузок при выводе его из пикирования.

Вторая авиакатастрофа произошла 23 мая 1978 года во время испытательного полета самолета Ту-144Д в Воскресенском районе Московской области в окрестностях города Егорьевска.

Самолет выполнял контрольный полет перед пассажирскими перевозками. Во время испытаний на борту начался пожар, который быстро распространился по внутренним отсекам. Летчики-испытатели сумели посадить горящую машину на поле и эвакуироваться. Погибли два члена экипажа, самолет был уничтожен.

Хотя полет был испытательным, данная катастрофа стала основным поводом для прекращения полетов Ту-144 с пассажирами.

Комиссия выявила потерю герметичности соединительных элементов или топливных трубопроводов, что образовало течь топлива, вызвавшего пожар.

В данном случае была отмечена надежность конструкции самолета, который даже объятый пламенем (по свидетельствам очевидцев на земле) был полностью управляем, а при ударе носовой частью о землю и дальнейшем мощном пожаре не взорвался. Все выявленные недостатки в топливной системе были устранены и внедрены специальные методики и нормы прочности для топливных трубопроводов. Была решена и проблема исключения гидравлических ударов, включая ситуации с закрытием концевых кранов. Все замечания комиссии по топливной системе самолета были выполнены полностью.

Авиационные инциденты

В испытательном полете 31 июля 1980 года Ту-144Д, вылетевшего с аэродрома «Раменское», на сверхзвуковом режиме на высоте 16000 метров произошло разрушение одного из двигателей. Экипаж с большим трудом смог взять ситуацию под контроль, вывести самолет из пикирования и успешно посадил его. Двигатели Ту-144Д отправили на доработку.

В конце 1981 года самолет уже должен был начать коммерческую эксплуатацию, летая из Москвы в Красноярск. Однако во время очередной гонки двигателей на борту произошел пожар. Экипаж экстренно покинул самолет через аварийные выходы на крыло. Полеты были вновь отложены.

«Конкорд» (Франция, Великобритания)

25 июля 2000 года в Париже, при вылете из аэропорта «Шарль де Голль», разбился СПС «Конкорд», совершавший рейс Париж – Нью-Йорк.

Основной причиной катастрофы стал наезд тележки левого шасси на металлическую деталь обшивки двигателя другого самолета, находившуюся на взлетной полосе, часть покрышки лопнувшей при этом шины повредила топливный бак самолета, а вылившееся топливо загорелось, попав на раскаленные сопла двигателей. Возможно, часть покрышки колеса повредила провода привода выпуска шасси, которые при взлете не убрались, оголенные провода стали причиной воспламенения топлива. Возникший пожар привел к отказу обоим левым двигателям не успевшего набрать скорость самолета и его падению на небольшой отель в двух километрах от аэропорта.

Все находившиеся на борту – 100 пассажиров и 9 членов экипажа – погибли. Также погибло 4 человека на земле.

Летающая лаборатория NASA

После создания Ту-144 Авиационный научно-технический комплекс (АНТК) имени Туполева продолжал разрабатывать СПС второго поколения. Данные работы состоят из проектирования самолета, разработки составных частей летательного аппарата, а также экспериментальных и научно-исследовательских работ по созданию новых покрытий, материалов, техпроцессов.

На базе Ту-144 разрабатывали Ту-244, однако это закрылось на стадии исследования.

Подписанным в июне 1993 г. межправительственным соглашением предусматривалось использование переоборудованного Ту-144Д как летающей лаборатории для изучения вопросов аэроупругости и аэроакустики, создания базы данных по теплосостоянию силовой установки при больших скоростях, отработки вопросов управляемости и устойчивости, оценки влияния поверхности земли на режимах взлета-посадки. Выбор в пользу самолета Ту-144 (а не «Конкорда») сделали благодаря большей максимальной скорости полета, наличию убираемого переднего горизонтального оперения и, возможно, меньшей стоимости аренды.

АНТК Туполева для осуществления шестимесячной программы летных испытаний предоставило летающую лабораторию – Ту-144Д, оборудованный системой аварийного покидания самолета и способный принять в салон, свободный от кресел, значительный объем измерительной аппаратуры.

Силовая установка была подвергнута радикальной переделке. На Ту-144ЛЛ двигатели РД-36-51А разработанные Колесовым П.А. были заменены форсированными турбореактивными двухконтурными двигателями НК-32-1, применяемыми на стратегическом бомбардировщике Ту-160. Использование данных двигателей позволило повысить скорость с $M=2,15$ до $M=2,3$. Для регистрации параметров и экспериментальных данных для подтверждения летной годности на самолете установили новую систему регистрации данных «Дамьен»: термодатчики и датчики трения обшивки, давления, аппаратура измерения параметров аэродинамического пограничного слоя.

17 марта 1996 г. в Жуковском состоялась выкатка летающей лаборатории Ту-144ЛЛ. Перед летными испытаниями были проведены наземные испытания на спец. стендах, которые позволили получить большое количество информации о работе двигателей, которые необходимы для разработки силовой установки будущего.

К осени 1997 года выполнили серию из восьми полетов в значительном диапазоне высот и скоростей ($h>17000$ м, $M>2$). Затем последовали еще десять полетов. Всего намечалось осуществить 32 вылета. Летающую лабораторию пилотировали летчики-испытатели ЛИИ им. Громова и АНТК им. Туполева. На Ту-144ЛЛ в сентябре 1998 года выполнили в ЛИИ три оценочных полета два летчика-исследователя НАСА.

Американская компания «Боинг» и АНТК имени Туполева в июне 1999 года успешно завершили программу совместных исследований на Ту-144ЛЛ для создания перспективного пассажирского сверхзвукового самолета.

Анализ данных

Таблица 2

Статистика по эксплуатации

	Ту-144	«Конкорд»
Количество полетов	102	1435
Количество происшествий	4	1
на число полетов	3,9216 %	0,0697 %
Наиболее часто встречающиеся отказы	топливная система	человеческий фактор
Отказы		
Топливная система	2	-
Человеческий фактор	1	1
Двигатели	1	-
Количество погибших		
на 1000000 человек	0,001 %	0,0038 %
от количества находящихся на борту	0,2428 % (на борту было 4118)	0,0011 % (на борту было 3000000)

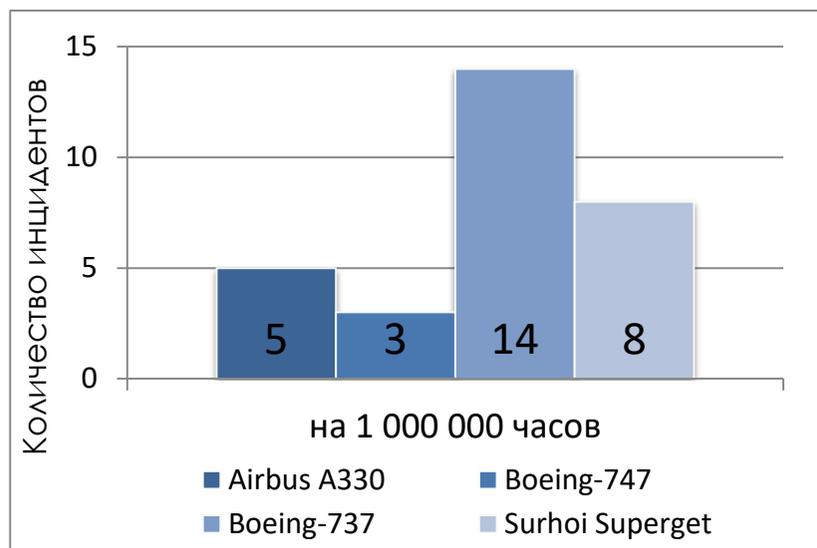


Рис. 4. Гистограмма аварийности Ту-144 по сравнению с самыми популярными современными самолетами Airbus A330, Boeing-737, Boeing-747, Sukhoi Superjet. Показано количество аварий в среднем на 1 млн часов полета за 3 года эксплуатации. Данные по версии журнала «Наука и техника»

Однако, по данным ВВС, с Sukhoi Superjet прошел 21 инцидент в месяц.

Проанализировав эти данные, можно сделать вывод о безопасности самолета Ту-144 и «Конкорд», которые не уступают самым популярным, безопасным и надежным самолетам. Представленные данные могут давать неполную картину из-за небольшого количества числа полетов. Также, Ту-144 следует доработать топливную систему, однако после последнего происшествия было создано несколько модификаций, лишенных этой проблемы.

Предложения по улучшению конструкций и систем эксплуатации на Ту-144 ЛЛ

Предложения по совершенствованию конструкций и функциональных систем самолета:

1. Заменить двигатель НК-32-1 на его улучшенную модернизацию НК-32-2, созданную с использованием современных технологий, материалов, узлов и агрегатов. Экономичность новой силовой установки увеличена примерно на 10 %, значительно повысились газодинамические характеристики лопаточных узлов за счет их аэродинамического совершенствования.

Компрессор имеет трехступенчатый вентилятор, пять ступеней среднего давления и семь ступеней высокого давления. Лопатки компрессора изготовлены из титана, стали и (в каскаде высокого давления) никелевого сплава.

Камера сгорания кольцевая многофорсуночная. Турбина имеет одну ступень высокого давления (диаметр около 1 м, температура горения 1575 К) с охлаждаемыми монокристаллическими лопатками, одну ступень среднего давления и две – низкого давления. Сопло двигателя регулируемое, автоматическое. Система управления электрическая, с гидромеханическим дублированием.

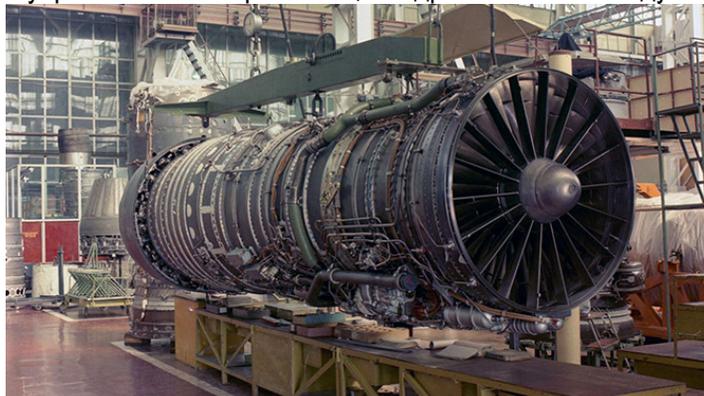


Рис. 5. Двигатель НК-32-2

В течение текущего года планируются испытания на бомбардировщике Ту-160М2, что по расчетам позволит летать ему почти на 1000 км дальше. С помощью данного двигателя возможны улучшения показателей скорости и дальности полета Ту-144ЛЛ, а также экономия расхода топлива.

2. Применить резонансные звукопоглощающие конструкции (ЗПК), включающие перфорированный лист и воздушную полость за ним с сотовым наполнителем. С помощью однослойных сотовых ЗПК, установленных в воздухозаборнике и канале наружного контура силовой установки самолета, были получены необходимые величины снижения шума для обеспечения отечественными самолетами требований Главы 3 стандарта ИКАО. Активно разрабатываемые в последнее время двухслойные ЗПК второго поколения позволили обеспечить самолетам семейств «Ту» и «Ил» выполнение требований Главы 4 стандарта ИКАО по шуму на местности. Перспективно также использование так называемых комбинированных ЗПК, включающих несколько резонаторов с различными собственными частотами.

К сожалению, в настоящий момент данный проект находится на стадии разработки, из-за чего в ближайшее время не будет возможности проверить его эффективность именно на Ту-144 ЛЛ.

Предложения по созданию нового облика самолета – внедрению новых конструкций, узлов и механизмов:

1. Установить двигатель не на консоли крыла, а над ним, как на Ан-72, для экранирования шума выпускаемой струи.



Рис. 6. Ан-72 как пример расположения двигателей

Однако стоит разработать математическую модель, для понимания целесообразности расположения двигателя: под крылом, в крыле или над крылом, наиболее оптимально для данного самолета.

Также необходимо проработать вид gondoly (выбрать плоскую либо круглую) для изменения лобового сопротивления.

Заключение

Самолеты Ту-144 (СССР) и «Конкорд» (Франция, Великобритания) являются шедеврами мировой авиации, но, к сожалению, не производятся и не эксплуатируются на данный момент.

Оба эти самолета имеют очень маленький список катастроф и отказов, поэтому их можно считать достаточно надежными, «Конкорд» – в большей степени (даже в сравнении с распространенным современным SSJ-100). Последние модели Ту-144 также можно считать надежными и безопасными за отсутствием происшествий (или информации о них).

В настоящее время ведутся работы по восстановлению «Конкорда» британскими и французскими специалистами, Ту-144 в некотором количестве полностью готовы к возможным вылетам, которые не планируются.

Рано или поздно сверхзвуковые пассажирские самолеты начнут эксплуатироваться, так как они экономят важнейший ресурс – время.

Российские и американские ученые разрабатывают новые модели сверхзвуковых пассажирских лайнеров, американскими и японскими учеными решаются основные проблемы данных самолетов:

- 1) сложность обслуживания;
- 2) сильный шум двигателей (во многих странах существует запрет на полеты со сверхзвуковыми скоростями над населенными пунктами);
- 3) большое потребление топлива на крейсерских скоростях;
- 4) выброс вредных веществ в атмосферу.

Я считаю, что данные самолеты опередили свое время и были незаслуженно сняты с производства и эксплуатации, так как имеют очень маленький список аварий, а проблемы шума и экологии, на мой взгляд, решаемы и не являются достаточно вескими основаниями.

Последние разработки для воссоздания производства данных самолетов будут положены в выпускную квалификационную работу.

Библиографический список

1. *Совенко А. Ю.* Потерянная эпоха Ту-144 // *Авиация и время.* 2002. № 4.
2. *Близнюк В., Васильев Л., Вуль В. и др.* Катастрофа самолета Ту-144 (бортовой номер 77102) в Париже // *Правда о сверхзвуковых пассажирских самолетах.* М.: Москов. рабочий, 2000.
3. *Стивен Даулинг.* Реанимация Concorde: как поднять в небо списанный самолет? BBC Future – 2015.
4. *Якубович Н. В.* Первые сверхзвуковые – Ту-144 против «Конкорда». М.: ВЭРО Пресс, Яуза, Эксмо, 2012. 96 с.: ил.
5. *Любановский Е. В.* Сверхзвуковой пассажирский самолет. М.: Транспорт, 1966. 98 с.: ил.
6. Звукопоглощающие конструкции гомогенного типа для каналов авиационных двигателей // *Акустический журн.* 2009. Т. 55, № 6. С. 749–759.

УДК 629.7

С. О.Телятников

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

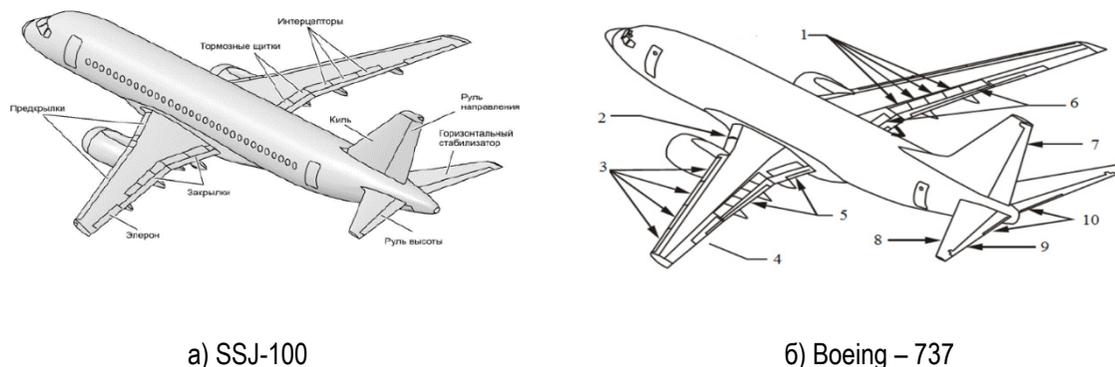
С. Ф. Скорина – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ОПЕРЕНИЯ СРЕДНЕМАГИСТРАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ SUKHOI SUPERJET 100 И BOEING 737**

Воздушный транспорт является одним из важнейших способов перемещения на большие дистанции. Пока с воздушными судами происходят происшествия и катастрофы, вопросы надежности и безопасности полетов будут иметь важное значение [1, 2].

В последнее время, появилось большое количество информации о надежности самолетов Sukhoi SuperJet 100 (SSJ-100). Особенное внимание уделяется системе управления. Эти нарекания справедливы отчасти. Следует уделить время на разработку стратегии повышения надежности SSJ-100 путем проведения детального анализа надежности отдельных подсистем. Это позволит выявить наиболее проблемную подсистему или часть подсистемы, влияющая на надежность всей системы управления и самолета в целом.

В данной статье предпринята попытка оценить надежность системы оперения самолета SSJ 100 и сравнить с аналогичной системой самолета Boeing 737.

Рассмотрим вероятность отказа элементов оперения самолета, которые входят систему управления ВС. На рис. 1 приведено сравнение оперения двух самолетов.



а) SSJ-100

б) Boeing – 737

Рис. 1. Сравнительный анализ оперения самолетов

Как видно из данного рисунка, самолет SSJ-100 имеет 9 элементов оперения, которые входят в состав системы управления. Самолет Boeing 737 имеет 10 элементов [4, 5]:

- 1- Элерон-интерцепторы;
- 2- Предкрылки Крюгера;
- 3- Выдвижные предкрылки;
- 4- Элероны;
- 5- Закрылки;
- 6- Тормозные интерцепторы;
- 7- Руль направления;
- 8- Стабилизатор;
- 9- Руль высоты;
- 10- Сервокомпенсатор руля высоты.

При полете, отказ одного из этих элементов может привести к инциденту или аварии. Эти элементы не дублируют работу друг друга. Каждый из них выполняет свои функции, необходимые для управления самолетом на различных режимах и высотах.

Определим интенсивность отказов для каждой из двух систем оперения по формуле (1). При этом примем интенсивность отказов, в соответствии с табл. 1 [4, 5].

Таблица 1

Интенсивности отказов и время наработки на отказ для элементов системы оперения самолетов

Номер элемента n	SSJ-100		Boeing 737	
	Интенсивность отказов $\lambda_i(t)$, $\cdot 10^{-6}$ час $^{-1}$	Время наработки на отказ t , час	Интенсивность отказов $\lambda_i(t)$, $\cdot 10^{-6}$ час $^{-1}$	Время наработки на отказ t , час
1	0,34	10000	0,38	10000
2	2,00	100 000	2,19	110 000
3	6,65	12000	5,91	12500
4	2,50	50000	3,33	65000
5	3,45	30000	3,89	35000
6	45,30	10000	45,11	10000
7	3,80	10000	5,61	10000
8	10,20	35000	3,18	35000
9	0,25	10000	3,19	10000
10			6,10	12500

Примечание: на SSJ-100 отсутствует сервокомпенсатор руля высоты. Поэтому, столбец 10 для данного самолета остается пустым.

Интенсивность отказов последовательной схемы соединения элементов равна сумме интенсивностей отказов λ_c отдельных элементов λ_i :

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t), \text{ где } i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Для самолета SSJ-100 получаем:

$$\lambda_c(t) = (0,34 + 2 + 6,65 + 2,5 + 3,48 + 45,3 + 3,8 + 10,2 + 0,25) \cdot 10^{-6} = 74,49 \cdot 10^{-6}$$

Для самолета Boeing 737 получаем:

$$\lambda_c(t) = (0,38 + 2,19 + 5,91 + 3,33 + 3,89 + 45,11 + 5,61 + 3,18 + 3,19 + 6,1) \cdot 10^{-6} = 78,89 \cdot 10^{-6}$$

Таким образом, интенсивность отказов будет выше для самолета Boeing 737.

Для периода нормальной эксплуатации наработка на отказ системы из последовательно соединенных элементов будет равна [3]:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_c} \quad (2)$$

Наработка на отказ для самолета SSJ-100 получаем:

$$T_0 = \frac{1}{74,49 \cdot 10^{-6}} = 0,0134 \cdot 10^6 \text{ час} = 13424 \text{ час}$$

Наработка на отказ для самолета Boeing 737:

$$T_0 = \frac{1}{78,89 \cdot 10^{-6}} = 0,0126 \cdot 10^6 \text{ час} = 12676 \text{ час}$$

Примем, что вероятность отказов системы оперения самолетов подчиняется экспоненциальному закону.

$$P_i(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Для самолета SSJ-100, для элемента №1 получаем вероятность отказа элемента №1:

$$P_i(t) = e^{-0,34 \cdot 10^{-6} \cdot 10000} = 0,9966$$

Вероятность безотказной работы P_c и вероятность отказа Q_c системы при последовательном соединении n элементов определяется по формулам:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t); \quad Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad \text{где } i = 1, 2, \dots, n \quad (4,5)$$

Определим эти величины для всех элементов хвостового оперения для двух самолетов и сведем расчеты в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета вероятности безотказной работы и вероятности возникновения отказа системы

Номер элемента n	SSJ-100	Boeing 737
	Вероятность отказа для отдельного элемента $P_i(t)$	Вероятность отказа для отдельного элемента $P_i(t)$
1	0,9966	0,9962
2	0,8187	0,7859
3	0,9233	0,9287
4	0,8825	0,8053
5	0,9016	0,8727
6	0,6357	0,6369
7	0,9627	0,9454
8	0,6997	0,8946
9	0,9975	0,9686
10		0,9265
$P_c(t)$	0,2560	0,2471
$Q_c(t)$	0,7439	0,7528

По результатам расчетов видно, что вероятность отказа системы оперения самолета, которая входит в систему управления, выше для самолета Boeing 737. При этом вероятность безотказной работы объекта (системы оперения самолета) будет выше для SSJ-100. Это объясняется тем, что в состав системы оперения самолета Boeing 737 входит больше последовательно соединенных элементов.

Стоит отметить, что большее количество перевозки пассажиров совершается именно на Boeing 737.

Библиографический список

1. Информационный портал «NaSamoletah.ru». Все о перелетах на самолетах. URL: https://nasamoletah.ru/samolety/kakoj-samolet-samyj-nadezhnyj-i-bezopasnyj-rejting-bezopasnosti.html#Boeing_737 (дата обращения: 01.05.2020).
2. Национальный портал электронного сервиса «MAIL.KZ». Сведение об инцидентах. URL: <https://mail.kz/ru/news/world-news/skolko-incidentov-proizoshlo-s-sukhoi-superjet-za-let> (дата обращения: 01.05.2020).
3. *Кириакиди С. К., Сатин В. А.* Надежность летательных аппаратов: учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ, 2009. 107 с.
4. Самолет SSJ-100. Руководство по летной эксплуатации: в 4 ч. Ч. 2: Эксплуатация систем и оборудования // Компания «Сухой. Гражданские самолеты». 2011. 1149 с.
5. Boeing 737. Flight manual. Руководство по летной эксплуатации. // Компания «Boeing». 2011. 2129 с.

УДК 629.7.05

Д. А. Чайка

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

А. И. Панферов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ГАНТЕЛЕВИДНОЙ ФОРМЫ НА ОРБИТЕ

За всю историю космических полетов после «Аполлона-13» не было совершено ни одного полета с использованием пилотируемых космических аппаратов (КА). В будущем, если человечество будет стремиться стать мультипланетарной цивилизацией, ему предстоит столкнуться с проблемой преодоления огромных расстояний и буксирования грузов в космическом пространстве (КП).

Из множества проблем освоения дальнего космоса пилотируемыми экспедициями хотелось бы выделить две основные: радиация, выбор двигателей для космических аппаратов.

КП пронизано потоком заряженных релятивистских частиц, которые рождены и ускорены до высоких (вплоть до 10^{20} эВ) энергий вне пределов Земли и способны нанести колоссальный вред как здоровью людей, так и работоспособности техники [1, с. 12]. Нужно иметь в арсенале такой КА, который способен преодолевать огромные расстояния за минимальное количество времени, тем самым уменьшая долю получаемого людьми облучения.

Из существующих вариантов двигателей для путешествия в КП рассмотрим химические реактивные (ХРД) и ионные реактивные двигатели (ИРД), основные минусы и плюсы которых приведены в таблице 1. Двигательные установки (ДУ) на основе ИРД позволяют увеличивать скорость на протяжении всего полета, однако из-за малой тяги не позволяют дать существенное приращение скорости массивному КА. Данный недостаток не позволяет использовать ИРД для старта с планет, однако в условиях невесомости, при достаточно долгой работе двигателей, есть возможность разогнать космический аппарат до скоростей, которые недоступны сейчас никаким другим из существующих видов двигателей. Преимущества ИРД перед ХРД позволяют сделать вывод: использование ДУ на основе ионных двигателей более целесообразно для буксирования грузов в КП, однако мы не можем отказаться от ХРД, так как они позволяют выводить полезную нагрузку с планеты. Так как ИРД имеют огромное электропотребление, КА должен обладать мощным, а значит и тяжелым силовым агрегатом для их питания.

Таблица 1

Основные плюсы и минусы ХРД и ИРД

Двигатель	Плюсы	Минусы
ХРД	-большой удельный импульс, -огромный опыт эксплуатации, -управляемость с помощью тяги.	-огромный расход топлива, -жидкость в баках в невесомости перемещается хаотично.
ИРД	-огромная скорость выброса рабочего тела, -малый расход топлива, -ресурс работы 10-100 тыс. часов [2].	-огромное электропотребление, -малая тяга.

Во всех конструкторских решениях, КА принимает гантелевидную форму, так как двигательный отсек связан с энергоблоком посредством легкого стержня попеременного поперечного сечения. Возможный вариант КА представлен на рис. 1. Такой буксир может использоваться для доставки исследовательских станций к большим космическим объектам, для транзита спутников с низких орбит на высокие, в качестве астероидного гравитационного буксира и для отправки пилотируемых экспедиций в дальний космос.

Транспортно-энергетический модуль

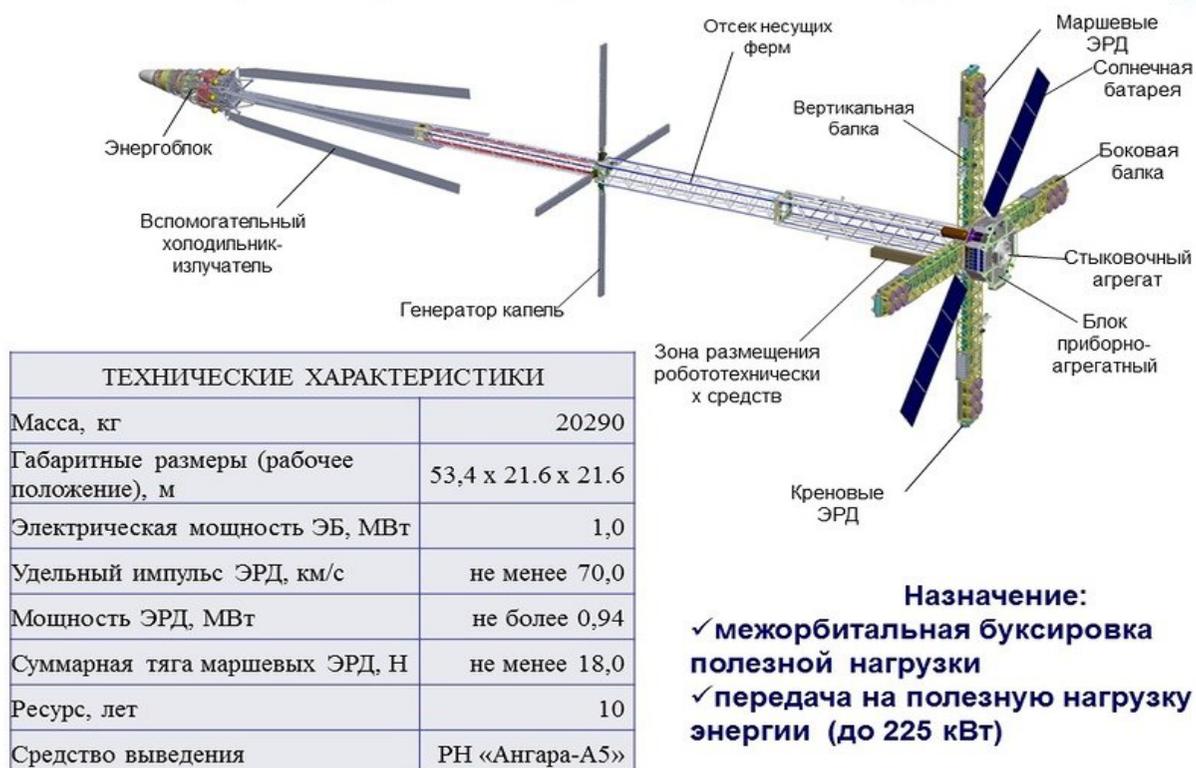


Рис. 1. Схема межпланетного буксира РКК «Энергия»

Анализ влияния неоднородности гравитационного поля Земли на КА гантелевидной формы

После вывода буксира на орбиту, центр масс (ЦМ) КА начинает двигаться по круговой орбите радиуса R в неоднородном гравитационном поле Земли, как показано на рис. 2.

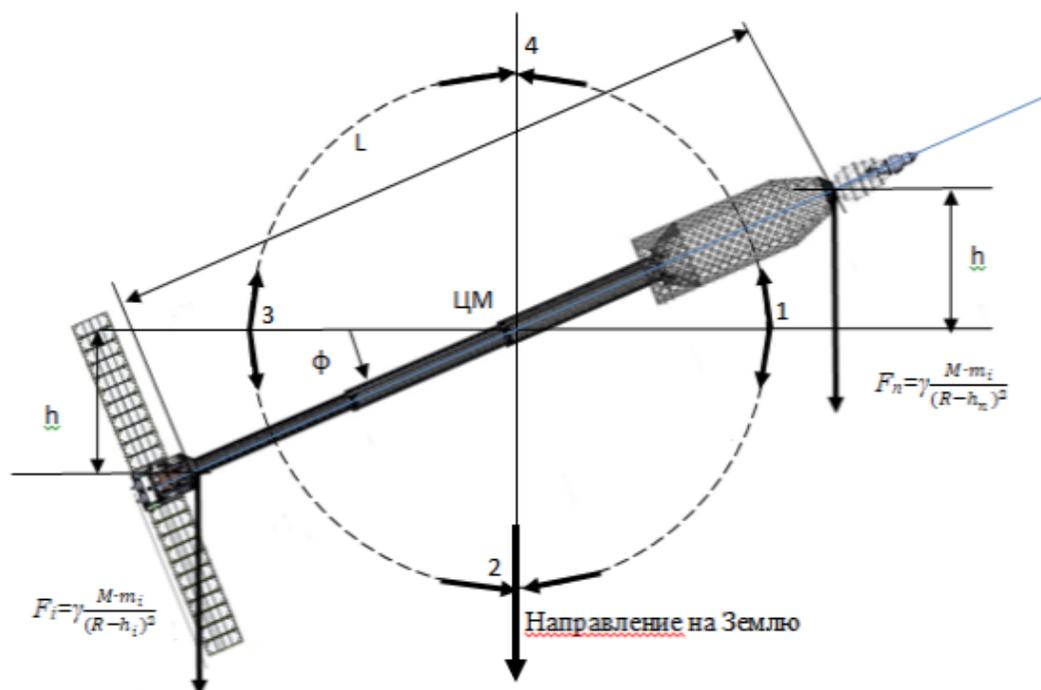


Рис. 2. Схема, поясняющая возникновение крутящего момента

В соответствии с законом всемирного тяготения тела с массами M и m_i притягиваются друг к другу с силой:

$$F_i(t) = \gamma \cdot \frac{M \cdot m_i}{(R \pm h_i)^2}, \quad (1)$$

где $\gamma = 6.67408 \cdot 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ – гравитационная постоянная; h_i – отклонение от ЦМ орбиты; M – масса Земли.

ЦМ КА и точки с координатами x_i расположены на расстоянии R и $R \pm h_i$ от центра Земли соответственно. Из-за разницы расстояний до Земли отдельных элементов КА, возникает крутящий момент $M_g(\varphi)$, поворачивающий конструкцию в плоскости орбиты и стремящийся привести ее в квазиустойчивое состояние:

$$M_g(\varphi) = \sum_{i=1}^N F_i(x_i - x_{цм}) \cos(\varphi), \quad (2)$$

где $x_{цм}$ – координата ЦМ, φ – угол между касательной к орбите и продольной осью КА. Для наглядности расчетов здесь и далее использованы данные КА длиной 53 метра и массой 19 тонн, также, пренебрегается упругость конструкции.

Функция (2) достаточно точно аппроксимируется функцией $M(\varphi) = 7.33 \cdot \cos(2\varphi)$ [3].

$$M(\varphi) = 7.33 \cos(2\varphi). \quad (3)$$

Вывод из формулы (2): протяженные объекты на орбите устанавливаются перпендикулярно Земле (положение 2-4 на рис. 2).

Принципы управления

Так как ионные двигатели обеспечивают минимальный расход топлива в режиме максимальной тяги [4], для решения задачи стабилизации и ориентации используется принцип Максимума Понтрягина. Данный принцип применяется в системах управления с максимальным быстродействием и минимальным расходом энергии [5]. В случае с КА на ИРД, закон управления в каналах тангажа и рысканья будет иметь вид:

$$u(\varphi, \dot{\varphi}) = -u_{\max} \text{sign}\left(\varphi + \frac{\dot{\varphi}|\dot{\varphi}|}{2u_{\max}}\right), \quad (4)$$

где u_{\max} – максимальная управляющая сила, φ – угол отклонения КА от заданного положения, $\dot{\varphi}$ – угловая скорость КА.

Для стабилизации буксира на орбите по крену используется пропорциональный закон управления [6, с. 94].

Модель для исследования динамических свойств системы ориентации и стабилизации методом численного моделирования

Программа изучения динамических свойств системы ориентации и стабилизации (СОС) написана с помощью пакета прикладных программ Matlab/Simulink. Структура программы приведена на рисунке 3, где:

1. Расчет сил и моментов от двигателей стабилизации;
2. Модель движения твердого тела в кватернионах с 6 степенями свободы;
3. Формирование параметров движения КА;
4. Двухрежимный регулятор углов тангажа и рысканья по закону управления (4);
5. Регулятор крена;
6. Калькулятор гравитационного момента, реализованный с помощью (3).

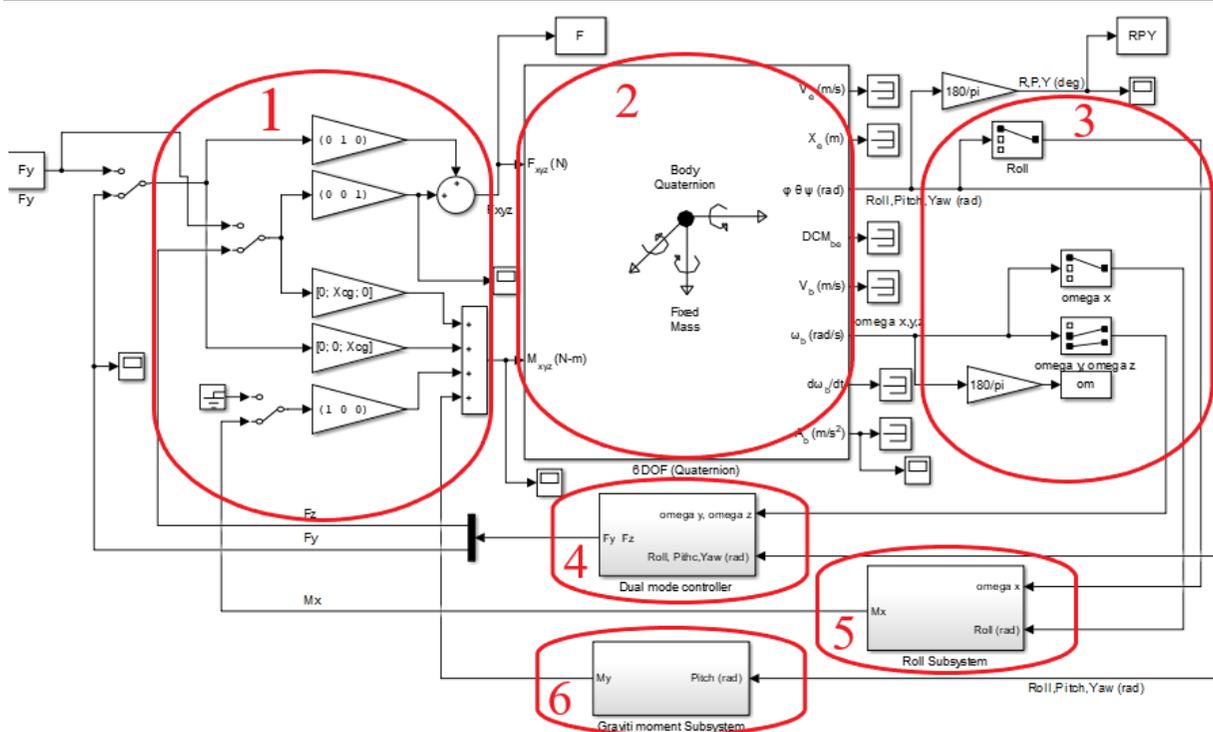


Рис. 3. Структурная схема модели системы стабилизации и ориентации

Результаты моделирования системы стабилизации и ориентации КА с произвольной начальной ориентацией

Изменения ориентации КА в процессе стабилизации по углам крена, тангажа и рысканья, а также, изменения угловой скорости на соответствующие оси представлены на рисунках 4 и 5 соответственно.

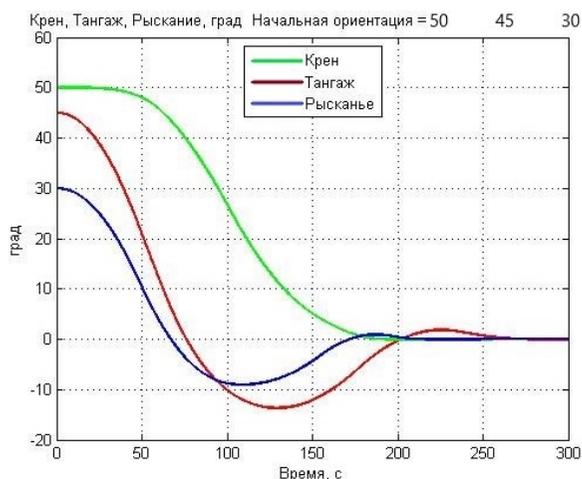


Рис. 4. Изменения ориентации КА в процессе стабилизации при начальных условиях углов крена 50°, тангажа 45° и рысканья 30°

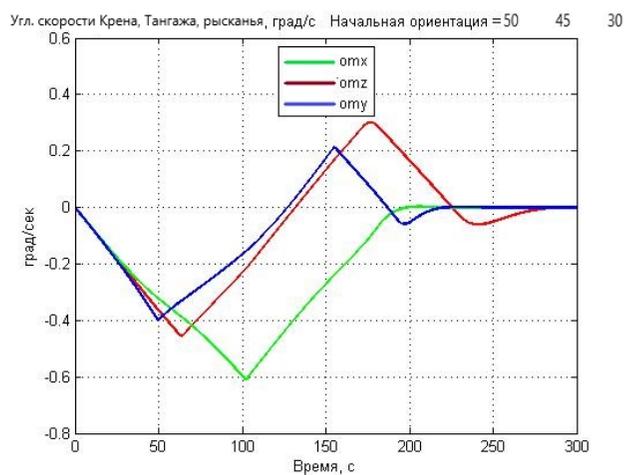


Рис. 5. Изменение угловой скорости КА в процессе стабилизации при начальных значениях углов крена 50°, тангажа 45° и рысканья 30°

Вывод

Буксир на ИРД является наиболее перспективным КА для путешествий в КП.

Моделирование СОС КА показало, что Принцип Максимиума Понтрягина позволяет с достаточно высокой точностью стабилизировать корабль на орбите при больших углах отклонения, однако, если углы малы, то система становится неустойчивой. Для нейтрализации данной проблемы был предусмотрен двухрежимный способ управления каналами тангажа и рысканья, когда при малых φ используется линейный закон управления, а при больших φ - релейный. Точность переходного процесса составила $\pm 1^\circ$, а его время около пяти минут. В процессе моделирования не были учтены: упругость КА, сила сопротивления остаточной атмосферы, давление солнечного света и другие факторы, которые требуют отдельного рассмотрения.

Библиографический список

1. Гинзбург В. Л. *Астрофизика космических лучей*. М.: Знание, 1969. 50 с.
2. Jonathan L. V. *Lifetime Assessment of the next Ion Thruster*.: Cincinnati, 2007. 24 p.
3. Panferov A. I., Brodsky S. A., Nebylov A. V. *Development of algorithms for controlling the orientation of a large elastic spacecraft // 3rd International Conference and Exhibition on Satellite & Space Missions*. May 11–13 2017. Barcelona, Spain, 2017
4. Гусев Ю. Г., Пильников А. В. *Роль и место электроракетных двигателей в Российской космической программе // Труды МАИ*. Вып. 60. 2012.
5. Милютин А. А., Дмитрук А. В., Осмоловский Н. П. *Принцип Максимиума в оптимальном управлении*. М.: Москов. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2004. 72 с.
6. *Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко*. М.: Наука, 1969. 394 с.
7. Ким Д. П. *Теория автоматического управления*. М.: Юрайт, 2016. 275 с.

УДК 629.7.054

Д. А. Шадрин

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Н. А. Овчинникова – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА LL И RR-ТИПА**

В последние годы микромеханические гироскопы (ММГ) стали объектом повышенного внимания, как разработчиков инерциальных измерителей, так и потребителей этих продуктов. Микромеханические гироскопы характеризуются уникально малыми массой и габаритами, низким потреблением электроэнергии, возможностью функционирования в жестких условиях эксплуатации. Повышение технологичности конструкций и точности ММГ позволит использовать их в новых областях гражданской и военной техники.

Известно большое количество разнообразных схем ММГ. Общим конструктивным признаком ММГ – вибрационных датчиков угловой скорости, является использование в них различных по конфигурации двухстепенных упругих подвесов чувствительного элемента (ЧЭ). Принцип работы ММГ заключается в создании относительно корпуса знакопеременного поступательного либо вращательного движения ЧЭ по одной из степеней свободы и измерении перемещений по другой степени свободы, возникающих под действием Кориолисовых сил или гироскопических моментов при наличии переносной угловой скорости корпуса.

В зависимости от типа движения ЧЭ в подвесе, ММГ можно разделить на три группы: ММГ RR-типа – с вращательным движением ЧЭ по обеим степеням свободы; ММГ RL-типа – с вращательным движением по одной степени свободы и с поступательным – по другой; ММГ LL-типа – с поступательными движениями по обеим степеням свободы. Более подробно рассмотрим ММГ RR и LL типа, так как работа основывается на их конструкциях.



Рис. 1. Классификация микромеханических гироскопов

В ММГ LL-типа линейная скорость, создающая первичные колебания, изменяется по гармоническому закону под действием силы, развиваемой актуатором (режим возбуждения). Вторичные колебания, которые в гироскопе LL-типа также линейные, характеризуют реакцию гироскопа на силу инерции Кориолиса (режим чувствительности). Первичные и вторичные колебания могут располагаться как в одной плоскости, в основном это плоскость структуры ММГ, так и в разных плоскостях. Существуют ММГ с различными типами подвесов, с разным количеством ИМ, с внешней рамкой и без нее.

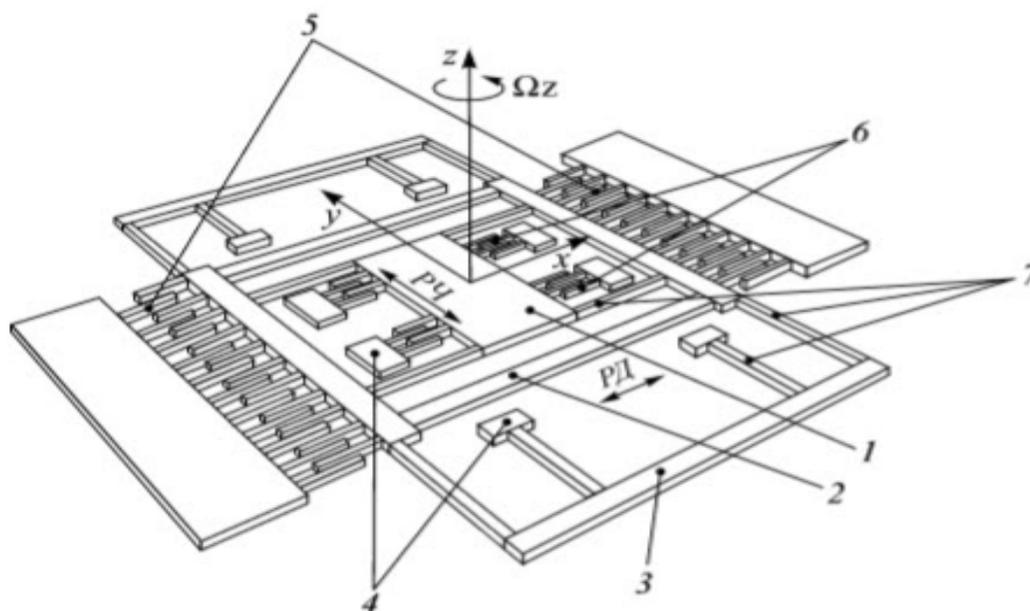


Рис. 2. Микромеханический гироскоп LL-типа

На рис. 2 1 – инерционная масса; 2 – торсионы режима движения; 3 – торсионы режима чувствительности; 4 – гребенчатые структуры привода; 5 – конденсаторы датчиков перемещения; 6 – площадки крепления (анкеры).

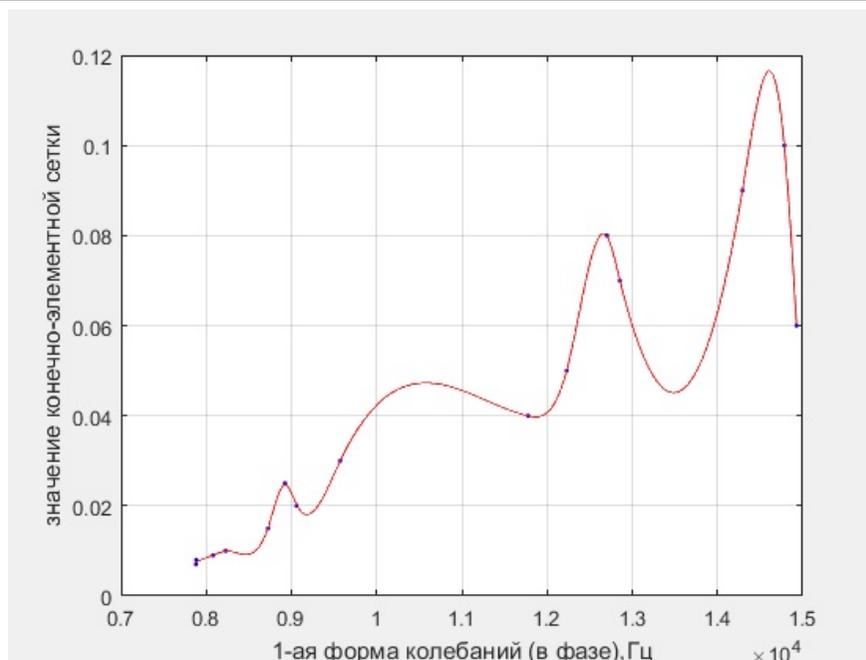
Для выявления особенностей конструкции ММГ проведем частотный анализ конструкции. Для проведения частотного анализа нужно наложить конечно-элементную сетку, для этого выполняется подбор оптимальных размеров, данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

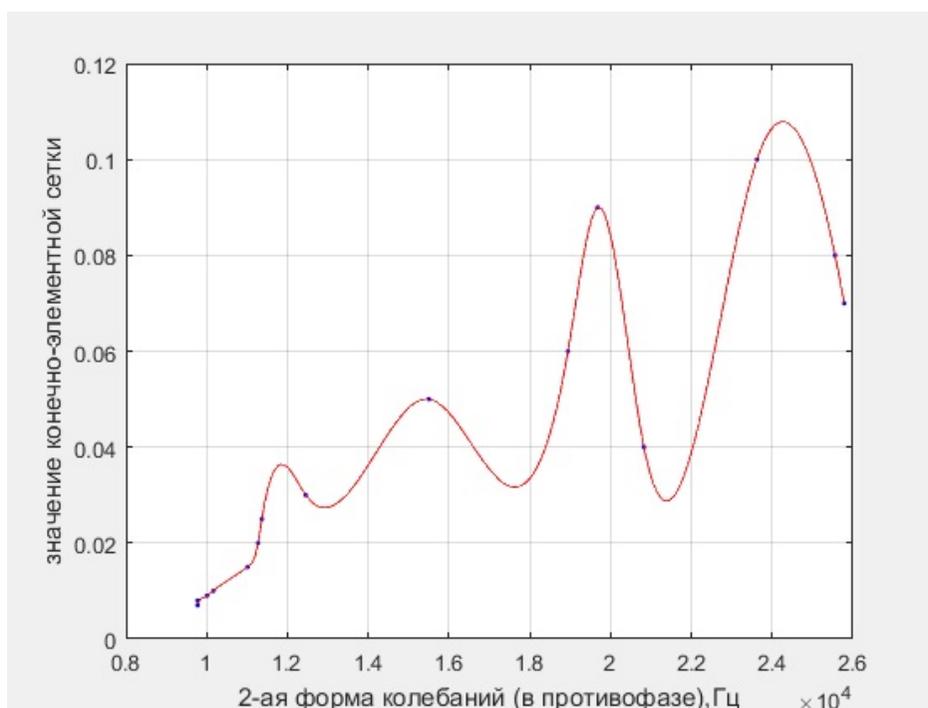
Данные подбора конечно-элементной сетки

Значение конечно-элементной сетки	Частота 1-й формы колебаний (в фазе), Гц	Частота 2-й формы колебаний (в противофазе), Гц
0.1	14785	23625
0.09	14293	19682
0.08	12703	25557
0.07	12854	25787
0.06	14928	18945
0.05	12230	15502
0.04	11777	20826
0.03	9573	12450
0.025	8925	11366
0.02	9061	11273
0.015	8726	11016
0.01	8228	10163
0.009	8081	10006
0.008	7884	9777
0.007	7881	9776

Графические данные подбора конечно-элементной сетки, представлены на рис. 3.(а, б).



а)



б)

Рис. 3. Зависимость конечно-элементной сетки от частоты 1-й формы колебаний (в фазе) (а); зависимость конечно-элементной сетки от частоты 2-й формы колебаний (в противофазе) (б)

Для построения модели ММГ, используется программный продукт TFLEX CAD 3D и T-FLEX Анализ.

- Форма колебаний 1 – резонансная частота $F1 = 7883.567$ Гц.
- Форма колебаний 2 – резонансная частота $F2 = 8840.833$ Гц.
- Форма колебаний 3 – резонансная частота $F3 = 9777.196$ Гц.
- Форма колебаний 4 – резонансная частота $F1 = 15733.262$ Гц

Полученная конструкция приведена на рис. 4

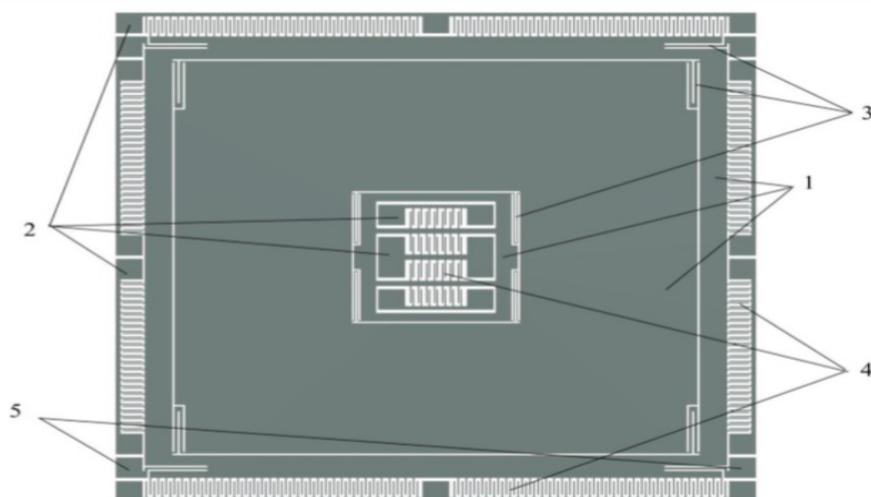


Рис. 4. Конструкция микромеханического гироскопа: 1 – инерционная масса; 2 – неподвижные элементы; 3 – упругие элементы подвеса; 4 – гребенчатые электроды; 5 – анкеры

При разработке конструкции и проведении частотного анализа, стояла основная задача, сблизить собственные частоты в фазе и противофазе. Для получения необходимой частоты были приняты конструктивные решения, связанные с увеличением массы датчика. Так как частота прямо пропорциональна жесткости упругого подвеса и обратно пропорциональна массе. За счет увеличения толщины активной части сенсора, была увеличена масса, а жесткость увеличена за счет уменьшения длины торсионов и увеличения их ширины.

В ММГ RR-типа движение ИМ в РД и РЧ носит вращательный характер. Сочетание относительного, вращательного движения ИМ в РД и ее переносного, вращательного движения в РЧ приводит к возникновению момента сил инерции Кориолиса, который носит название «гироскопический момент».

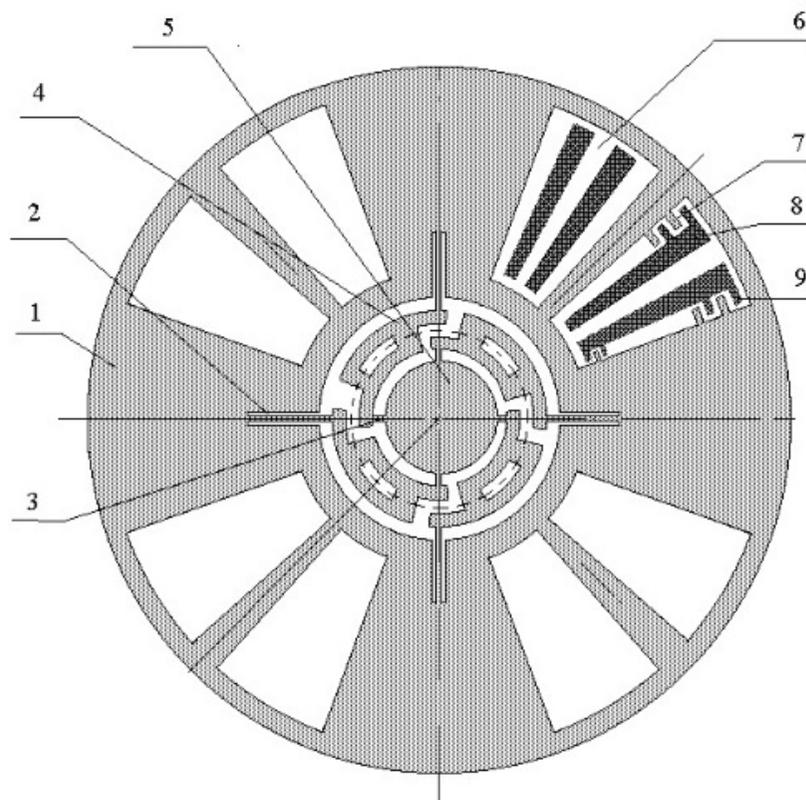


Рис. 5. Конструктивная схема микрогироскопа RR-типа

Выбранная конструктивная схема содержит две оси чувствительности. Две оси чувствительности лучше, чем одна, так как это дает возможность спроектировать прибор с лучшими экономическими параметрами, чем сборка из двух гироскопов, измеряющих только по одной оси.

У данного типа конструкции были рассмотрены инерционно-массовые характеристики. В этом пункте выполнен расчет массы ротора: в качестве элементов определяющих конструктивную схему ротора рассматривался сплошной ротор, окно под размещаемый двигатель и зубцы электростатического двигателя. При выбранных параметрах: $R=1500$ мкм, $r=400$ мкм, $h=25$ мкм, $\rho=2330$ кг/м³, $R_{ок}=1450$ мкм, $r_{ок}=450$ мкм.

Масса сплошного ротора вычисляется по формуле

$$m_c = \rho \pi h (R^2 - r^2). \quad (1)$$

Фиктивная масса окна

$$m_{ок} = \rho \frac{\pi h \rho}{360} \cdot (R_{ок}^2 - r_{ок}^2). \quad (2)$$

В результате вычислений получаются следующие значения:

$$m_c = 3,82 \cdot 10^{-7} \text{ кг},$$

$$m_{ок} = 3,79 \cdot 10^{-10} \text{ кг}.$$

При расчете осевого момента инерции ротора: были использованы те же определяющие конструкцию ротора элементы, что и при расчете массы ротора (R - Наружный радиус ротора, r - Внутренний радиус ротора, h - Толщина ротора, $R_{ок}$ - Наружный радиус окна, $r_{ок}$ - внутренний радиус окна).

Осевой момент инерции ротора

$$J_{оп} = J_c + n J_{ок} + 2n \sum_{i=1}^1 J_{оги}. \quad (3)$$

Осевой момент инерции сплошного ротора

$$J_c = \frac{\rho \pi h}{2} (R^4 - r^4). \quad (4)$$

Фиктивный момент инерции одного окна

$$J_{ок} = \frac{\rho h}{4} (R_{ок}^4 - r_{ок}^4) \varphi_{ок}. \quad (5)$$

Момент i -го гребешка двигателя

$$J_{оги} = \frac{\rho h}{4} (R_{ги}^4 - r_{ги}^4) \varphi_{г}. \quad (6)$$

В результате вычислений были получены следующие значения моментов инерций:

$$J_c = 4,6 \cdot 10^{-13} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad J_{ок} = 2,5 \cdot 10^{-14} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad J_{оп} = 2,14 \cdot 10^{-13} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Вследствие симметрии ротора экваториальные моменты инерции его относительно обеих осей чувствительности одинаковы. Экваториальные моменты инерции элементов конструктивной схемы ротора рассчитываются по формулам:

Экваториальный момент инерции сплошного ротора

$$J_{эс} = \frac{1}{2} \cdot J_c. \quad (7)$$

Экваториальный фиктивный момент инерции одного окна

$$J_{эо} = \frac{\rho h}{4} \cdot (R_{ок}^4 - r_{ок}^4) \left[\left(\frac{1}{2} \cdot \varphi_{ок} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2\varphi_{ок} \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot \varphi_{он} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2\varphi_{он} \right) \right]. \quad (8)$$

Экваториальный момент инерции i -го гребешка левой половины двигателя

$$J_{\text{ЭГ}i}^{\text{Л}} = \frac{\rho h}{4} \cdot (R_{\text{ЭГ}i}^4 - r_{\text{Г}i}^4) \left[\left(\frac{1}{2} \cdot \varphi_{\text{ГКЛ}} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2(\varphi_{\text{ГКЛ}}) \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot \varphi_{\text{ГНЛ}} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2(\varphi_{\text{ГНЛ}}) \right) \right]. \quad (9)$$

Моменты инерции выполняются для гребешков двигателей во внутреннем и наружном окне отдельно.

Экваториальный момент инерции i -го гребешка правой половины двигателя

$$J_{\text{ЭГ}i}^{\text{П}} = \frac{\rho h}{4} \cdot (R_{\text{ЭГ}i}^4 - r_{\text{Г}i}^4) \left[\left(\frac{1}{2} \cdot \varphi_{\text{ГКП}} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2(\varphi_{\text{ГКП}}) \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot \varphi_{\text{ГНП}} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2(\varphi_{\text{ГНП}}) \right) \right]. \quad (10)$$

Суммарный экваториальный момент инерции ротора

$$J_{\text{Э}} = K_3 J_{\text{ЭС}} - 4J_{\text{ЭОВ}} - 4J_{\text{ЭОН}} + 4 \sum_{i=1}^1 J_{\text{ЭГ}i}^{\text{ЛВ}} + 4 \sum_{i=1}^1 J_{\text{ЭГ}i}^{\text{ПВ}} + 4 \sum_{i=1}^1 J_{\text{ЭГ}i}^{\text{ЛН}} + 4 \sum_{i=1}^1 J_{\text{ЭГ}i}^{\text{ПН}}, \quad (11)$$

где $J_{\text{ЛВ}}$ и $J_{\text{ПВ}}$ – моменты инерции левой и правой половины двигателя во внутреннем окне, $J_{\text{ЛН}}$ и $J_{\text{ПН}}$ – в наружном окне.

В результате расчетов были получены следующие значения:

$$J_{\text{ЭС}} = 2,3 \cdot 10^{-13} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad J_{\text{ЭО1}} = 6,89 \cdot 10^{-15} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad J_{\text{ЭО2}} = 1,81 \cdot 10^{-14} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad J_{\text{Э}} = 1,17 \cdot 10^{-13} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Библиографический список

1. Распов В. Я., Матвеев В. В. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. 2009. 98 с.
2. Распов В. Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. С. 47–73.
3. Расчет надежности упругих элементов микромеханических гироскопов. URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/908.pdf> (дата обращения: 13.05.2020).

УДК 629.7.063.6

Е. В. Шигачев

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

М. И. Лесняк

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

К. С. Гунин

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Ю. М. Осипов

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

П. Н. Неделин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СИСТЕМА ВЫРАВНИВАНИЯ КРЕНА ЛА, ВЫЗВАННОГО НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСХОДОМ ТОПЛИВА В БАКАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В КРЫЛЬЯХ ЛА

Исследование систем автоматического балансирования самолета при выработке топлива из левой и правой консолей крыла, а также систем измерения суммарного количества топлива и количества топлива в левой и правой консолях крыла отдельно.

Актуальность заключается в том, что неправильное расходование топлива из отдельных баков может привести к нарушению центровки самолета. Для поддержания центра тяжести самолета в определенном положении при изменении запаса топлива необходимо использовать автоматы выравнивания или автоматы центровки перекачки топлива (АЦТ).

Исходное состояние:

- горизонтальный полет;
- наклон;
- крен.

Предполагается, что топливные баки размещены в крыльях летательного аппарата, имеют одинаковые объемы и одинаковую конфигурацию. Причиной крена летательного аппарата является (в частности) неравномерный расход топлива в баках.

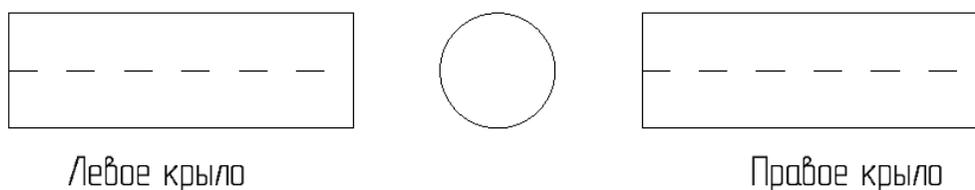


Рис. 1. Горизонтальный полет с равномерным расходом топлива

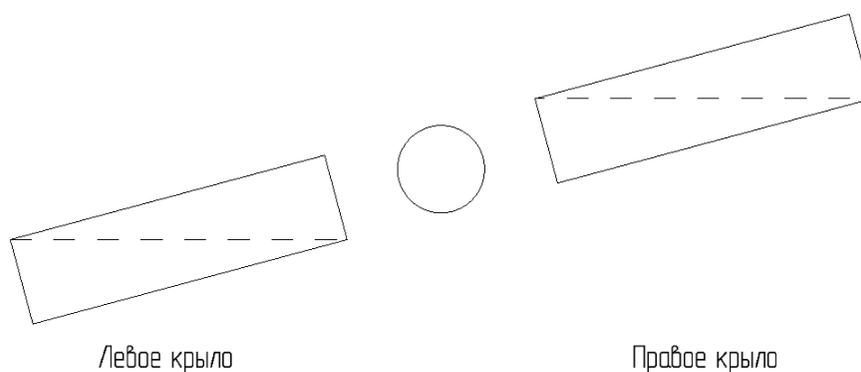


Рис. 2. Уровень топлива со смещением (крен при неравномерном расходе, когда левый бак содержит больше топлива, чем правый)

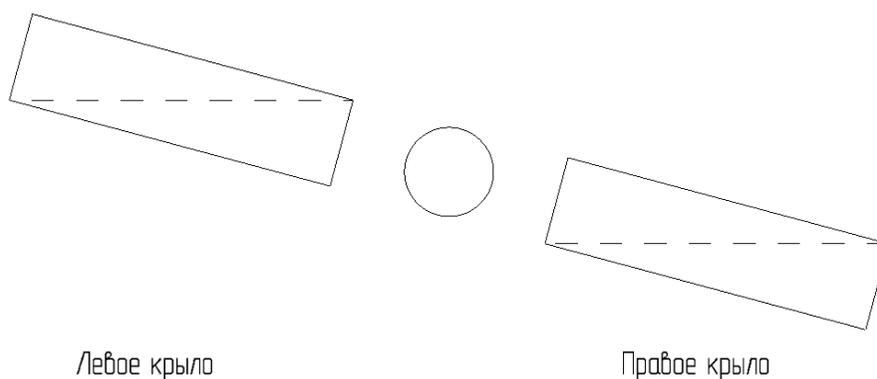


Рис. 3. Уровень топлива со смещением (крен при неравномерном расходе, когда правый бак содержит больше топлива, чем левый)

Для устранения крена (горизонтальный полет) необходимо:

- оценить его направление;
- обеспечить перекачку топлива от «большого к меньшему» с одновременным измерением (компенсацией) наклона;
- дополнительно обеспечить измерение уровня (количества) остатка топлива после выравнивания крена;
- обеспечить автономность системы выравнивания, т. е. только по измерениям уровня топлива (т. е. крена летательного аппарата).

В основу разработки системы можно положить рассмотренную выше систему измерения уровня (количества) топлива в нестационарной емкости посредством УЗ-датчиков уровня с аналоговым выходом.

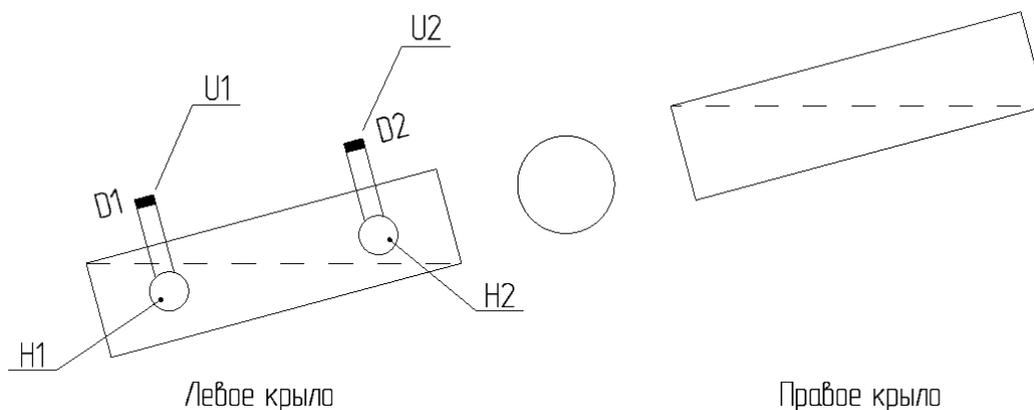


Рис. 4. Уровни топлива при крене

H_1, H_2 – уровень топлива в левом крыле при крене, вызванном его количеством в левом баке большим, чем в правом.

D_1, D_2 – датчики уровня (ультразвуковые).

----- уровень топлива (при горизонтальном полете).

Выходные сигналы датчиков:

U_1 – датчик D_1 и U_2 датчик D_2 различны, т. е. U_1 соответствует минимальному уровню H_1 , так как уровень H_2 больше H_1 (крен влево).

Тогда схема управления уровнями в баках левого и правого крыльев выглядит следующим образом:

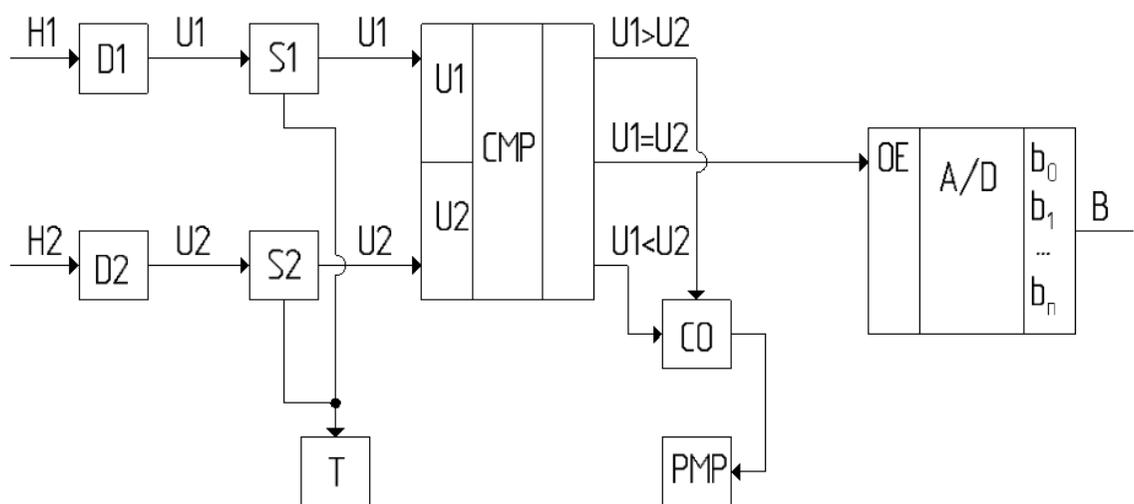


Рис. 5. Схема управления уровнями в баках левого и правого крыльев

Здесь выходные сигналы U_1 , U_2 датчиков D_1 , D_2 через ключи управляемые таймером подаются на входе аналогового компаратора СМР, причем в зависимости от их соотношения один из выходов компаратора « $U_1 > U_2$ » или « $U_1 < U_2$ » устанавливается в «единицу».

В нашем примере, когда при крене влево уровни $H_2 > H_1$, т. е. $U_2 > U_1$, схема управления насосом перекачки СО обеспечивает соответствующее положение его клапанов, когда при запуске насоса производится перекачка топлива из левого бака в правый. При достижении равенства уровней (количества) топлива в баках, т. е. устранение крена вызванного их различием (горизонтальный полет), выход « $U_1 = U_2$ » компаратора устанавливается в «единицу», а выходы « $U_1 > U_2$ » и « $U_1 < U_2$ » обнуляются, что блокирует запуск и работу насоса перекачки РМР.

При достижении равенства выходных сигналов датчиков ($U_1 = U_2$) в горизонтальном полете обеспечивается возможность измерения уровня топлива, или если это необходимо, его объема в баках, расположенных в крыльях ЛА. Так при $U_1 = U_2$ выходной сигнал компаратора « $U_1 = U_2$ » устанавливается в «единицу», что разрешает работу АЦП (А/D), преобразующего значения выходных сигналов датчиков при $U_1 = U_2$ в цифровой код В, значение которого соответствует уровню топлива в левом и правом баках и может быть передано в ЦП летательного аппарата (рис. 5).

Таким образом, предлагаемое решение допускает:

- 1) выравнивание положения (крен) летательного аппарата, вызванное неравномерным расходом топлива в баках, расположенных в его крыльях;
- 2) получение информации об уровнях и объемах топлива в указанных баках летательного аппарата.

Библиографический список

1. Приборное оборудование самолета Як-40 и его летная эксплуатация: учеб. пособие / сост. Е. В. Антонец, Г. А. Федосеева. Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2011. 54 с.
2. Авиационные приборы и пилотажно-навигационные комплексы: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1 / сост. Е. В. Антонец, В. И. Смирнов, Г. А. Федосеева. Ульяновск: УВАУ ГА, 2007. 119 с.
3. Авиационные приборы и измерительные системы / под ред. В. Г. Воробьева. М.: Транспорт, 1981. 391 с.
4. Самолет Як-40: рук. по летной эксплуатации. М.: Воздушный транспорт, 1995.

УДК 001.87, 004.588

Е. В. Щелкунов

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. К. Пономарев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВЫХ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ

В большинстве микромеханических гироскопов (ММГ) при создании используются свойства инерции вибрирующих масс в поступательном или вращательном движении [1]. В ряде конструктивных схем используют и другой физический закон – свойство инерции стоячей акустической волны, возбуждаемой в упругом кольце из кремния [2]. На рис. 1 показана упругая деформация кремниевого кольца (резонатора) при отсутствии и наличии угловой скорости основания.

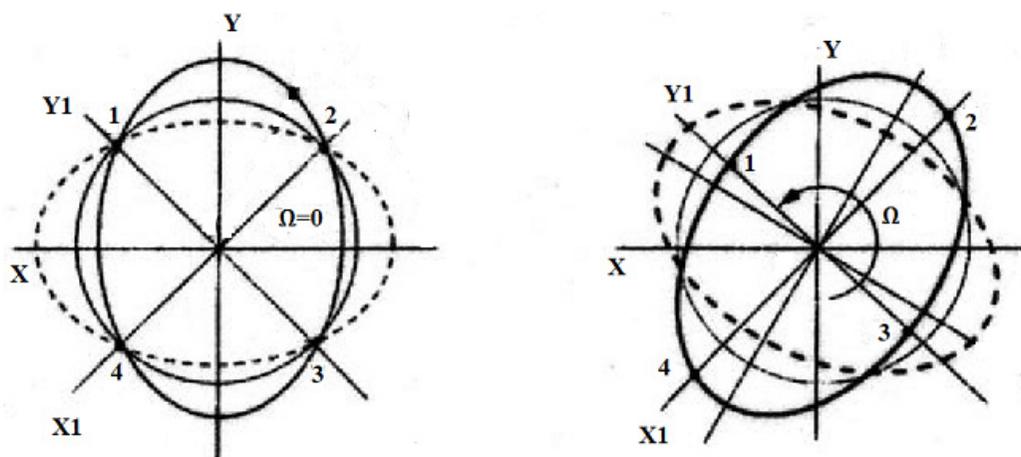


Рис. 1. Упругая деформация кольца при отсутствии и наличии вращения основания

Рис. 1 наглядно показывает, что при отсутствии вращения основания точки кольца по осям X_1 и Y_1 неподвижны, а при наличии угловой скорости основания они приходят в движение. Датчики, установленные по осям, измеряют эти перемещения и преобразуют их в электрический сигнал. Амплитуда этих колебаний будет пропорциональна угловой скорости вращения основания. Оси X и Y именовуют осями возбуждения, а оси X_1 и Y_1 – измерительными осями.

Динамика резонатора описывается уравнением в частных производных [2], которое не имеет точного решения. При поиске приближенного решения его ищут в виде бесконечного ряда гармоник форм колебаний (мод колебаний). Наибольшие энергетические характеристики имеет вторая мода колебаний, поэтому именно ее используют для описания работы волнового гироскопа. Система дифференциальных уравнений для второй моды колебаний получена в виде [3]:

$$\begin{aligned} \ddot{C}(t) - 1.6\Omega\dot{S}(t) + 2\zeta\nu\dot{C}(t) + \nu^2C(t) &= -0.2f_1(t); \\ \ddot{S}(t) + 1.6\Omega\dot{C}(t) + 2\zeta\nu\dot{S}(t) + \nu^2S(t) &= -0.2f_2(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь: $C(t)$ – функция радиальных перемещений кольца вдоль оси возбуждения, $S(t)$ – функция радиальных перемещений кольца вдоль измерительной оси, $\nu = \frac{6}{\sqrt{5}}\chi$ – собственная частота второй

моды колебаний резонатора, $\zeta = 0.6\sqrt{5}\frac{\xi_1}{\chi}$ – коэффициент колебательности, а параметры χ и ζ вычисляются исходя из геометрии кольца и физических характеристик материала.

Эти уравнения описывают физические колебания кольца и имеют важное значение при разработке системы возбуждения кольца, измерения колебаний и обработки информационных сигналов. Необходимо отметить, что волновые ММГ относятся к классу модуляционных измерителей, где информационным параметром является модулирующая функция колебаний, которую называют огибающей. Поэтому важным для анализа является получение дифференциальных уравнений, описывающих огибающую колебаний кольца по осям возбуждения и измерения. Такие уравнения получены в работе [3]. Они имеют вид:

$$\begin{aligned} \ddot{a} &= \left(v^2 - \frac{36}{5} \chi^2 \right) a - 7.2 \xi_1 \dot{a} + 1.6 * \Omega \dot{b} - 7.2 \xi_1 v m - 2 v \dot{m} + 1.6 * \Omega v n + 0.2 f_0; \\ \ddot{b} &= -1.6 * \Omega \dot{a} + \left(v^2 - \frac{36}{5} \chi^2 \right) b - 7.2 \xi_1 \dot{b} - 1.6 * \Omega v m - 7.2 \xi_1 v n - 2 v \dot{n} - 0.2 f_k; \\ \ddot{m} &= 7.2 \xi_1 v a + 2 v a - 1.6 * \Omega v b + \left(v^2 - \frac{36}{5} \chi^2 \right) m - 7.2 \xi_1 \dot{m} + 1.6 * \Omega \dot{n}; \\ \ddot{n} &= 1.6 * \Omega v a + 7.2 \xi_1 v b + 2 v \dot{b} - 1.6 * \Omega \dot{m} + \left(v^2 - \frac{36}{5} \chi^2 \right) n - 7.2 \xi_1 \dot{n}. \end{aligned} \quad (2)$$

где b и n – огибающие синфазной к возмущающей функции и квадратурной составляющей колебаний по оси X ; a и m – огибающие синфазной и квадратурной составляющей колебаний по оси X_1 .

Характеристики волновых ММГ, как и ММГ других типов, описываются рядом параметров: диапазон измерения угловой скорости, нелинейности характеристики чувствительности, рабочая полоса частот, шумы выходного сигнала, чувствительность к температуре и механическим воздействиям. Часть этих параметров обеспечивается выбором конструкции датчиков, технологии изготовления и применением прецизионных элементов электроники. Для достижения требуемых значений таких параметров как нелинейность и рабочая полоса частот могут быть использованы только для решения на системном уровне.

Рассмотрим способы улучшения характеристики линейности.

Характеристики линейности устанавливаются в результате анализа установившегося решения уравнений для огибающих (2). При условии возбуждения колебаний кольца на его резонансной частоте будем иметь:

$$\begin{aligned} a &= b = 0; \\ m &= \frac{f_0 36 \xi_1}{v[(36 \xi_1)^2 + (8 \Omega)^2]}; \\ n &= \frac{f_0 8 \Omega}{v[(36 \xi_1)^2 + (8 \Omega)^2]}. \end{aligned} \quad (3)$$

Как видно установившаяся амплитуда колебаний, как по оси возбуждения, так и по измерительной оси, нелинейным образом зависит от измеряемой угловой скорости.

На рис.2 приведены графики зависимости установившихся значений огибающих колебаний по осям X и X_1 от измеряемой угловой скорости, построенные по формулам (3) для кольца с геометрическими параметрами близкими к параметрам резонатора гироскопов Pin Point (фирма Silicon Sensing). На графике $X_1(\Omega)$, который является функцией преобразования гироскопа, дополнительно представлен идеализированный график преобразования, построенный по формуле:

$$\begin{aligned} n_{ycm} &= \frac{dn}{d\Omega} \Big|_{\Omega=0} \quad \Omega = k_n \Omega, \\ \text{где } k_n &= \frac{8 f_0}{v(36 \xi_1)^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

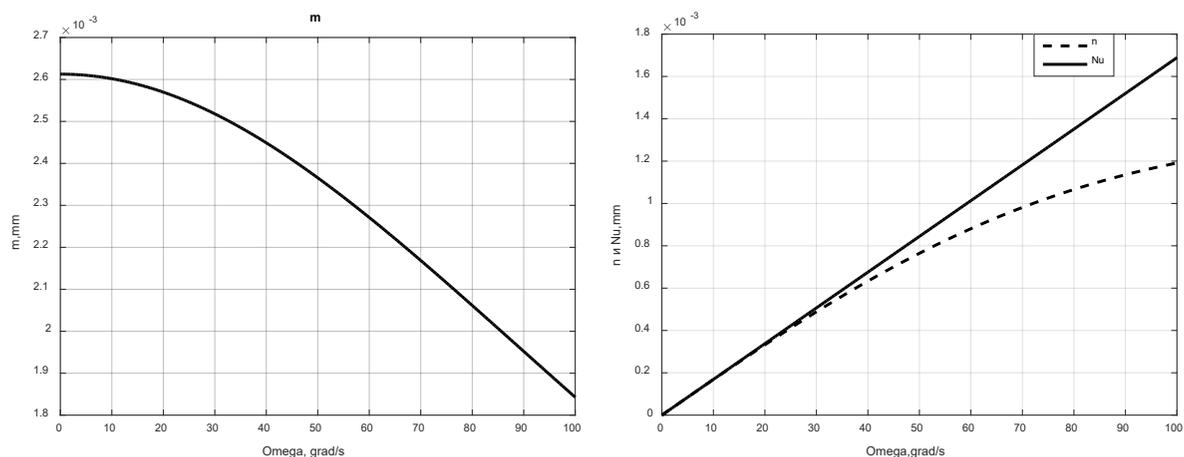


Рис. 2. Графики установившихся амплитуд колебаний по оси возбуждения и измерительной оси при вращении основания

Как видно, гироскоп волнового типа имеет существенно нелинейную характеристику преобразования. Одним из способов улучшения характеристик линейности является нормировка выделенной с помощью операции синхронного детектирования сигнала огибающей в измерительном канале по уровню огибающей в канале возбуждения. Путем деления выражений (3) получаем:

$$n = \frac{n}{m} = \frac{8}{36\xi_1} \Omega = k_{n1} \Omega. \quad (5)$$

Недостаток этого метода заключается в необходимости выполнения условий когерентности процессов $n(t)$ и $m(t)$.

Другой путь улучшения линейности характеристик преобразования предусматривает реализацию режима стабилизации амплитуды возбуждаемых колебаний резонатора по оси X. Полагая, что $m=m_0$ из уравнений (2) находим:

$$n_{уст} = \frac{8m_0}{36\xi_1} \Omega. \quad (6)$$

Хорошие показатели работы получены в системе стабилизации амплитуды, функциональная схема которой представлена на рис. 3 [4].

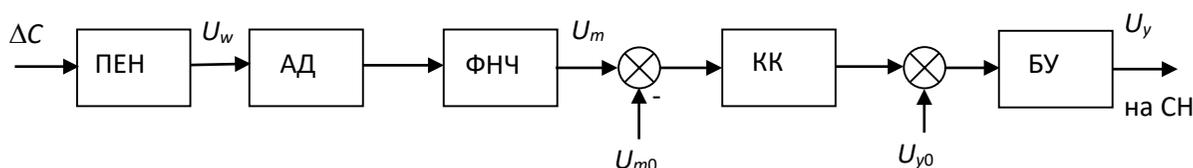


Рис. 3. Функциональная схема регулятора системы стабилизации амплитуды возбуждаемых колебаний

В схеме используется амплитудный детектор АД, фильтр низких частот ФНЧ, корректирующий контур КК и буферный усилитель БУ, выходной сигнал которого подается на управляющий вход стабилизатора напряжения ключевого усилителя системы возбуждения. Выбором структуры корректирующего контура обеспечиваются требуемые статические и динамические характеристики системы.

Для иллюстрации эффективности работы этой схемы на рис. 4 приведены графики развития колебаний в системе возбуждения при отсутствии и наличии системы стабилизации амплитуды, которые получены путем моделирования системы с использованием уравнения динамики (1).

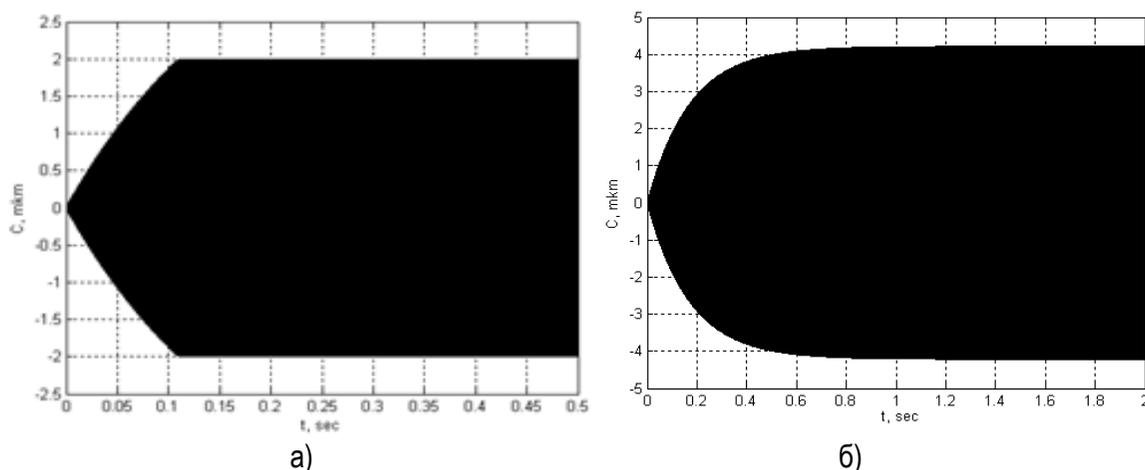


Рис. 4. Графики развития возбуждаемых колебаний: а – при отсутствии системы стабилизации амплитуды; б – при наличии системы стабилизации амплитуды

Недостатком этого метода является снижение чувствительности гироскопа вследствие уменьшения амплитуды возбуждаемых колебаний, а также наличия интервала времени для вхождения колебаний в установившийся режим. Преимуществом этой схемы является отсутствие требований к когерентности выделенных сигналов огибающих колебаний по осям X и X_1 . Важным является и существенное упрощение динамики ММГ, поскольку она будет представлена только вторым уравнением системы (1) при условии:

$$C(e) = A_c * \sin vt. \quad (7)$$

Таким образом оно примет вид:

$$\ddot{S}(t) + 2\zeta v \dot{S}(t) + v^2 S(t) = 1.6 A_c v \Omega(t) \sin vt. \quad (8)$$

Решением этого уравнения при $\Omega(t) = \Omega_0 = const$ будет:

$$S(t) = \frac{0.8 A_c}{\zeta v} (e^{-at} - 1) \Omega_0 \cos vt. \quad (9)$$

Функция

$$A_s(t) = \frac{0.8 A_c}{\zeta v} (e^{-at} - 1) \Omega_0 \quad (10)$$

будет представлять огибающую колебаний по измерительной оси. Применяя к функции (10) преобразование Лапласа находим:

$$W_{A_s}^{\Omega}(p) = \frac{K_{H1}}{(T_u' S + 1)}, \quad (11)$$

где $K_{H1} = \frac{0.8 A_c}{\zeta v}$, а $T_u = \frac{1}{a}$.

Апериодическое звено (11) и соответствующая ему частотная характеристика будут представлять динамические характеристики гироскопа как измерителя угловой скорости вращения прибора в пространстве. При этом по принятым критериям по частотной характеристике определяется рабочая полоса частот датчика. Подсчеты и результаты моделирования показывают,

что для реальных параметров резонатора рабочая полоса частот оказывается очень низкой (меньше 0,15 Гц). Изменением конструктивных параметров добиться расширения рабочей полосы частот не представляется возможным и управление этим параметром осуществляется путем организации обратной связи в измерительном канале по скорости колебаний.

В этом случае уравнение (8) примет вид:

$$\ddot{S}(t) + 2\zeta v \dot{S}(t) + v^2 S(t) = 1,6A_c v \Omega_0 \sin vt - 0,2f_{20} k_{oc} \dot{S}(t). \quad (13)$$

Тогда для огибающей колебаний будет описываться функцией:

$$A_s = \frac{0,8A_c}{\zeta_1 v} (e^{-\zeta_1 t} - 1) \Omega, \text{ где } \zeta_1 = \zeta + \frac{0,2f_{20} k_{oc}}{2v}. \quad (14)$$

Теперь передаточная функция ММГ представлена в виде:

$$W_{A_s}^{\Omega}(S) = -\frac{k_{H_1}}{(T_u' S + 1)}, \quad (15)$$

где $T_{u1} = \frac{1}{\zeta_1 v}$, а $k_{H_1} = \frac{0,8A_c}{\zeta_1 v}$. Отсюда следует, что выбором K_{oc} можно обеспечить необходимое значение рабочей полосы частот.

Библиографический список

1. Информационные характеристики микромеханических гироскопов на основе кремниевой технологии микроэлектромеханических систем / Л. А. Северов, В. К. Пономарев, А. И. Панферов, Н. А. Овчинникова // Известия вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 8. С. 12–22.
2. Меркурьев И. В., Подалков В. В. Динамика микромеханических и волновых твердотельных гироскопов. М.: Физматлит, 2009. 225 с.
3. Модель динамики микромеханических гироскопов на основе кольцевого резонатора в упругом подвесе / Л. А. Северов, В. К. Пономарев, А. И. Панферов, Н. А. Овчинникова // Известия вузов. Приборостроение. 2014. № 10. С. 42–46.
4. Структура и характеристики волнового микромеханического датчика угловой скорости с кольцевым резонатором / Л. А. Северов, В. К. Пономарев, А. И. Панферов, Н. А. Овчинникова // Гироскопия и навигация. 2014. № 3 (86). С. 59–71.

Аэрокосмические компьютерные и программные системы

УДК 004.58

С. С. Абашкина

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Е. А. Карпова

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

М. М. Сизова

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Б. Н. Седов – инженер – научный руководитель**МАРКЕРНАЯ AR-НАВИГАЦИЯ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ****Введение**

Вопрос навигации внутри помещений (НВП): кампусов университетов, больничных комплексов, масштабных выставок в павильонах, офисных пространств – остается актуальной проблемой по сей день.

Ключевой особенностью систем НВП является необходимость определения с высоким уровнем точности местоположения пользователя в помещении. Как минимум, система должна уметь безошибочно определять этаж. Исследования показывают, что минимальная точность человеческого восприятия составляет не более 10 % от минимального расстояния между пунктами назначения [1]. Поэтому, если минимальное расстояние между воротами в аэропорту составляет 40 метров, требуемая точность для навигации внутри помещений составляет $40 \cdot 0,1 = 4$ метра. В офисном здании, где двери находятся на расстоянии 5 метров, требуемая точность – полметра.

Другая особенность, делающая систему НВП более ценной – возможность предоставления ее максимальному количеству пользователей. Это достигается путем использования широко распространенных аппаратных средств – мобильных устройств. Система НВП способная функционировать на большинстве популярных мобильных устройств может использовать все доступные датчики мобильного устройства для достижения требуемой точности и обеспечения низких затрат на развертывание на конкретном здании.

Третья особенность – когнитивное восприятие. Многие системы НВП используют карту здания, отображающуюся в приложении смартфона. Пользователю необходимо обнаружить себя и сориентироваться в виртуальном объекте, а затем соотнести это представление с окружающим пространством здания. Использование дополненной реальности (AR – Augmented Reality) позволяет убрать когнитивную нагрузку в виде виртуальной карты, так как объекты AR накладываются на видеопоток, получаемый с камеры устройства, в реальном времени.

Дополненная реальность представляет собой процесс развертывания интерактивных цифровых элементов над окружающими объектами физического мира.

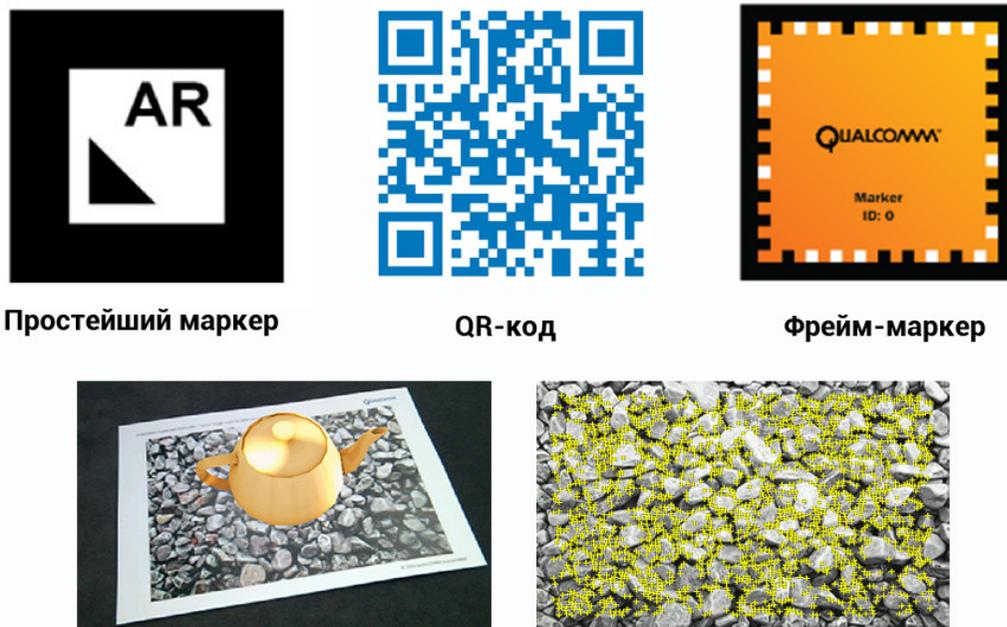
Существует несколько категорий технологий AR. Они классифицируются по способу привязки виртуальных объектов к объектам реального мира. Наиболее распространенными являются:

- 1) маркерная дополненная реальность;
- 2) дополненная реальность без маркеров.

Маркерная AR

Маркерная дополненная реальность – технология на базе специальных маркеров (меток). Маркеры – это визуальные подсказки, которые запускают отображение виртуальной информации. Они легко распознаются камерой и дают более точную привязку к месту.

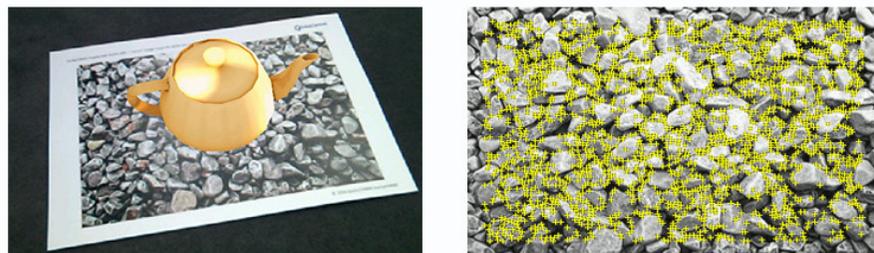
В теории, маркером может быть любая фигура или объект, однако на практике существует ограничения, накладываемые разрешением камеры, особенностями цветопередачи, освещением и вычислительной мощностью оборудования [2, 3]. На рис. 1 представлены некоторые типы маркеров.



Простейший маркер

QR-код

Фрейм-маркер



Особенности изображения

Рис. 1. Типы маркеров

Безмаркерная AR

Дополненная реальность без маркеров использует информацию с камер и акселерометра устройства для отслеживания местоположения пользователя и отображения объектов AR в соответствии с определенным ранее положением, рис. 2.

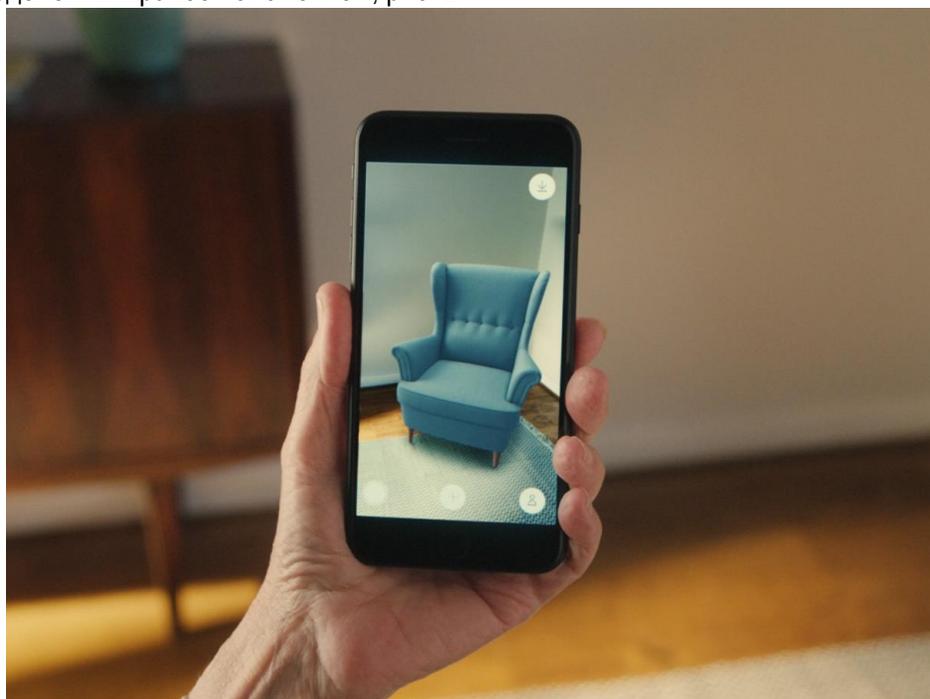


Рис. 2. Пример дополненной реальности без маркеров

Особенностью данной технологии является отсутствие каких-либо специальных визуальных идентификаторов (маркеров). В ее основе лежат особые алгоритмы распознавания, с помощью которых на окружающий ландшафт, снятый камерой, накладывается виртуальная «сетка». На этой сетке

программные алгоритмы находят некие опорные точки, по которым определяют точное место, к которому будет «привязана» виртуальная модель [4].

Сравнение технологий AR

Характерные особенности двух категорий технологий дополненной реальности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Особенности технологий маркерной и безмаркерной AR

Маркерная дополненная реальность	Дополненная реальность без маркеров
Наличие специальных визуальных идентификаторов	Отсутствие специальных визуальных идентификаторов
Местоположение виртуального объекта привязано к маркеру	Для определения местоположения виртуального объекта используются внешние данные
Для отображения элемента AR используется визуальный идентификатор	Для отображения AR элемента используется виртуальная сетка

Каждая из технологий обладает рядом преимуществ, гарантирующих ее превосходство в определенных сферах. Выбор используемой технологии зависит от сферы применения. Для некоторых целей разработчикам достаточно лишь отображать трехмерные объекты дополненной реальности в помещении, что можно реализовать без маркера. Однако чаще всего необходимо точно знать, на что смотрит пользователь. В связи с этим для систем НВП был сделан вывод о целесообразности использования маркерной дополненной реальности.

Описание концепта проекта

Проектируемая система НВП для функционирования использует карту здания, представленную в виде навигационного графа. Концепция системы изображена на рис. 3.

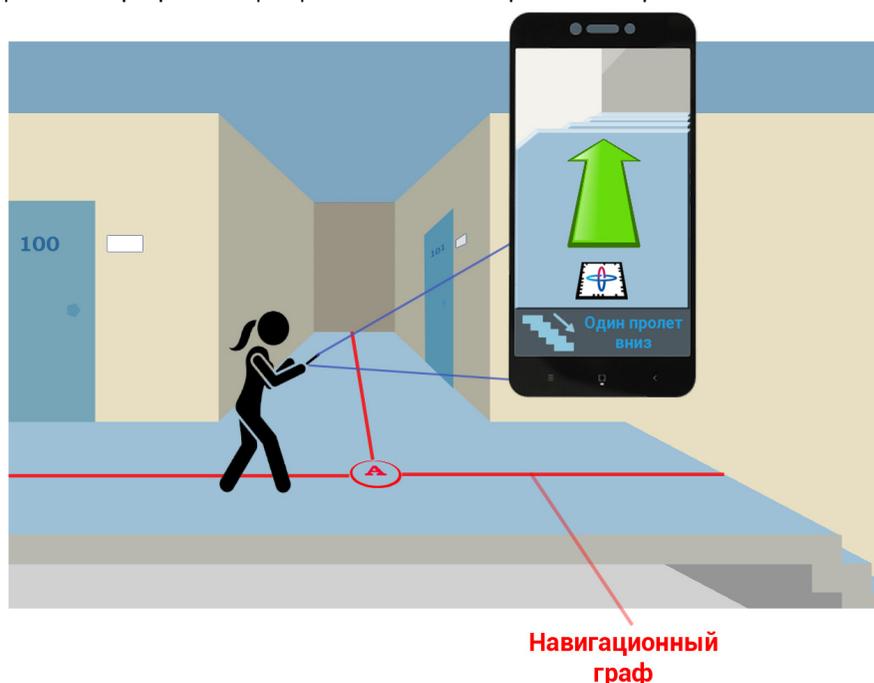


Рис. 3. Концепция системы НВП

В общем случае ребрами навигационного графа (рис. 4) являются коридоры и лестницы, а вершинами – конкретные места в здании, где пользователь должен сменить направление пути следования (повернуть в другой коридор, подняться/спуститься по пролету лестницы) для достижения конечной точки маршрута.

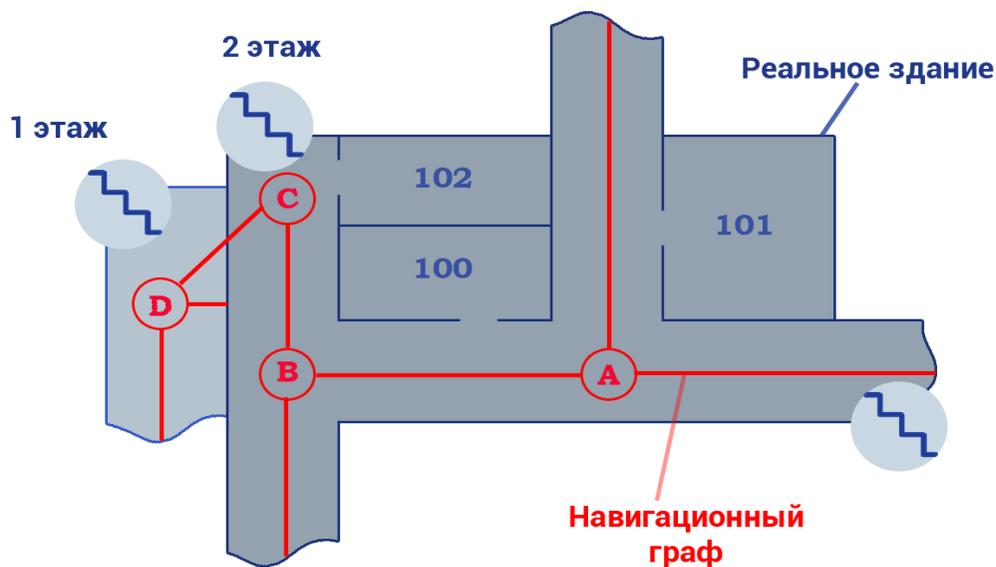


Рис. 4. Схематичное представление навигационного графа

К вершинам навигационного графа привязана информация о местах интереса, которые используются системой в качестве начальных и конечных точек маршрута. Каждой вершине соответствует визуальный маркер, на который реагирует приложение системы НВП и выдает пользователю соответствующую подсказку в виде AR-элемента (стрелки) и соответствующего комментария об изменении направления движения (рис. 5).

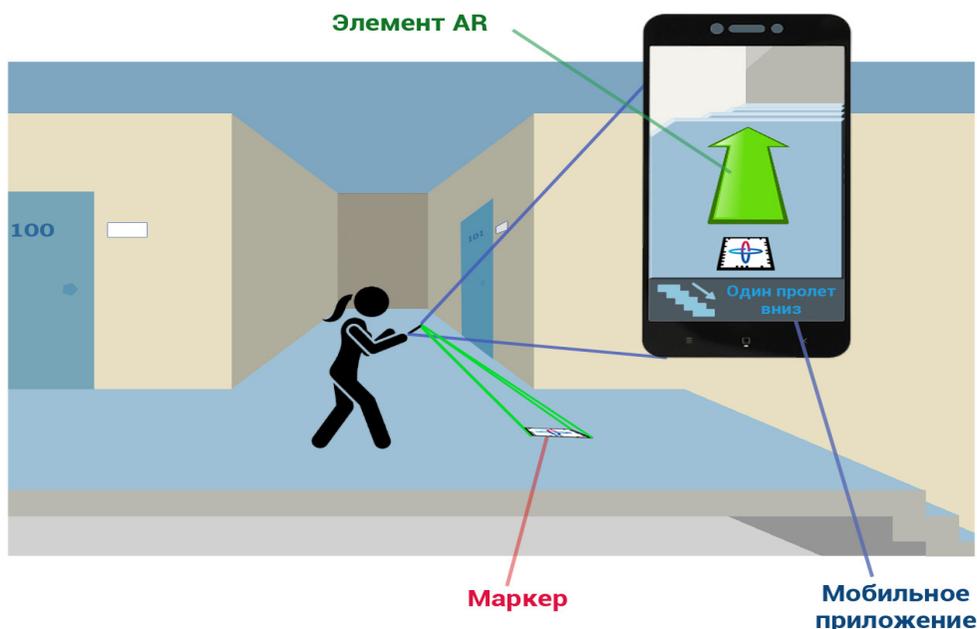


Рис. 5. Концепция системы НВП с AR

Пользователь в привычном положении держит мобильное устройство перед собой во время передвижения из точки А в точку Б по зданию и получает информацию о необходимости изменения

направления следования в виде элемента дополненной реальности – стрелки – которая накладыва-
ется прямо на видеопоток. Стрелка указывает верное направление независимо от смены положения
пользователя вместе с мобильным устройством.

Система постоянно сканирует видеопоток в поисках меток и обновляет элементы дополненной
реальности и подсказки на экране мобильного приложения.

Требования к маркерам

Существует ряд требований к маркерам дополненной реальности, которые необходимо учиты-
вать при разработке системы НВП.

1) Маркеры должны иметь достаточную визуальную сложность. Чем больше деталей на изоб-
ражении, тем легче машинному зрению распознать его.

2) Маркеры должны быть уникальными в рамках одного здания.

3) Маркеры должны быть асимметричными. При наличии симметрии относительно верти-
кальной, горизонтальной и диагональных осей невозможно с уверенностью говорить о корректном
определении ориентации маркера.

Разработчики программного обеспечения для трекинга Vuforia заявляют, что максимальное для
распознавания и корректной работы соотношение дистанции маркера к его размеру должно состав-
лять приблизительно 10 к 1 [5]. Для определения необходимого размера маркера можно использовать
формулу: $s = 10 * c$, где s – расстояние от маркера до устройства, c – сторона маркера, рис. 6.

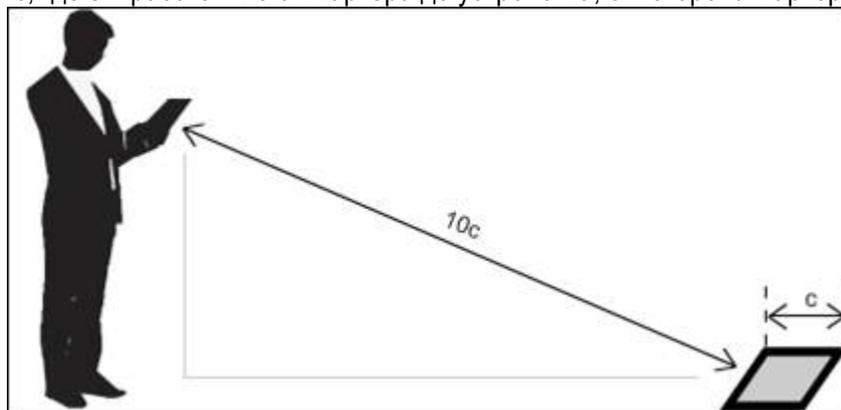


Рис. 6. Соотношение размера маркера и дистанции распознавания

Недостатки маркеров

Использование дополненной реальности для системы НВП предлагает большие перспективы.
Однако следует помнить и о недостатках, которыми обладает маркерная технология дополненной
реальности.

Одно из затруднений связано с технической необходимостью непрерывной сессии. Пользова-
тели должны оставаться в приложении после сканирования исходного маркера и до тех пор, пока не
достигнут конечной точки. В противном случае возникнет необходимость строить маршрут заново,
отсканировав ближайший маркер.

Для корректного функционирования системы НВП с использованием маркерной дополненной
реальности места расположения маркера играет важную роль. Перемещение его на другую позицию
может привести к возникновению путаницы в навигационном графе. Необходимо постоянно следить
за тем, чтобы маркеры оставались на исходных позициях.

И, наконец, важнейший аспект- маркер должен находиться в идеальных условиях для сканиро-
вания. Все визуальные помехи должны быть устранены, либо сведены к минимуму.

Заключение

Использование маркерной дополненной реальности позволит реализовать мобильную систему
НВП, которую можно будет просто и бюджетно развернуть практически в любом здании.

Представленный концепт проекта позволяет решить некоторые технические проблемы, возникающие при использовании маркеров, путем применения датчиков смартфона для дополнительного контроля местоположения пользователя.

Библиографический список

1. Andrew Makarov. HOW AUGMENTED REALITY-BASED INDOOR NAVIGATION WORKS // Augmented Reality Solution Architect at MobiDev. URL: <https://mobidev.biz/blog/augmented-reality-indoor-navigation-app-development-arkit> (дата обращения: 10.04.2020).
2. Распознавание маркера дополненной реальности. URL: <https://habr.com/ru/post/135659/> (дата обращения: 08.04.2020).
3. SanniSiltanen. Theory and applications of marker-based augmented reality // VTT SCIENCE. 2012. № 3. 250 p.
4. Eligo Vision представляет новую безмаркерную технологию дополненной реальности. EligoVision. 2011. URL: <https://www.publishernews.ru/PressRelease/PressReleaseShow.asp?id=115190> (дата обращения: 04.04.2020).
5. How should I define the sizes of my targets // Qualcomm Vuforia Developer Portal. URL: <https://developer.vuforia.com/forum/creating-ar-trackables/how-should-i-define-size-and-distance-my-targets> (дата обращения: 10.04.2020).

УДК 004.021

К. И. Алексеева

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. А. Карандашев

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Л. Оленев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТОВ ПРИ АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ПО ТАБЛИЦАМ МАРШРУТИЗАЦИИ И ДАННЫМ ОБ ИСТОЧНИКЕ И ПРИЕМНИКЕ

На сегодняшний день одной из самых распространенных технологий, используемых для передачи данных в бортовых сетях космических аппаратов, является технология Space Wire [1]. Задача построения маршрута является одной из важных задач при проектировании бортовой сети Space Wire, поскольку необходимо качественно, быстро и без потери информации передавать данные в разных топологиях сети [2].

Входные, выходные и промежуточные данные метода

Рассмотрим необходимые данные для работы метода. Ниже представлен пример таблицы маршрутизации коммутатора [3] S1 из примера на рис. 1.

Таблица 1

Таблица маршрутизации коммутатора S1

Выходной порт	LA (логический адрес приложения приемника)
3	33
4	33

Для корректного заполнения таблиц маршрутизации сети необходимо знать данные о связанных портах, каналах связи между двумя портами, и логических адресах приложений, а также данные об источниках и приемниках передачи пакета данных.

Входные данные этого метода были определены ранее. Теперь определим выходные данные. Выходными данными являются маршруты, состоящие из вершины (либо терминал, либо коммутатор) и выходного порта, через который можно достичь логического адреса заданного приложения.

По мере выполнения метода будут задействованы промежуточные данные:

1) Флаг наличия тупика. Тупиком будем считать ситуацию, когда приемник считается недостижимым, либо если при построении маршрута нельзя пройти в любой другой коммутатор, так как они уже все посещены или нет каналов, связанных с указанными в таблице маршрутизации портами (т. е. пользователь неправильно заполнил таблицу маршрутизации).

2) Флаг завершения маршрута. Вводится флаг, когда текущая рассматриваемая вершина является приемником передачи данных;

3) Метки маркировки сети. Для каждого рассматриваемого маршрута помечаются каждое пройденное ребро сети. После завершения построения текущего маршрута метки сбрасываются, и при построении очередного маршрута снова начинается маркировка. Важно отметить, что первый шаг после сброса всех меток — повторное «помечивание» текущего маршрута;

Стоит обратить внимание, что необходимо совершить такие проверки как:

- 1) Проверка при добавлении очередного коммутатора в маршрут.
- 2) Проверка на правильность заполнения ТМ (таблицы маршрутизации).
- 3) Проверка при добавлении текущего маршрута в список всех маршрутов.

Метод

Метод делится на две смысловые части: Первая часть создает начальные данные для первых маршрутов каждой пары «источник-первый коммутатор». Вторая часть дописывает маршруты до конца.

Во время работы с портами необходимо проверить есть ли в таблице маршрутизатора текущего коммутатора адаптивность [4]. Если есть, то необходимо проверить маршрут на наличие пустого порта в рассматриваемом коммутаторе. Если такой есть, то запишем найденный порт в маршрут. Иначе копируем текущий маршрут и заменяем значение порта в копии маршрута, потом копию маршрута добавляем в список всех маршрутов, если такого же маршрута там нет.

На рис. 1 изображена блок-схема метода.

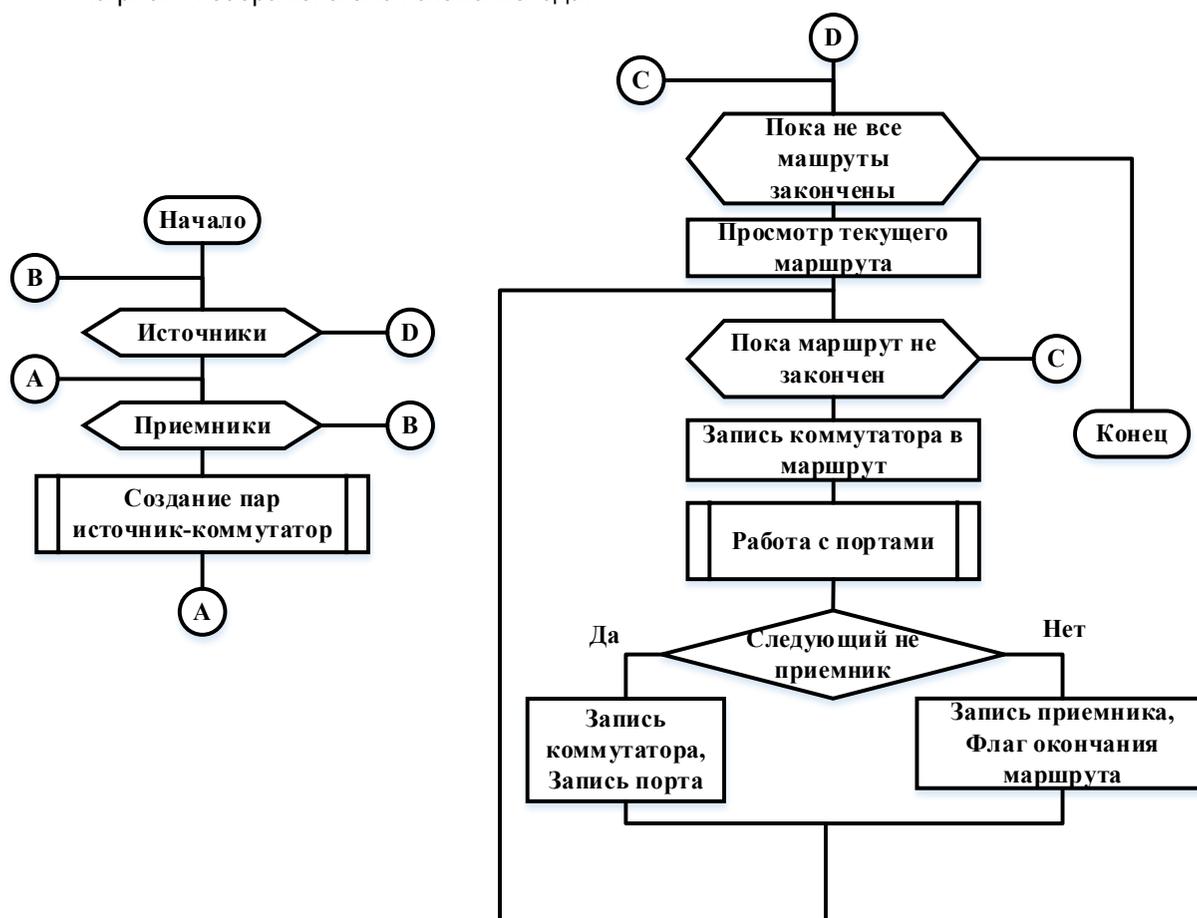


Рис. 1. Блок-схема метода

Пример адаптивной маршрутизации в сети

На рис. 2 представлен пример сети SpaceWire с адаптивной маршрутизацией. Адаптивная маршрутизация подразумевает наличие двух или более выходных портов с одинаковым логическим адресом приложения приемника. Логический адрес назначается не узлу, а приложению в этом узле.

T1 и T2 — это терминальные узлы, которые могут только отправлять и получать данные. Пусть приложение на узле T1 является источником передачи данных и имеет логический адрес 32, а приложение на узле T2 является приемником и имеет логический адрес 33. Узлы S1—S5 в свою очередь являются маршрутизирующими коммутаторами (в дальнейшей работе «коммутаторы»). Также на этом рисунке идентифицированы номера портов.

В соответствии с первой смысловой частью нашего метода, будет создано два маршрута (T1;1)-(S1;0) и (T1;3)-(S2;0). Так как первоначально будут рассмотрены порты T1, которые соединены с коммутаторами S1 и S2.

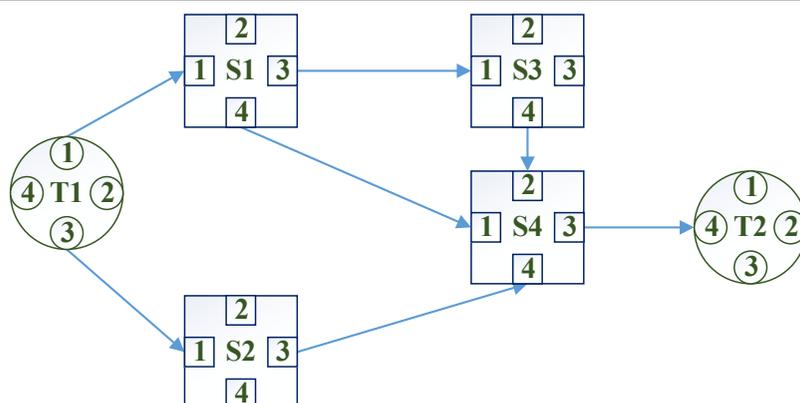


Рис. 2. Пример сети с адаптивной маршрутизацией

Далее начнет выполняться вторая смысловая часть метода, в соответствии с которой будет рассмотрен первый незавершенный и без флага наличия тупика маршрут T1-S1. В таблице маршрутизации коммутатора S1 (представленной в табл. 1), достичь приемник можно через порты 3 и 4. Таким образом, рассматриваемый маршрут (T1;1)-(S1;3) будет скопирован и в копии порт 3 заменится на порт 4 и получим еще один маршрут (T1;1)-(S1;4). Проверим наличие нового маршрута в списке уже существующих, так как там нет такого маршрута, то добавим его. Таким образом, будет уже три маршрута в списке маршрутов. На последующих шагах закончим существующие три маршрута и поднимем флаги либо завершения маршрута, либо наличия тупика. В нашем примере все три маршрута будут завершены:

- 1) (T1;1)-(S1;3) -(S3;4)-(S4;3)-T2
- 2) (T1;1)-(S1;4) -(S4;3) -T2
- 3) (T1;3)-(S2;3) -(S4;3) -T2

Заключение

Таким образом, в данной статье рассмотрены основные принципы метода построения маршрутов при адаптивной маршрутизации. Приведен пример сети с адаптивной маршрутизацией.

В дальнейшей работе планируется уточнить и доработать существующий метод построения маршрутов. Усовершенствовать проверку на наличие тупиков.

Библиографический список

1. Шейкин Ю., Солохина Т., Петричкович Я. Технология Space Wire для параллельных систем и бортовых распределенных комплексов // Электроника: наука, технология, бизнес, 2006. № 5. С. 64–75.
2. Таненбаум Э. Т18 Компьютерные сети. 4-е изд. СПб.: Питер, 2003. 992 с.
3. Одом У. Официальное руководство Cisco по подготовке к сертификационным экзаменам CCENT/CCNA ICND1 640-822. Litres, 2019.
4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. 3-е изд. СПб.: Питер, 2008. 54 с.

УДК 519.252

М. А. Арбузов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. В. Яковлев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В СРЕДЕ ANACONDA

Анализ речевого сигнала становится все более востребованным при дистанционной оценке состояния человека, где цена его ошибки велика. Одной из таких областей является управление транспортными средствами (водители, летчики, диспетчеры).

Речевой сигнал имеет двойственную природу – с одной стороны, это акустический сигнал, представляющий собой процесс распространения энергии акустических колебаний в упругой среде, с другой стороны, речь – это продукт высшей нервной деятельности.

Известно большое число библиотек и программного обеспечения для анализа акустических сигналов. В связи с чем, актуальным является проведение анализа алгоритмических и программных средств, которые можно использовать при исследовании характеристик речи и влияния на них состояния утомления человека.

В ходе проводимого исследования мы остановились только на свободном программном обеспечении. Ввиду этого ограничения, определили, что для работы с речевым сигналом в значительной степени подходит платформа Anaconda. Эта платформа представляет собой свободно распространяемый дистрибутив языка программирования Python, включающий набор популярных свободных библиотек, объединенных проблематикой науки о данных. К числу несомненных достоинств выбранной платформы относятся: поддержка языка Python; наличие большого числа поддерживаемых библиотек для обработки акустических данных; кроссплатформенность; обширная поддержка среди пользователей в области Data Science.

В процессе проведения предварительных исследований было выбрано два программных средства, обеспечивающих качественную обработку речевого сигнала применительно к задаче исследования. Это программный продукт open Smile [1], обеспечивающий расчет паралингвистических характеристик речи и библиотека библиотеки au Deer [2, 3], позволяющая “перевести” речевой сигнал в изображение (спектр) с дальнейшей классификацией состояния утомления человека нейронными сетями. Перечисленные программные продукты могут быть запущены в среде Anaconda. Эта же среда предоставляет необходимые ресурсы для анализа получаемых данных. Рассмотрим более детально опыт работы в этой среде.

Краткая характеристика программных продуктов

Библиотека au Deer

Библиотека au Deer – это набор инструментов Python для обучения неконтролируемых функций с глубокими нейронными сетями (DNN). Это более простой в понимании инструмент по сравнению с библиотекой Deer Spectrum. Основной задачей этого проекта является извлечение функций из аудиоданных с помощью глубоко повторяющихся автоэнкодеров. Однако алгоритмы обучения основных функций не ограничиваются аудиоданными. Обучение с помощью au Deer выполняется в несколько отдельных этапов.

1. Извлечение спектрограмм и метаданных набора данных из необработанных аудиофайлов
2. Обучение DNN на извлеченных спектрограммах
3. Генерация объектов с использованием обученного DNN
4. Оценка сгенерированных функций
5. Экспорт сгенерированных функций в CSV / ARFF

Библиотека openSmile

Open SMILE – программное обеспечение с открытым исходным кодом для автоматического извлечения функций из аудиосигналов и для классификации речевых и музыкальных сигналов.

«SMILE» – это аббревиатура «Интерпретация речи и музыки путем извлечения большого пространства» (Speech & Music Interpretation by Large-space Extraction). Инструмент извлечения объектов open

SMILE позволяет извлекать большие пространства звуковых объектов в режиме реального времени. Он сочетает в себе функции музыкального поиска информации и обработки речи. Написанные на C++ компоненты извлечения функций могут быть свободно связаны между собой для создания новых и пользовательских функций, все через простой файл конфигурации. Новые компоненты могут быть добавлены в open SMILE через простой интерфейс двоичного плагина и всесторонний API.

Программное обеспечение в основном применяется в области автоматического распознавания эмоций и широко используется в сообществе исследователей аффективных вычислений. Проект open SMILE существует с 2008 года и поддерживается немецкой компанией aud EERING GmbH с 2013 года. Open SMILE предоставляется бесплатно для исследовательских целей и для личного использования по лицензии open source. Для коммерческого использования инструмента компания aud EERING предлагает индивидуальные варианты лицензий.

Проблема наличия наборов экспериментальных данных для проведения исследований по анализу речевого сигнала

Для экспериментального исследования применимости вышеперечисленных программных продуктов для решения задачи исследования влияния утомления на изменение характеристик речи человека возникла необходимость определения набора исходных данных для проведения такого исследования. Эти исходные данные должны были представлять собой совокупность записанных аудиофайлов с речью с одновременной оценкой уровня утомления диктора.

Известно три основных подхода к получению таких наборов исходных данных:

1. использование уже созданных другими наборами данных (англ. dataset);
2. проведение экспериментальных исследований и формирование собственных наборов экспериментальных данных (далее – НЭД);
3. формирование собственного НЭД из данных, размещенных в открытых источниках, таких как Интернет.

Рассмотрим каждый из подходов.

Готовые наборы данных в открытом доступе

Нами был проведен достаточно тщательный поиск, в процессе которого выяснилось, что в открытом доступе таких наборов данных не оказалось. Наиболее близким к требуемым набором данных был набор данных «5-Gamer trial data» [4] размещенный на ресурсе Kaggle.com. Он содержит данные регистрации 5 испытуемых, каждый из которых 22 часа подряд играл в специально разработанную для этого эксперимента компьютерную игру. Для каждого участника регистрировались временной ряд фотоплетизмограммы (красного света 660 нм, пропускаемый через мочку уха участника) с частотой дискретизации около 100 Гц. Кроме того, каждый участник вел специальный дневник регистрации своего субъективного состояния. Однако этот набор данных не содержал речевых данных, поэтому не подходил для проводимого исследования.

Формирование наборов данных в ходе собственного исследования

Исследования, представленные в [4–6] показали, что для формирования собственного набора данных необходимо провести эксперимент в соответствии с классическим дизайном. Кроме того, в качестве обеспечения эксперимента необходимо разработать программное средство, обеспечивающее: а) управляемую стандартизированную «загрузку» испытуемого деятельностью, близкой к его повседневной профессиональной деятельности и б) одновременную регистрацию его уровня утомления.

В качестве эксперимента нами была разработана своя версия известной методики для оценки уровня утомления и работоспособности человека – методики простой зрительно-моторной реакции (далее – ПЗМР). Реализация была выполнена на языке C++ в среде Visual Studio. Временные затраты на реализацию составили 2 месяца работы.

Опыт использования разработанной версии методики ПЗМР показал, что формирование набора данных с использованием этой и иных аналогичных наборов программных средств значителен. Также актуальной является проблема поиска достаточного числа добровольцев, готовых до выраженной степени утомления, аналогично представленной в работе [4], проходить исследование. Для случая использования программных средств, представленных в разделе 1 настоящей работы, число испытуемых по нашим оценкам должно быть не менее 30 человек.

В этой связи представляется целесообразным использовать альтернативный путь формирования НЭД, а именно использовать данные из открытых источников.

Формирование собственного набора экспериментальных данных из данных, размещенных в открытых источниках

На рис. 1 представлена иллюстрация подхода, который обеспечивает формирование качественного НЭД.

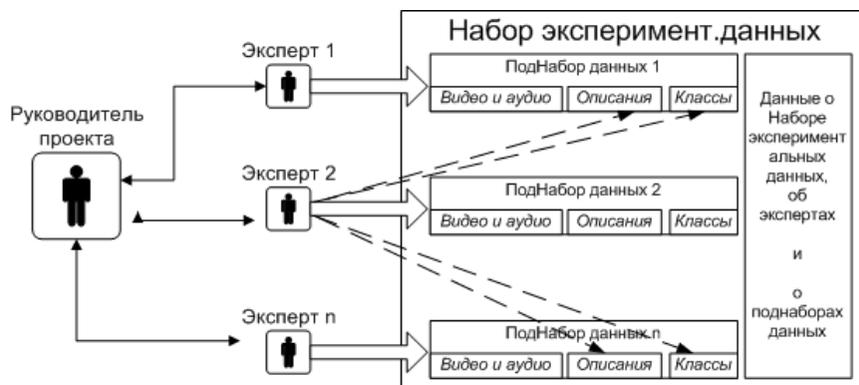


Рис. 1. Организация формирования НЭД

Основная роль в таком подходе отводится экспертам – специалистам, обладающим подтвержденными знаниями в области физиологии труда. Предполагается также, что эксперт имеет знания в области информационных технологий, однако для выполнения отдельных манипуляций с данными и для их систематизации ему необходима поддержка. В настоящем исследовании, на основании «ручного» выполнения большинства операций, была детально проработана логика действий эксперта по заполнению «своего» поднабора данных. Более того, с использованием средства быстрого прототипирования интерфейсов Qt Designer и ряда библиотек Python был разработан прототип программного средства, позволяющего значительно ускорить работу эксперта.

Заключение

Таким образом, на основе проведенного анализа научной литературы была решена задача выбора набора программных средств для анализа речевого сигнала. Кроме этого в процессе исследования был разработан прототип программного средства для формирования собственного набора экспериментальных данных из открытых источников.

Библиографический список

1. OpenSMILE // audEERING. URL: <https://www.audeering.com/opensmile/> (дата обращения: 27.04.2020).
2. Amiriparian S. et al. Sequence to Sequence Autoencoders for Unsupervised Representation Learning from Audio // Proceedings of the Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events 2017 Workshop. 2017. P. 17–21.
3. Freitag M. et al. auDeep: Unsupervised Learning of Representations from Audio with Deep Recurrent Neural Networks // J. Mach. Learn. Res. 2017. Vol. 18. P. 5.
4. PPG Heart Beat for Cognitive Fatigue Prediction // Kaggle [Electronic resource]. URL: <https://www.kaggle.com/canaria/5-gamers> (дата обращения: 27.04.2020).
5. Яковлев А. В., Найденова К. А. Концепция использования технологии больших данных в современной медицине // Известия Российской военно-мед. акад. 2018. Т. 37, № 1. С. 17–23.
6. Матыцин В. О., Яковлев А. В. Обобщенный дизайн исследования аудиовизуальных и психофизиологических паттернов, характеризующих голосовое утомление операторов // Материалы науч.-практ. конф., посвященной 60-летию кафедры авиационной и космической медицины Военно-мед. акад. им. С.М. Кирова / под ред. Б. Н. Котива. СПб.: Военно-мед. акад. им. С. М. Кирова, 2018. С. 191–195.

УДК 004.057.4

М. А. Богоявленский

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Е. Степанов

инженер

В. Л. Оленев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОТОКОЛА СТП-ИСС ДЛЯ БОРТОВЫХ СЕТЕЙ SPACE WIRE

Стандарт Space Wire является перспективной технологией для построения бортовых сетей космических аппаратов, который одновременно сочетает в себе простоту и низкую цену реализации, а также высокую производительность и гибкую архитектуру. Предоставляет высокие скорости передачи (до 400 Мбит/с) и позволяет строить распределительные сетевые структуры [1].

Применение Space Wire в сочетании с транспортными протоколами дает возможность удовлетворять требованиям авионики, а также значительно повысить надежность передачи данных на борту космических аппаратов.

Протокол СТП-ИСС

Протокол СТП-ИСС выполняет функции транспортного уровня, функционирующего поверх стека протоколов Space Wire (стандарт ECSS-E-ST-50-12C [2] и проект стандарта Space Wire-RUS [3]), и определяет транспортное взаимодействие узлов в сети, регламентирует форматы передаваемых данных и правила передачи сообщений между абонентами бортовой сети Space Wire. Протокол СТП-ИСС обеспечивает транспортировку данных между удаленными узлами сети с предоставлением требуемого качества сервиса в соответствии с приоритетами потоков данных. Данный протокол предоставляет возможность повторной передачи данных и обнаружения ошибок в принимаемых данных, таким образом, обеспечивая надежность доставки данных.

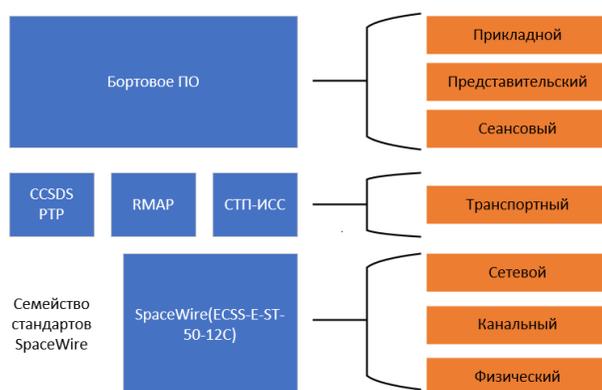


Рис. 1. Соотнесение протокола СТП-ИСС с моделью OSI

Одна из основных задач транспортного протокола СТП-ИСС – это обеспечение транспортировки сообщений на удаленные узлы сети. Сообщения на транспортном уровне должны быть помещены в пакеты Space Wire и переданы на удаленный узел.

Особенности транспортного соединения протокола СТП-ИСС

- Передача данных с установкой соединения позволяет передавать данные больших объемов с минимальными расходами.
- Транспортные соединения являются однонаправленными. Для установки двунаправленного транспортного соединения используются два соединения, направленные в противоположные стороны.

– Максимальное количество соединений для узла в одном направлении не может превышать 8. При использовании два соединения, можно передавать данные по 16 транспортным соединениям одновременно.

– Протокол СТП-ИСС, реализующий режим транспортных соединений, должен содержать «менеджер транспортных соединений» – управляющий блок, который следит за активными и неактивными ТС(Транспортное соединение), ведет их учет, а также выполняет следующие функции при установке нового ТС:

- формирование пакета ЗУС (Запрос установки соединения) при запросе на установку ТСот прикладного уровня, отправка его узлу назначения
- выбор номера ТС для установки при приеме пакета ЗУС на ведомом устройстве.
- Номер транспортного соединения для передатчика и приемника должен совпадать.

Установка транспортного соединения

Установка транспортного соединения выглядит следующим образом:

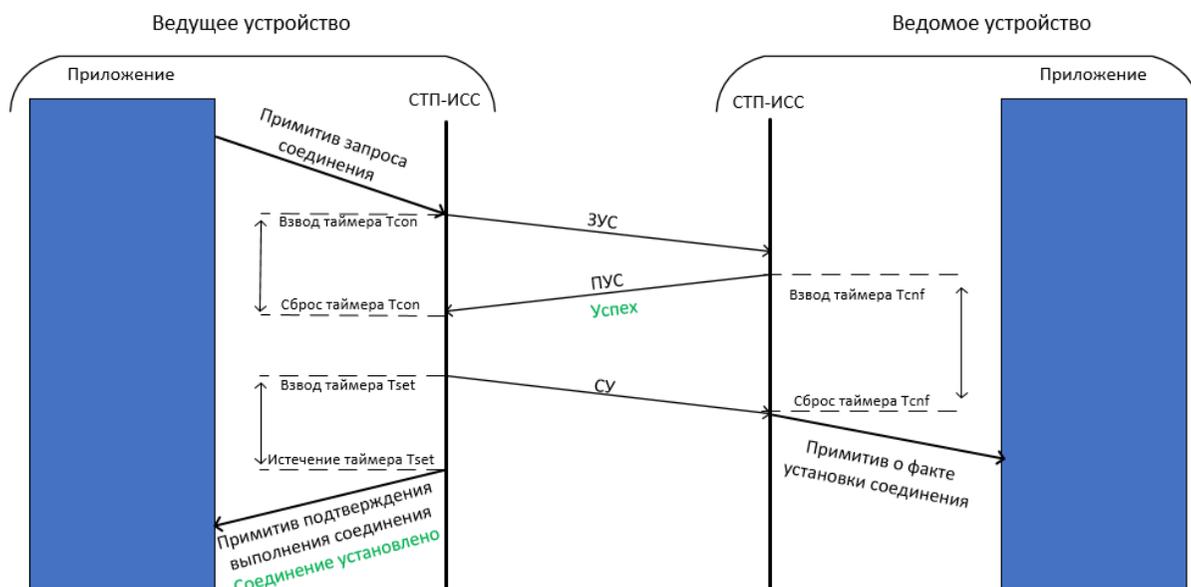


Рис. 2. Диаграмма установки соединения

В случае если ведущее устройство будет передавать данные, то при установке соединения флаг «Направление передачи данных» должен быть установлен как «**ACTIVE**».

В случае если ведущее устройство будет принимать данные, то при установке соединения флаг «Направление передачи данных» должен быть установлен как «**PASSIVE**».

Таблица 1

Действия менеджера транспортных соединений ведущего устройства

Передача данных от ведущего устройства к ведомому устройству	Передача данных от ведомого устройства к ведущему устройству
Если установлена передача данных от ведущего к ведомому, то менеджер транспортных соединений должен сформировать пакет ЗУС.	Если установлена передача данных от ведомого устройства к ведущему, то перед тем, как сформировать пакет ЗУС, менеджер транспортных соединений ведущего устройства, проверяет, что в буфере приемника есть необходимое пространство.

В табл. 1 представлены действия менеджера транспортных соединений ведущего устройства при установке направления передачи данных.

Пакет ЗУС

Пакет ЗУС должен содержать следующие параметры:

- набор свободных транспортных соединений на ведущем устройстве (поле 'Свободные ТС');
- тип передаваемых данных;
- направление передачи данных;
- требование подтверждения приема;
- максимальный размер сообщений;
- количество сообщений, на которое необходимо зарезервировать пространство в буфере;
- длительность таймаута установки соединения.

После отправки пакета ЗУС должен взвестись таймер открытия соединения T_{con} , в течение которого ожидается пакет ПУС (Подтверждение установки соединения) с удаленного узла.

Пакет ПУС

В зависимости от того, может ли быть открыто данное соединение, поле «Статус соединения» пакета ПУС может принимать следующие значения:

«Успех» – соединение может быть установлено.

«Отказ установки соединения» – нельзя установить соединение по одной из следующих причин:

1. В буфере ведомого устройства отсутствует требуемое пространство.
2. В ведомом устройстве нет ни одного свободного транспортного соединения из указанных в поле 'Свободные ТС' в пакете ЗУС.

После отправки пакета ПУС с параметром «Успех» взводится таймер T_{cnf} , в течение которого от ведущего устройства ожидается пакет СУ (Соединение установлено).

При получении ведущим устройством пакета ПУС, должна быть выполнена проверка адреса отправителя пакета ПУС.

В случае если пакет ПУС с параметром «Успех» получен ведущим устройством в состоянии «Открытие соединения» после отправки пакета СУ и до истечения соответствующего таймера T_{set} , должны быть выполнены следующие действия:

1. остановка таймера T_{con} ;
2. отправка ведомому устройству пакета СУ;
3. запуск таймера установки соединения T_{set} .

Менеджер транспортных соединений может выполнять установку только одного соединения в один момент времени. До тех пор, пока менеджер транспортных соединений не завершит процедуру установки текущего соединения (успешно или неуспешно), все поступающие запросы на установку соединения (запрос от приложения, прием пакета ЗУС) должны быть отброшены.

Примечание. Возможно возникновение ситуации, когда удаленные узлы сети одновременно отправляют друг другу пакеты ЗУС. Соответствующие соединения в этом случае установлены не будут, так как каждый из узлов уже начал установку другого соединения.

Данная особенность установки соединения в протоколе СТП-ИСС может усложнять работу и конфигурацию сети, а также вызывать излишние проблемы в практическом использовании.

В дальнейшем предполагается работа по поиску и представлению вариантов решения данной особенности в протоколе СТП-ИСС. Предполагается разработка модели менеджера установки транспортного соединения, а также моделей вариантов решения, на языке SDL [4], которые будут отражать структуру транспортного протокола СТП-ИСС, и формально описывает все его механизмы и функциональности. Моделирование позволит провести верификацию и тестирование внедрения моделей вариантов решения проблемы установки связи при одновременной отправке пакета ЗУС, и проверить, выполняются ли функциональные требования, предъявляемые к протоколу.

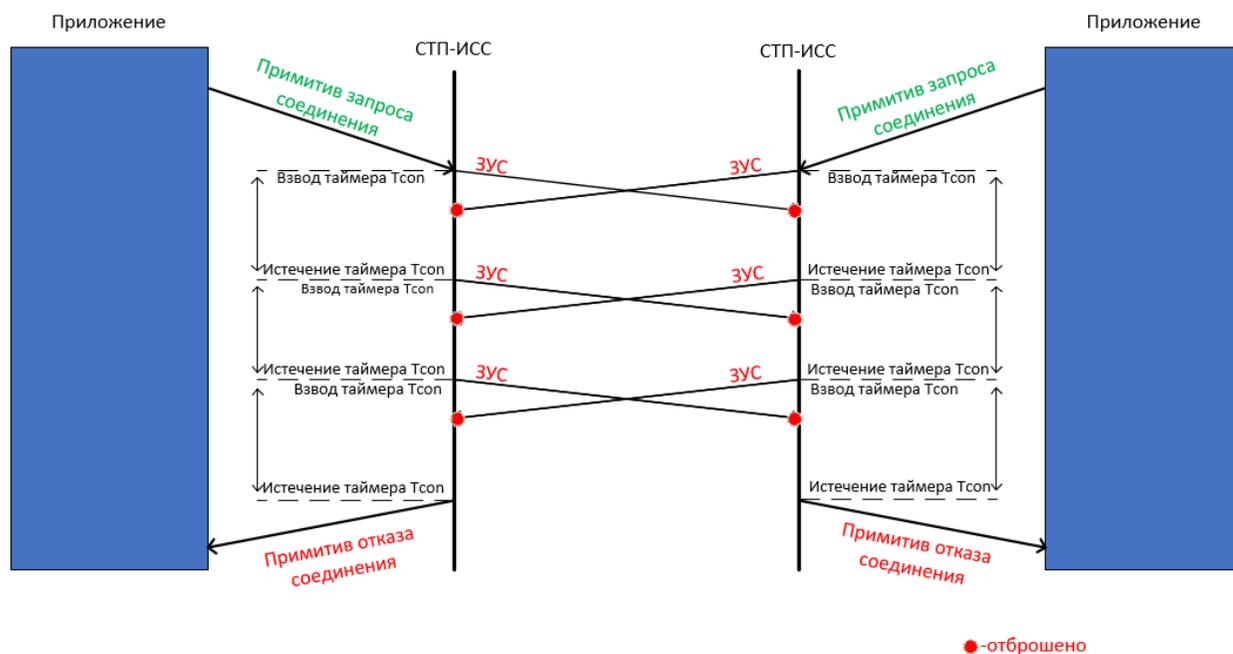


Рис. 3. Отказ установки связи при одновременной отправке пакета «ЗУС»

Библиографический список

1. Шейнин Ю. Е., Оленев В. Л., Лавровская И. Я. и др. Протоколы для бортовых сетей перспективных космических аппаратов на основе технологий SpaceWire и SpaceWire-Plug-And-Play // Решетневские чтения. 2016. № 1. С. 651–652.
2. ECSS. SpaceWire — Links, nodes, routers and networks (ECSS-E-ST-50-12C). July 2008.
3. Проект Российского стандарта SpaceWire-RUS, совместимого с международным стандартом SpaceWire ECSS-E-ST-50-12C: текстовая спецификация. СПб., 2012.
4. International Telecommunication Union. Recommendation Z.100. Specification and Description Language (SDL). Geneva, 2007.

УДК 004.93

А. О. Бульгин

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Р. Луцке – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

АВТОМАТИЧЕСКОЕ СЛЕЖЕНИЕ ЗА ПОЛОЖЕНИЕМ ЛИЦА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ РАКУРСА ОТОБРАЖЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СЦЕНЫ НА ЭКРАНЕ СМАРТФОНА

Введение

При серийном производстве смартфонов одновременно с расширением функциональных возможностей играет важную роль ограничение стоимости устройств в соответствии с требованиями рынка. В связи с этим в смартфонах экономичной рыночной категории не применяются дорогие трехмерные дисплеи, хотя на рынке они существуют. В то же время остается актуальным сохранение у пользователя впечатления, что он может наблюдать на двумерном экране трехмерное отображение сцены.

В настоящей статье исследуется один из возможных вариантов решения этой проблемы, – создание у пользователя впечатления, что экран смартфона является окном в трехмерный мир и изменение позиции наблюдателя относительно экрана позволяет взглянуть через такое «окно» на трехмерную сцену с другого ракурса. Для этого можно с помощью веб-камеры смартфона следить за положением лица наблюдателя относительно экрана и поворачивать отображаемую трехмерную сцену в соответствии с изменяемым ракурсом наблюдения.

Слежение за лицом пользователя выполняется в 2 этапа. На первом этапе введенное с веб-камеры изображение анализируется с целью обнаружения в кадре лица пользователя. На втором этапе выполняется слежение за положением найденного лица.

Алгоритм Виолы-Джонса является одним из лучших по соотношению показателей эффективности распознавания/скорость работы, и предоставляет большие возможности в смартфонах средней ценовой категории. Также этот детектор обладает крайне низкой вероятностью ложного обнаружения лица [1].

Этап слежения необходим, так как алгоритм Виолы-Джонса остается вычислительно затратным для реализации на смартфонах. Поэтому обнаружение лица необходимо выполнять раз в несколько кадров, а в промежуточных кадрах выполнять этап слежения за положением найденного лица.

Алгоритм Виолы-Джонса является основополагающим для поиска объектов на изображении в реальном времени. Данный метод основан на следующих принципах [2]:

- используются изображения в интегральном представлении, что позволяет вычислять быстро необходимые объекты;

- используются признаки Хаара, с помощью которых происходит поиск нужного объекта (в данном контексте, лица и его черт);

- используется бустинг (от англ. boost – улучшение, усиление) для выбора наиболее подходящих признаков для искомого объекта на данной части изображения;

- используются каскады признаков для быстрого отбрасывания окон, где не найдено лицо.

В настоящей статье рассматривается способ слежения за лицом, используя особенности цвета кожи. Так как цвет – свойство низкого уровня, то его обработка вычислительно недорога [1]. Но существуют недостатки: появление цветов чувствительных к изменениям освещенности, тени, взаимные отражения, а также недостатки связанные с особенностями камеры. Для уменьшения зависимости от освещенности используется гистограмма цветов кожи в качестве исходной непараметрической цветовой модели кожи в пространстве цветов HSV. Модель обновляется для каждого кадра, используя пиксели кожи в локализованном изображении лица. Ключевая особенность в данном подходе заключается в подборе обучающих пикселей для адаптации. Гистограмма обновляется только пикселями, принадлежащими локусу кожи, который находится в ограничительной рамке, найденной отслеживающим алгоритмом.

В [3], чтобы определить цвет кожи при различном освещении, цвет кожи был исследован в условиях темной комнаты с использованием четырех смоделированных источников света (горизонт 2300K дневной свет, лампа накаливания 2856K A, 4000 K TL84 флуоресцентный и 6500K D65 дневной свет) с различными цветными камерами. Для каждой камеры была выполнена балансировка белого цвета

с одним из четырех источников света. Каждый источник света по очереди использовался для калибровки камеры, давая в общей сложности 16 условий (4 источника света при 4 калибровках камеры). Пиксели кожи были отобраны из всех изображений и преобразованы в цветовое пространство g, чтобы уменьшить зависимость от яркости освещения ($r = R / (R + G + B)$, $g = G / (R + G + B)$). На рис. 1 показан locus цвета кожи в пространстве r-g для всех 16 состояний кожи лица от веб-камер 1-CCD-Nogatech-USB.

Цвет кожи образует кластер в форме раковины и показывает небольшие различия между разными камерами, которые тестировали. Простое условие принадлежности к locusу кожи – это пара квадратичных функций, определяющих верхнюю и нижнюю границу кластера (рис. 1). Для каждого r максимальное и минимальное значение g использовалось для оценки верхней и нижней квадратичной функции. Используя оценку методом наименьших квадратов, в [3] найдены коэффициенты квадратичной аппроксимации верхней границы $A_u = -1,3767$, $b_u = 1,0743$, $c_u = 0,1452$ [3]. В то время как для нижней границы коэффициенты $A_d = -0,776$, $b_d = 0,5601$, $c_d = 0,1766$ [3].

Обратите внимание, что белая точка ($r = g = 0,33$) находится в пределах модели locusа. Чтобы избежать маркировки беловатых пикселей как принадлежащих цвету кожи, вокруг белой точки рисуется круг с радиусом 0,02, а пиксели, попадающие в круг, относящимися к коже не считаются. Пиксели, удовлетворяющие указанным условиям в пространстве (r, g), затем помечаются как возможно относящиеся к коже человека. Логическая двоичная функция S, представляющая выше описанные ограничения, математически может быть записана следующим образом:

$$S = \begin{cases} 1, \text{если } (g < Q_+)(g > Q_-)(W > 0.004) \\ \text{иначе } 0 \end{cases},$$

где $Q_+ = A_u r^2 + b_u r + c_u$, $Q_- = A_d r^2 + b_d r + c_d$, $W = (r - 0.33)^2 + (g - 0.33)^2$.

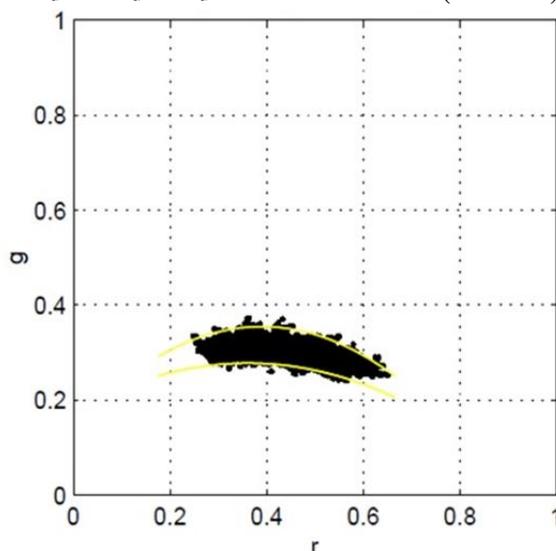


Рис. 1. Лocus цвета кожи в пространстве r-g

Следует подчеркнуть, что в любое время только подмножество точек locusа считается цветом лица. В этой работе locus кожи дополнительно сокращается в соответствии с содержанием ограничительной рамки для лица, найденного алгоритмом Виолы-Джонса и предыдущими этапами процедуры слежения.

При выполнении слежения за положением лица пользователя предполагается, что частота кадров камеры достаточно высока по сравнению с темпом изменения цветности кожи, так что гистограмма цвета кожи из предыдущего кадра еще может адекватно описать цвет кожи в следующем кадре. Система слежения сначала инициализируется путем определения области лица в сцене алгоритмом Виолы-Джонса, затем происходит преобразование RGB пространства в r-g и эти пиксели из

найденного лица, принадлежащие к локусу цвета кожи, используются для получения исходной гистограммы цвета кожи.

Эта гистограмма затем используется для маркировки пикселей кожи в следующем кадре методом, называемым обратной проекцией гистограммы: текущий кадр преобразуется в пространство $g-g$ и для каждого пикселя с координатами $\{x, y\}$, имеющего цвет (g_r, g_b) , берется значение на гистограмме предыдущего кадра. Маркированное таким образом изображение, следовательно, показывает вероятное изображение кожи $SP(x, y)$. Связные компоненты, соответствующие в этом изображении достаточно высокой вероятности, помечаются, и самый большой из них выбирается как соответствующий наиболее вероятному положению лица. Гистограмма цвета кожи обновляется из пикселей в ограничивающем лицо прямоугольнике, который удовлетворяет критериям локуса кожи. Ограничивающий прямоугольник расширяется для определения области поиска, где вероятно будет лицо в следующем кадре. Затем берется на анализ следующий кадр. Строится гистограмма обратной проекции, и отслеживание и процесс адаптации гистограммы повторяется. Отслеживание приостанавливается, если нет найденных кластеров цвета кожи (например, когда изображение теряет цвет). В этом случае старая ограничительная рамка используется до тех пор, пока кластеры не будут найдены снова.

Была написана программа на языке Python для обнаружения лиц на видео с использованием библиотеки компьютерного зрения Intel Open CV. Для уменьшения зависимости от освещенности была использована гистограмма цветов кожи в качестве исходной непараметрической цветовой модели. Изменения ракурса отображения трехмерной сцены (изображения раскрашенного цилиндра) на экране смартфона в зависимости от положения лица пользователя продемонстрировано на рис. 2, 3 и 4.

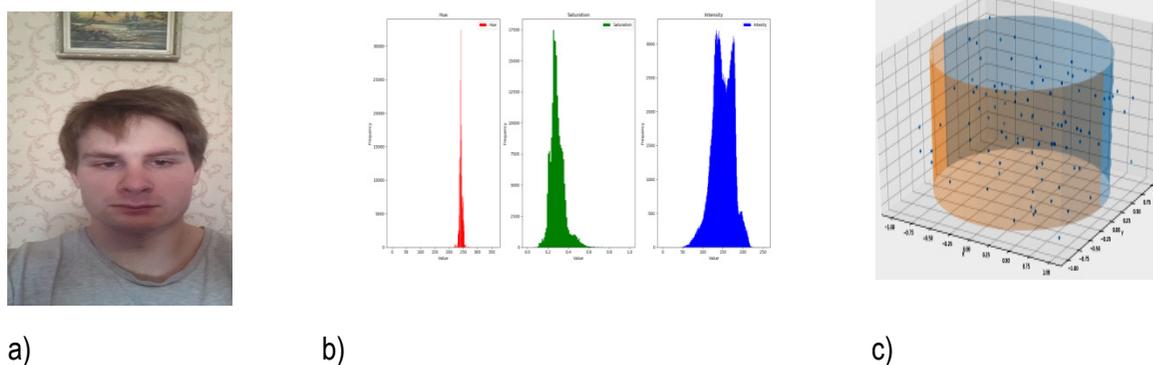


Рис. 2. Результат работы программы при центральном положении лица относительно камеры: (а) положение головы относительно камеры, (б) HSV гистограмма цвета кожи лица, (с) 3-d сцена на дисплее смартфона

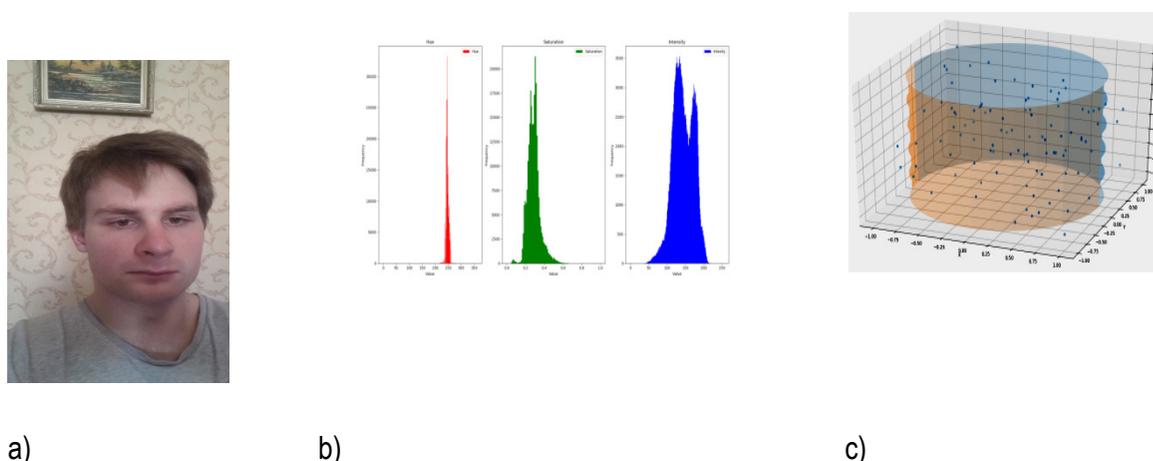


Рис. 3. Результат работы программы при положении лица слева от камеры: (а) положение головы относительно камеры, (б) HSV гистограмма цвета кожи лица, (с) 3-d сцена на дисплее смартфона

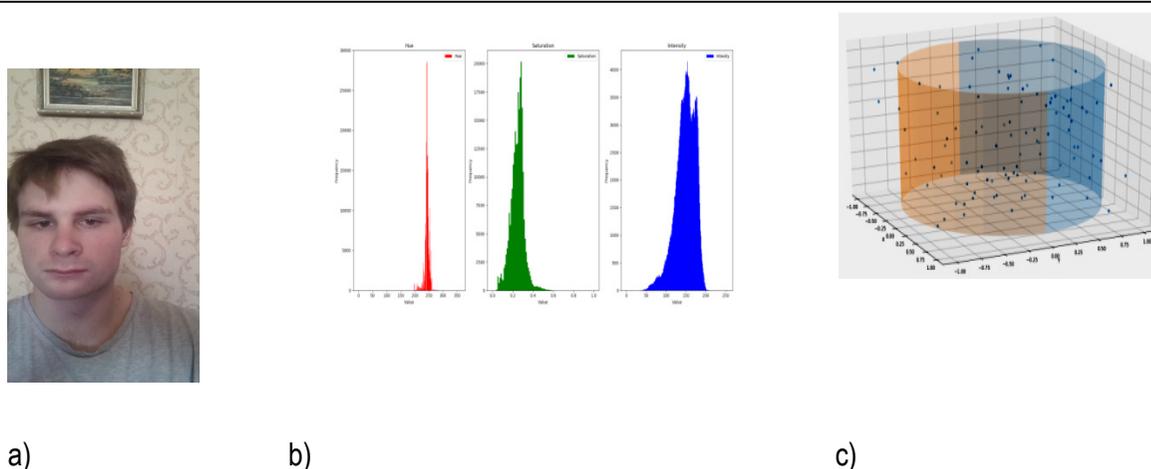


Рис. 4. Результат работы программы при положении лица справа от камеры: (а) положение головы относительно камеры, (б) HSV гистограмма цвета кожи лица, (в) 3-d сцена на дисплее смартфона

Заключение

В данной работе был изучен способ обнаружения лиц на основе алгоритма Виолы-Джонса. Были рассмотрены имеющиеся способы детектирования лиц по цвету кожи, для которых были оценены возможности реализации алгоритма псевдо трехмерного отображения видеоданных. В результате, на основе метода Виолы-Джонса и анализа цветовой информации было разработано консольное приложение для слежения за лицом в кадре и модификации отображаемой трехмерной сцены в связи с ракурсом ее наблюдения пользователем.

Библиографический список

1. Метод Виолы-Джонса (Viola-Jones) как основа для распознавания лиц. URL: <https://habr.com/ru/post/133826/> (дата обращения: 03.04.2020).
2. Viola P., Jones M. J. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features // Proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001). 2001. Vol. 1. P. 511 – 518. URL: <https://www.cs.cmu.edu/~efros/courses/LBMV07/Papers/viola-cvpr-01.pdf> (дата обращения: 03.04.2020).
3. Soriano M., Martinkauppi B., Huovinen S., Laaksonen M. Using the skin locus to cope with changing illumination conditions in color-based face tracking. URL: http://www.ee.oulu.fi/research/mvmp/mvg/files/pdf/pdf_132.pdf (дата обращения: 03.04.2020).

УДК 004.021

В. В. Калинина

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Е. Н. Яблоков – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА**

Задача коммивояжера заключается в поиске самого выгодного маршрута, который должен пройти все указанные города хотя бы один раз и вернуться в исходный город.

Маршрут, который проходит город один раз осуществляется гамильтоновым циклом. Также существует геометрическая задача коммивояжера (планарная или евклидовая), метрическая задача коммивояжера, симметричная, асимметричная задачи коммивояжера, обобщенная задача коммивояжера. Решение задачи сводится к поиску пути в графе. Каждая вершина графа – это город, а ребра (i, j) – это путь между городами. Критерий выгодности каждого ребра $(c_{ij} \geq 0)$ – это расстояние между городами, время или стоимость. Граф задачи является полносвязным графом. Таким образом, решение задачи коммивояжера заключается в нахождение гамильтонова цикла минимального веса в полном взвешенном графе [1]. Задачи коммивояжера можно решить несколькими вариантами.

Алгоритм полного перебора

Это такой алгоритм решения задачи, который зависит от перебора всех возможных вариантов. При переборе всех путей графа из n вершин потребуется анализ $(n-1)!$ вариантов. Если число велико, то применяются другие алгоритмы. [2]

Жадный алгоритм

Жадный алгоритм – это алгоритм нахождения кратчайшего расстояния путем выбора самого короткого, еще не выбранного ребра, при условии, что оно не образует цикла с уже выбранными ребрами. При решении задачи коммивояжера жадный алгоритм превратится в стратегию «иди в ближайший». [3]

Деревянный алгоритм (или метод минимального остовного дерева)

Минимальное остовное дерево (МОД) – это такое дерево у которого минимальна сумма весов ребер. Для того чтоб найти решение задачи, нужно найти МОД полного графа. Для этого нам нужно знать вес каждого ребра. [4]

Алгоритм для решения задачи коммивояжера:

1. Строится на входной сети кратчайшее остовное дерево и удваиваются все его ребра.
2. Строится эйлеров цикл, начиная с вершины 1.
3. Нахождение тура

Чтобы построить остовное дерево, используется алгоритм Прима.

Дерево сначала строится из одной произвольной вершины и не содержит ребро $T = (V_T, E_T)$. Алгоритм имеет $n - 1$ итераций. На каждом шаге (итерации) ищется ребро мин веса, которое связывает вершину $i \in V_T$ с вершиной $j \notin V_T$ и рассчитывается по формуле $(i, j) = \arg \min_{(p,q); p \in V_T, q \notin V_T} c_{pq}$, добав-

ляется в дерево: $V_T = V_T \cup \{j\}$, $E_T = E_T \cup \{i, j\}$. Когда $V_T = n$, алгоритм останавливается, мод – построено. [4]

Дерево начинается с произвольной вершины и растет пока не охватит все вершины. На каждом шаге добавляется такое ребро, которое соединяет вершину из оставшейся части графа с деревом. В результате получаем граф — связный с вершинами, имеющими только четные степени. Эйлеров цикл задается перечнем вершин, просматриваем его, начиная с 1, и зачеркиваем каждую вершину, которая повторяет уже встреченную в последовательности. Чтобы найти тур, необходимо сложить суммы всех ребер => получившаяся сумма и является результатом алгоритма.

Алгоритм эффективен тем, что каждой вершине $j \notin VT$ присписывается метка (α_j, β_j) . α_j – номер ближайший к j вершине из VT , β_j – вес ребра (α_j, j) . Отсюда следует, трудоемкость вершины $O(1)$. $O(n)$ – трудоемкость каждой итерации. И $O(n^2)$ – это общая трудоемкость алгоритма.

Алгоритм Дейкстры

Алгоритм Дейкстры – это такой алгоритм на графах, который находит кратчайшие пути от одной из вершин графа до всех остальных вершин. Одним из вариантов решения ЗК является вариант нахождения кратчайшей цепи, которая содержит все города. Затем полученная цепь дополняется начальным городом – получается искомый тур [3,4].

S – начальная вершина (источник). На каждом шаге к дереву T с корнем в S добавляет ближайшую к S вершину $\notin T$. $N_j = \{i \in V \mid (i, j) \in A\}$ – множество вершин из которых в графе G есть дуги в вершину j . $T = (S, \emptyset)$ – начальное дерево.

У каждой вершины есть метка $i \in V$ – метка d_i , соответствующая длине пути из S в i . d_S – метка источника, в процессе работы алгоритма не меняется. $d_i = +\infty$ – метка для всех вершин $i \neq S$. На каждом шаге ищется дуга и добавляется в T , при этом обновляется метка вершины j : $d_j = d_i + d_{ij} \Rightarrow$ обновляется метка каждой вершины $d_k = \min \{d_k, d_j + d_{jk}\}$, $k \notin T$. Если все вершины включены в дерево T , то алгоритм завершает свою работу [2, 9].

Алгоритм муравьиной колонии

Данный алгоритм был предложен Марко Дориго [5,6]. Идея алгоритма заключается в поиске оптимального маршрута муравьями в природе. Проходя путь между городами, муравьи откладывают феромон, на который муравьи обращают внимание при выборе нового пути. Феромоны – это вес, которым помечаются ребра графа. Муравьи, которые выбрали кратчайший путь, быстрее проходят его и при это он более обогащен феромонами. Движение муравьев определяется концентрацией феромона, отсюда следует, что все оставшиеся муравьи выберут именно этот путь и продолжат обогащать его феромоном, пока этот путь станет недоступным. Испарение феромона говорит нам о том, что это не единственное решение – муравьи будут искать другие пути. Самый обогащенный путь феромон является решением задачи.

$J_{i,k}$ – список вершин, которые муравью K , находящемуся в городе i необходимо посетить. Расстояние определяется следующим образом: $\eta_{ij} = 1 / d_{ij}$.

Муравьи улавливают след феромона в момент времени t на ребре (i, j) , а вес феромона равняется $\tau_{ij}(t)$:

$$P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha * [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha * [\eta_{il}]^\beta}, j \in J_{i,k}$$

где τ_{ij} – уровень феромона, η_{ij} – расстояние, α, β – параметры зависимости принятия решения от количества феромона и значений матрицы расстояний.

Алгоритм имитации отжига

Цель алгоритма заключается в том, что система должна быть с наименьшим уровнем энергии. У каждого металла есть своя кристаллическая решетка, которая описывается геометрическим положением атомов. Совокупность атомов это и есть состояние системы. Метал намного прочнее и решетка намного «лучше», когда уровень энергии ниже.

Ребра графа – узлы решетки. Маршрут – состояние системы. Стоимость маршрута – уровень энергии. Количество итераций – $(T_0 - T_{\min}) / \Delta T$, T_0 – начальная температура, T_{\min} – нижний порог, ΔT – уменьшение температуры на каждом шаге. Изменение состояние системы – это изменение последовательности городов в маршруте. Выбор города осуществляется случайно. Временная сложность алгоритма: $O(n^2 * \log_2(n))$, где n – количество городов. [7].

Задача коммивояжера является одной из самых важнейших задач теории графов. Рассмотрим

методы решения задачи коммивояжера, мы познакомились с эвристическими, приближенными и точными алгоритмами задачи коммивояжера и основными понятиями теории графов. Точный алгоритм решения задачи коммивояжера – метод полного перебора, но он не эффективен при большом количестве вершин графа, поэтому существующие алгоритмы позволяют упростить решение данной задачи.

Библиографический список

1. Мудров В. И. Задача о коммивояжере. М.: Знание, 1969. 64 с.
2. Пустовойтов А. Н. Решение задачи коммивояжера рекурсивным полным перебором. URL: <https://habr.com/ru/post/151151/> (дата обращения: 20.03.2020).
3. МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов. М.: Техносфера, 2004. 368 с.
4. Ерзин А. И., Кочетов Ю. А. Задачи маршрутизации: учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. 95 с.
5. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // ExponentaPro. Математика в приложениях. 2003. № 4. С. 70–75.
6. Чураков М., Якушев А. Муравьиные алгоритмы. URL: <https://blog.bullgare.com/wp-content/uploads/2019/05/аса.pdf> (дата обращения: 20.03.2020).
7. Задача о радиоактивном шаре. URL: https://studref.com/371010/informatika/zadacha_radioaktivnom_share (дата обращения: 20.03.2020).

УДК 004.021

М. С. Капран

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

К. Н. Рождественская – ассистент – научный руководитель

ОБЗОР МЕХАНИЗМА ПОДПИСКИ В СЕТИ SPACE WIRE-PLUG-AND-PLAY

Основной целью механизма подписки является оперативное уведомление терминальных узлов о смене статуса источника/подписчика. Отличительной особенностью реализации механизма подписки для технологии Plug-and-Play является то, что рассматривается не простая компьютерная сеть, а бортовая вычислительная сеть, которая обладает высокой отказоустойчивостью, длительным и подробным проектированием. В процессе работы такая сеть не должна изменяться и должна оставаться работоспособной так долго, насколько это возможно. То есть при проектировании задаются все параметры и характеристики, среди которых находятся и данные по подпискам.

Механизм подписки можно реализовать разными способами, в зависимости от факторов сети, например, типа устройств и назначения сети. Различные механизмы подписки можно классифицировать по разным принципам:

1. по топологии;
2. по типу мониторинга состояний узлов;
3. по наличию и виду фильтрации;
4. по наличию или отсутствию подтверждений о получении.

Классификация по топологии. Для реализации механизма подписки возможно создание топологии двух видов: источник-подписчик и источник-менеджер-подписчик.

В первом варианте, после получения данных о подписках, узлы связываются непосредственно с каждым подписчиком/источником отдельно для осуществления пересылки пакетов/запроса пакетов данных [1]. То есть источники и получатели данных взаимодействуют друг с другом без посредника (менеджера Plug-and-Play или центрального устройства). Источник/подписчик обязан самостоятельно выявлять ошибочные ситуации и реагировать на них тем или иным образом.

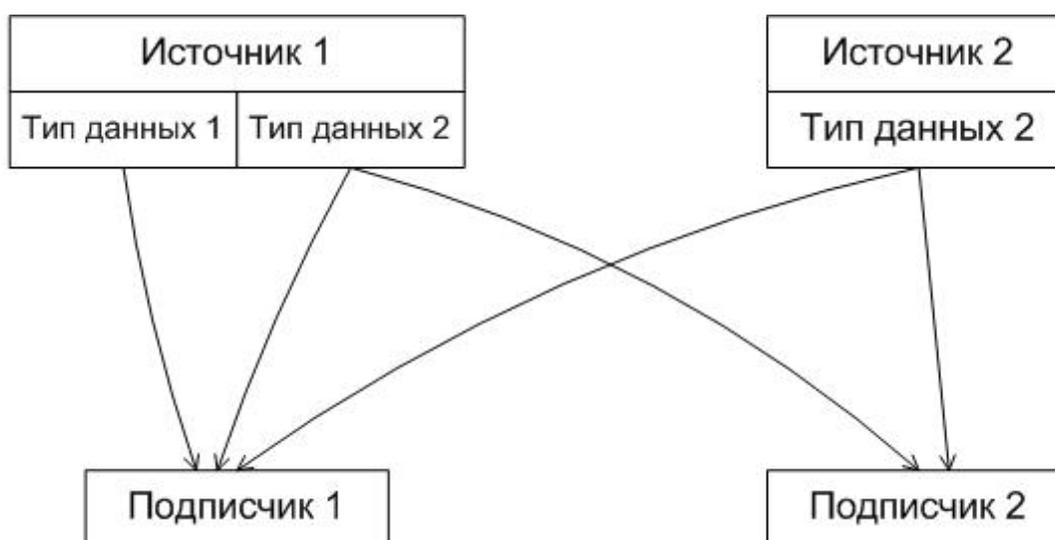


Рис. 1. Топология источник-подписчик

Во втором варианте, помимо хранения у себя информации о подписках внутри сети, менеджер выполняет роль посредника при пересылке данных.

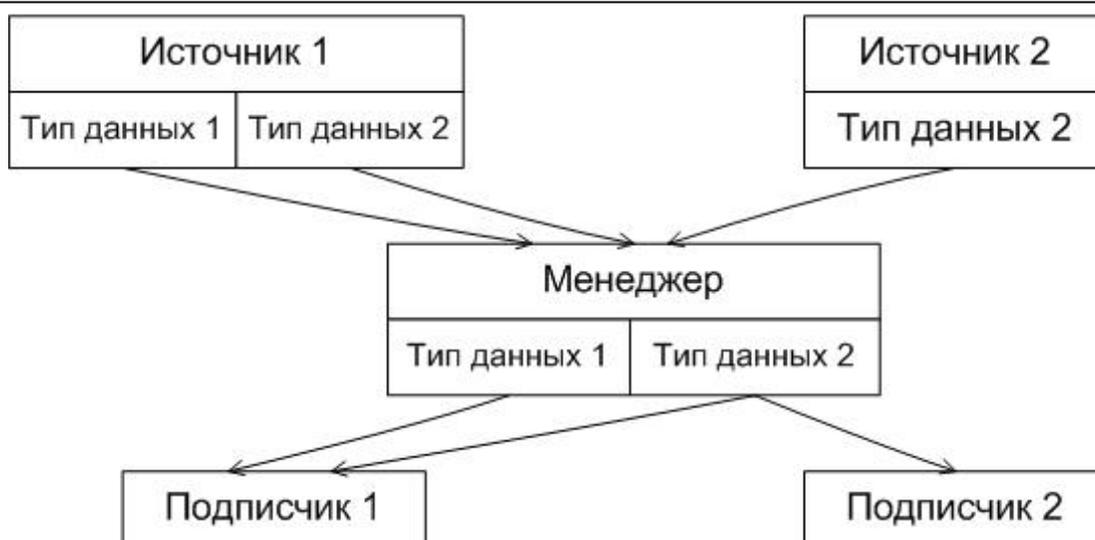


Рис. 2. Топология источник-менеджер-подписчик

В сетях Space Wire могут присутствовать как процессорные, так и беспроцессорные устройства. Возможны два варианта реализации такого подхода для сетей Space Wire с технологией Plug-and-Play:

1. Топология источник-подписчик.
2. Смешанный вариант, при котором реализуются оба варианта топологии.

Классификация по типу мониторинга состояний узлов. Мониторинг состояний узлов может производиться в общем или подробном режиме. Во время мониторинга в общем режиме менеджер Plug-and-Play проверяет только состояние физического подключения терминальных узлов к сети [7]. Механизм подписки может вносить дополнительный функционал: мониторинг в подробном режиме позволяет определять зависание логических узлов, т. е. выявлять ситуации, когда терминальный узел физически подключен к сети, но приложение на узле не отвечает.

Классификация по наличию и виду фильтрации. В механизме подписки подписчики могут получать все множество данных, предоставляемых источниками, но зачастую это нерационально. Для сужения множества получаемых данных используются алгоритмы фильтрации [5].

а) Фильтрация отсутствует

Каждый источник предоставляет каждому подписчику полный набор имеющихся у него данных. То есть в сеть от источника отправляются неоправданно большие пакеты, которые могут привести к тупикам.

б) Фильтрация только на источниках

Публикуемое множество сообщений источником разделяется на типы данных, и подписчик имеет возможность получать только те из них, которые представляют для него интерес.

с) Фильтрация только на подписчиках

Каждый подписчик указывает маску типов данных, которые ему необходимы, и запрашивает соответствующие типы данных у источника.

д) Фильтрация на источниках и подписчиках

Эта фильтрация является результатом совмещения двух предыдущих видов фильтрации, т. е. фильтрация осуществляется как источником, так и подписчиком.

В сетях Space Wirec технологией Plug-and-Play могут использоваться все виды фильтрации, а также фильтрация может отсутствовать.

Классификация по наличию или отсутствию подтверждений о получении. В механизме подписки может быть обеспечено или не обеспечено качество сервиса «гарантированная доставка данных». В случае, когда обеспечивается гарантированная доставка данных, это позволяет менеджеру вовремя узнавать не только о физическом отключении терминальных узлов, но и о зависании логических узлов, что расширяет функционал механизма подписки для сетей Space Wire.

Выводы

Не все алгоритмы, используемые в различных сетях, подходят для сетей SpaceWire-Plug-and-Play. В силу специфики бортовой сети, она требует максимальной неизменности на протяжении своей работы. Механизм подписки позволяет установить новые методы контроля над логическими узлами. Некоторые моменты реализации этого механизма, успешно применяемые в других протоколах, можно адаптировать под нужды Space Wire Plug-and-Play.

Библиографический список

1. Шейнин Ю. Е., Рождественская К. Н., Евдокимов А. С. и др. Space Wire-Plug-and-Play для перспективных бортовых сетей КА АО «ИСС» // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр.: электрон. изд. Красноярск, 2018. С. 196–200.
2. Holdaway, Brandon. The Space Plug-and-Play Architecture Services Manager and Its Relevance in Diverse Plug-and-Play Software Systems // All Graduate Plan B and other Reports. 2014. 407 p.
3. Ting Peng, Benjamin Weps, Kilian Höflinger et al. A New SpaceWire Protocol for Reconfigurable Distributed On-Board Computers // SpaceWire 2016 Proceedings Final. 2016. 8 p.
4. Roberto Baldoni, Roberto Beraldi, Leonardo Querzoni et al. Efficient Publish/Subscribe through a Self-Organizing Broker Overlay and its Application to SIENA // The Computer Journal. 2007. P. 15.
5. Gregorio J., Google Ed., de hOra B. NewBaySoftware // The Atom Publishing Protocol. 2007. 53 p.
6. Space Plug-and-Play Architecture: Standards Development Guidebook (AIAA G-133-1-2013). 2014.
7. Khramenkova Ksenia. Automated SpaceWire network administration // Proceedings of the 6th International SpaceWire Conference, SpaceWire. 2014. P. 86–89.

УДК 004.4'2

И. Л. Коробков

младший научный сотрудник

Д. В. Коробков

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Л. Оленев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СРАВНЕНИЕ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРАФОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ SPACE FIBRE

При разработке бортовых сетей на основе высокоскоростного стандарта Space Fibre [1] существует необходимость оценить характеристики процесса передачи данных в проектируемой сети: среднего времени передачи пакета, среднего размера очереди и др. Для этого может использоваться система массового обслуживания (СМО), предложенная в [2]. В основе СМО лежит марковский случайный процесс, описываемый в виде размеченного графа [2]. Данный граф также может быть представлен в виде OSTN-диаграммы на основании PFDD-диаграммы IDEF3-технологии [3, 4] по методу, описанному в [5]. Для автоматизации выполнения расчетов был разработан программный модуль, осуществляющий автоматическое построение графа СМО и в дальнейшем вычисление интересующих характеристик. Проверка корректности автоматически построенного графа является актуальной задачей. Для этого необходимо визуализировать граф из внутреннего представления программного модуля в удобную для восприятия человеком форму. После этого эксперт может оценить корректность графа и в случае ошибок внести корректировки в логику модуля. Для решения задачи визуализации графов был выполнен обзор и сравнение существующих инструментов отображения графов, кратко представленных ниже.

Самыми известными программными средствами для работы с графами являются aiSee [6], yEd[7], а также программный продукт Microsoft Visio.

aiSee – коммерческое программное средство, которое автоматически размещает вершины и дуги графа, описанного на языке GDL. Затем пользователь может интерактивно исследовать, данный граф, сохранить в различных форматах. Первоначально aiSee был разработан для визуализации структур данных, обрабатываемых компиляторами. Применяется в бизнес-менеджменте (структурные схемы предприятий, визуализация бизнес-процессов), разработка программного обеспечения (блок-схемы, графы потока управления, графы вызовов функций) и др.

yEd представляет собой программный инструмент, выпускаемый под лицензией проприетарного ПО, что позволяет использовать одну копию бесплатно. yEd может использоваться для создания графиков, чертежей и диаграмм. Поддерживается формат GML и множество типов диаграмм: диаграммы BPMN, генеалогические деревья, диаграммы классов UML, организационные диаграммы и др.

Microsoft Visio – это векторный графический редактор, редактор диаграмм и блок-схем. Он является профессиональным инструментом для визуализации данных, поэтому в нем также можно строить/изображать графы, однако он не обладает ни удобным механизмом редактирования графа с правильным сохранением его связей без нарушения геометрии линий и их подписей, ни средствами автоматической редакции при изменении структуры графа, также отсутствует возможность провести автоматический анализ с помощью фильтров. В связи с этим, Visio в дальнейшем не анализируется.

Проведем сравнительный анализ aiSee и yEd. В aiSee присутствует несколько режимов автоматического размещения вершин и дуг графа, множество настроек для них. Однако они в разной степени влияют на получаемый результат.

В yEd присутствует несколько режимов автоматического размещения вершин и дуг графа и опций для них, которые предоставляют возможность тонкой настройки визуализации под задачи пользователя.

Выделим основные средства навигации, которые предоставляет программа aiSee для решения данной задачи: 1) рабочий стол, который визуализирует графовую модель целиком, выдавая пользователю статичную картинку, которую нельзя изменять, например, передвигая элементы; 2) поисковый

инструмент, позволяющий пользователю искать элементы графовой модели с помощью их имен. Поддерживается задание регулярных выражений, выбор категорий элементов для поиска и сохранение предыдущих поисковых запросов.

YuEd предусмотрены средства для навигации: 1) рабочий стол схож с рабочим столом, который предоставляется в aiSee. Но, в отличие от aiSee: а) имеется возможность работать с несколькими графовыми моделями одновременно в одном экземпляре программы; б) присутствует возможность редактирования элементов графовой модели, начиная от смены их положения и размеров до задания атрибутов, влияющих на их визуализацию; 2) присутствует навигатор, отображающий графовую модель, с которой работает пользователь, в виде дерева; 3) удобная мини-карта, показывающая всю графовую модель целиком.

В результате сравнения был выбран инструмент yEd, так как yEd универсален и удобен для работы с графами больших размеров и имеет более тонкую настройку визуализации каждого графа пользователем, а также обладает преимуществом в виде поддержки языка разметки GML [8]. Рассмотрим подробнее GML.

GML – это полнофункциональный формат для описания графов. Он включает базовый язык, предназначенный для описания структурных свойств графа и гибкий механизм его расширения, что позволяет включать в описание графа данные специфичные для приложений. В формате GML можно описывать ориентированные, неориентированные и смешанные графы, гиперграфы, иерархические графы, а также указывать ссылки к внешним данным, специфические для приложения атрибуты. В отличие от других форматов описания графов, GML использует синтаксис, основанный на языке XML, являющимся универсальным средством для формирования, архивирования и обработки графов. Формат представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент описания графа в формате GML

Текстовый формат GML-файла				Описание
Creator	«yFiles»			Версия GML-формата
Version	«2.15»			
graph	[Начало описания графа
	hierarchic	1		Граф иерархичный, без названия, ориентированный
	label	«»		
	directed	1		
	node			Начало описания вершины графа
	[
		id	1	Номер вершины в графе и состояние очередей
		label	«10/0»	
		graphics		Начало настроек отображения вершины
		[
		type	«roundrectangle»	Форма фигуры: «прямоугольник»
		raisedBorder	0	Тип границ по умолчанию
		fill	«#FFFFFF»	Цвет заливки фигуры
		outline	«#FFFF00»	Желтый цвет линий
		outlineWidth	4	Ширина линий

Текстовый формат GML-файла				Описание
]		Конец настроек отображения вершины
]		Конец описания вершины графа
	edge			Начало описания дуги графа
		[
	source	8		От какой вершины и в к какую вершину идет дуга
	target	6		
	label	«U1»		Подпись дуги с указанием вероятности перехода
	graphics			Начало настроек отображения дуги
		[
	fill	«#0»		Цвет дуги – черный
	targetArrow	«standard»		Стрелка дуги – стандартная
]		Конец настроек отображения дуги
	LabelGraphics			Начало настроек отображения надписи на дуге
		[
	fill	«#FFFFFF»		Цвет заливки – белый
	fontSize	12		Размер шрифта – 12
	model	«three_center»		Позиция надписи на дуге – на дуге и не далее 3х позиций от начала дуги
	position	«scentr»		
]		Конец настроек отображения надписи на дуге
]		Конец описания дуги графа
]		Конец описания графа

В результате, была написана программа, автоматически выводящая граф в формате GML, который затем отображается в уEd. Квадратами обозначены состояния обслуживания 1 класса заявок, шестиугольниками – 2 класса заявок, кругами – 3 класса заявок, звездой – начальное состояние.

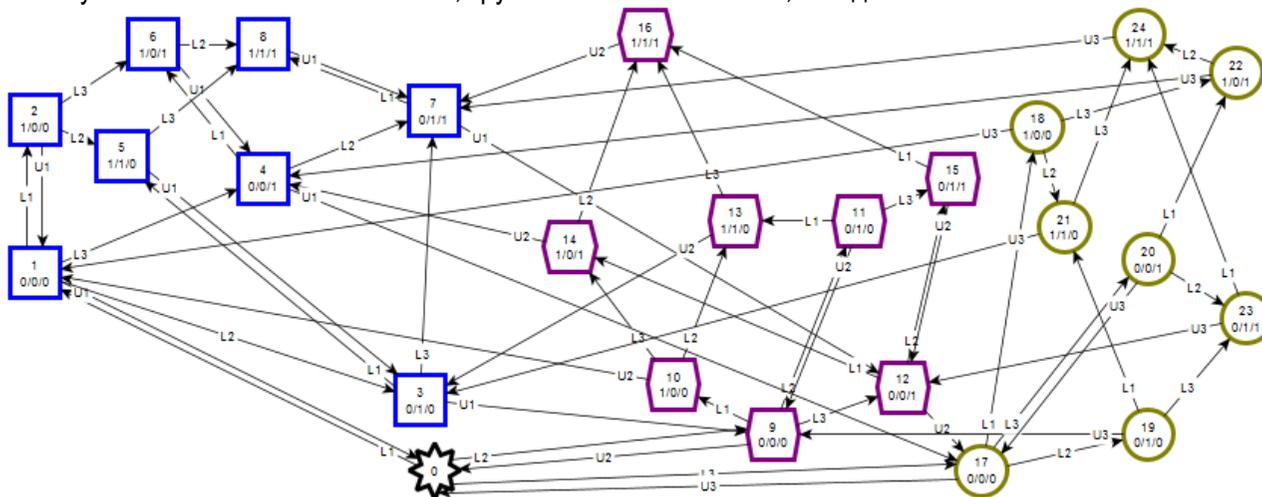


Рис. 1. Визуализация программно-сформированного графа СМО в уEd

Библиографический список

1. Space Fibre – Very high-speed serial link / S. Parkes, A. Ferrer, A. Gonzalez, C. McClements. ECSS-E-ST-50-11C, ESA-ESTEC, 2019. 233 p.
2. Коробков И. Л. Передача потоковых данных по стандарту Space Fibre как система массового обслуживания // Науч. сессия ГУАП: сб. докл.: в 3 ч. Ч. I: Техн. науки. СПб.: ГУАП, 2018. С. 127–139.
3. Бритов Г. С. Метод формального описания PFDD-диаграмм IDEF3-технологии // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2. С. 25–32.

4. *Бритов Г. С., Осипова Т. Ф.* Моделирование бизнес-процессов. Saarbrucken, Deutschland: LAPLAMBERTAcademic Publishing, 2014. 124 p.
5. *Бритов Г. С.* Методы построения OSTN-диаграмм IDEF3-технологии // Системный анализ и логистика. 2014. Вып. 11. С. 3–12.
6. *Касьянов В. Н., Золотухин Т. А.* Visual Graph — система для визуализации сложно структурированной информации большого объема на основе графовых моделей. URL: http://sv-journal.org/2015-4/05/#_Тос433389122 (дата обращения: 15.05.2011).
7. ТамНанна. Создание блок-схем с помощью редактора yEd. URL: <http://rus-linux.net/MyLDP/soft/yed.html> (дата обращения: 15.12.2019).
8. Graph MLWorking Group. Спецификация Graph ML. URL: <http://graphml.graphdrawing.org/specification.html> (дата обращения: 15.05.2011).

УДК 004.658.6

А. М. Косолапова

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Н. И. Синев

инженер

В. Л. Оленев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ БОРТОВЫХ СЕТЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Процесс моделирования позволяет отловить ошибки в программной, а также в аппаратной частях, что является менее затратным способом по сравнению с тестированием в реальных условиях. Для моделирования бортовых сетей был создан SANDS (Space Wire Automated Network Design and Simulation) на основе технологии Space Wire [1]. Данный комплекс состоит из четырех основных компонентов: компонент проектирования физической структуры и оценки физических характеристик сети; компонент прокладки маршрутов передачи данных в сети; компонент генерации таблиц планирования транспортного протокола СТП-ИСС для передачи данных с качеством сервиса Планирование; компонент моделирования работы сети со всеми данными, которые компонент получил от работы трех предыдущих компонентов и графического интерфейса.

Каждый компонент формирует блок информации с результатами работы. На данный момент эта информация представлена в виде html-страниц с отчетами, на которых очень тяжело осуществлять просмотр, а также сложный поиск с применением фильтров, информации, которая происходила в сети во время моделирования.

Таблица 1

Анализ существующих решений

	MySQL[3,4]	SQLite	PostgreSQL	MS SQL Server	Oracle[5]
Открытость	Открытая	Открытая	Открытая	Открытая	Закрытая
Простота	Простая	Простая	Сложная	Простая	Сложная
Масштабируемость	<input checked="" type="checkbox"/> Малые объемы данных <input checked="" type="checkbox"/> Большие объемы данных	<input checked="" type="checkbox"/> Малые объемы данных <input type="checkbox"/> Большие объемы данных	<input checked="" type="checkbox"/> Малые объемы данных <input checked="" type="checkbox"/> Большие объемы данных	<input checked="" type="checkbox"/> Малые объемы данных <input type="checkbox"/> Большие объемы данных	<input type="checkbox"/> Малые объемы данных <input checked="" type="checkbox"/> Большие объемы данных
Скорость	<input checked="" type="checkbox"/> Высокая <input type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая	<input checked="" type="checkbox"/> Высокая <input type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая	<input type="checkbox"/> Высокая <input checked="" type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая	<input type="checkbox"/> Высокая <input checked="" type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая	<input checked="" type="checkbox"/> Высокая <input type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая
Функционал	<input checked="" type="checkbox"/> Большой набор функций	<input checked="" type="checkbox"/> Большой набор функций	<input checked="" type="checkbox"/> Большой набор функций	<input checked="" type="checkbox"/> Большой набор функций	<input checked="" type="checkbox"/> Большой набор функций
Надежность	<input type="checkbox"/> Высокая <input checked="" type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая	<input checked="" type="checkbox"/> Высокая <input type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая	<input checked="" type="checkbox"/> Высокая <input type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая	<input checked="" type="checkbox"/> Высокая <input type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая	<input checked="" type="checkbox"/> Высокая <input type="checkbox"/> Средняя <input type="checkbox"/> Низкая

Чтобы облегчить поиск, необходимо разработать комплекс программных средств, который будет осуществлять разбор информации, получаемой сетью и сохранять все полученные результаты в базу данных (БД), что позволит не только просматривать, но и выполнять SQL-запросы и различные сложные функции, такие как поиск с фильтром, и уже на основе такой выборки представлять инфор-

мацию в виде графиков или диаграмм [2]. Для того, чтобы представить весь этот функционал в удобном виде, необходимо не только подобрать подходящую и удовлетворяющую критериям систему управления базами данных (СУБД), но и создать гибкий графический интерфейс (GUI). В GUI нужно также предоставить возможность вывода информации в графическом виде. Например, вывод времени, затраченного на пересылку пакета от одного коммутатора другому по каналам, пока пакет идет от узла А в узел В, в виде графика или диаграммы.

Для реализации поставленной задачи необходимо выбрать удовлетворяющую условиям СУБД. Был проведен анализ существующих решений на рынке и была составлена таблица 1.

Для решения поставленной задачи была выбрана открытая СУБД MySQL, за счет своей простоты, а также обладающая широким функционалом и высокой производительностью и позволяющая работать с любыми размерами данных.

Для данного симулятора уже была создана разработка БД, которая заполняла базу данных в процессе работы, вывод диагностической информации был реализован через html-страницы, но данная реализация сильно замедляла работу имитационной модели в силу особенностей реализации, и поэтому она не пригодна для нашего проекта. Таким образом, было принято решение сделать еще один комплекс, но с другим подходом.

Заполнение базы данных будет происходить после формирования файлов с результатами работы моделирования комплекса SANDS. После чего вся информация будет обрабатываться в программе, которая написана в среде разработки VisualStudio и выводится с помощью графического фреймворка WindowsForms.

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments
1	time	double			No	None	
2	id_event	bigint(20)			No	None	
3	id_device_simul	int(10)		UNSIGNED	No	None	
4	id_device_network	int(10)		UNSIGNED	No	None	
5	id_kit	int(11)			No	None	
6	№_port	int(10)		UNSIGNED	No	None	
7	type_protocol	int(11)			No	None	
8	type_buffer	int(11)			No	None	
9	load_buffer	double			No	None	
10	count_elem_buf	int(10)		UNSIGNED	No	None	
11	id_packet	bigint(20)		UNSIGNED	No	None	
12	type_event_buf	int(11)			No	None	

Рис. 1. Пример таблицы в MySQL, сохраняющей информацию из результирующего файла buffers.simlog

time	id_event	id_device_simul	id_device_network	id_kit	№_port	type_protocol	type_buffer
0	1	11	47	1	1	0	0
0	34	11	47	1	1	0	1
321212	35	22	19	0	1	0	0

Рис. 2. Вывод результатов файла buffers.simlog в WindowsForms

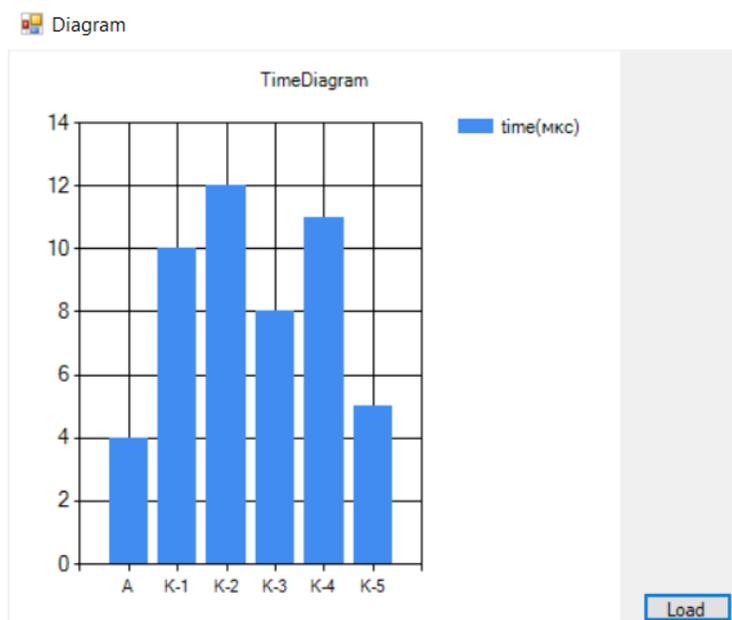


Рис. 3. Пример временной диаграммы, выводящей время, затраченное на пересылку пакета между узлами через коммутаторы (K-№)

Вывод

Подводя итоги, следует сказать, что был проведен анализ существующих решений по СУБД для реализации нового подхода к решению поставленной задачи, так как существующий подход неэффективен. Выбраны среды разработки для реализации нового комплекса. Осуществлена запись из файлов с результатами моделирования в базу данных, вывод содержимого таблиц БД и временных диаграмм в GUI. В дальнейшем будут доделаны поисковые фильтры и увеличен размер входных данных и количество обрабатываемых таблиц БД с ними.

Библиографический список

1. Проектирование и моделирование бортовых сетей Space Wire / В. Л. Оленев, И. И. Лавровская, И. Л. Коробков, Ю. Е. Шейнин. 2017.
2. Кузнецов Д. А., Синев Н. И. Сравнительный анализ и выбор подхода к хранению и обработке диагностической информации // Семьдесят вторая Международ. студ. науч. конф. ГУАП. Ч. 1. СПб.: ГУАП, 2019. С. 203–205.
3. ТОП 5 популярных систем управления базами данных (СУБД) в 2020. URL: <https://info-comp.ru/top-popular-database-management-systems> (дата обращения: 20.02.2020).
4. Длабик А. Сравнение популярных СУБД: Oracle, MySQL, SQL Server. URL: <https://www.databases.com.ua/article/populyarnyye-sudb> (дата обращения: 20.02.2020).
5. Преимущества СУБД Oracle. URL: <http://www.interface.ru/home.asp?artId=32990> (дата обращения: 20.02.2020).

УДК 004.716

А. И. Мидили

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Н. В. Мальцева – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОАДРЕСНОЙ РАССЫЛКИ В КОРАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ****Введение**

Решение задач, стоящих перед современными кораблями, обеспечивают корабельные автоматизированные системы боевого управления (АСБУ) и входящие в их состав цифровые вычислительные комплексы (ЦВК). Они представляют собой мощные аппаратно-программные вычислительные системы реального времени с развитым алгоритмическим и программным обеспечением. С точки зрения программиста АСБУ представляет собой распределенную систему, при проектировании которой возникают вопросы, связанные со способом организации взаимодействия входящих в нее компонентов. В нашем случае такими компонентами выступают ЦВК различных изделий корабля, обеспечивающие решение возложенных на них задач.

Традиционным способом организации взаимодействия различных изделий на корабле является организация парных связей между всеми изделиями. Структура таких связей схематично дана на рис. 1.

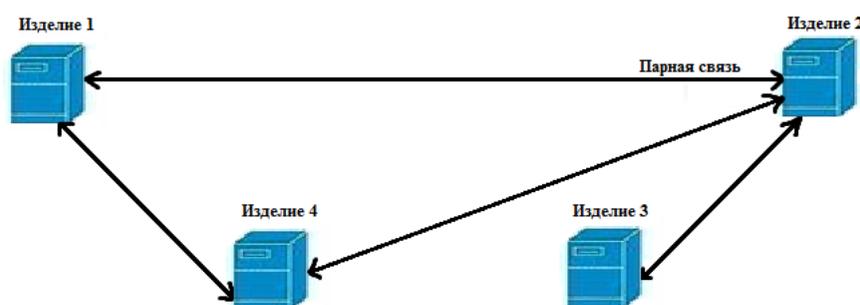


Рис. 1. Пример парных связей между изделиями

Для передачи единой информации по кораблю, такой, как примеру навигационные данные и время, обычно используют магистральные связи, структура которых схематично приведена на рис. 2.



Рис. 2. Пример магистральных связей между изделиями

С возрастающими требованиями к современным системам вооружения растет как количество изделий корабля, так и аппаратно-программные связи между ними, а, следовательно, и нагрузка на них. При этом зачастую информационные связи между изделиями дублируют в каких-то частях друг

друга, что достаточно не оптимально. Примером наиболее эффективного способа организации функционирования такой распределенной системы является использование технологии мультикаст. Структура такой сети схематично приведена на рис. 3.

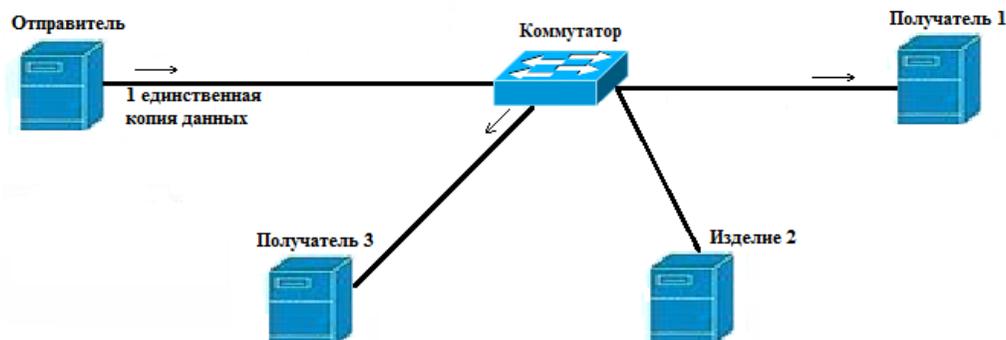


Рис. 3. Пример мультикастовой связи между изделиями

Особенности технологии IPmulticast

В данной статье рассматриваются особенности применения технологии IPMulticast для организации взаимодействия между ЦБК различных изделий при решении задач, поставленных перед АСБУ.

В современном мире основное применение многоадресной передачи (мультикаст передачи) является интернет телевидение (IPTV). В этом случае, один сервер-источник отправляет трафик, который получают много клиентов [1].

Многоадресная рассылка используется в работе сетевых протоколов. Например, протокол динамической маршрутизации OSPF в своем широковещательном домене рассылает мультикастовые сообщения. А получают их только те узлы, на которых запущено приложение, в данном случае, протокол OSPF.

Еще одна область использования мультикаста – это, загрузка по сети операционных систем, репликация операционных систем, баз данных и т. д. То есть там, где большие объемы данных с одного источника распространяются по сети на большое число потребителей. Области использования мультикаста: онлайн-сервисы, электронная коммерция, аукционы, биржи, а теперь и корабельная связь.

Основные характеристики мультикастовой рассылки:

- отправитель посылает только одну копию трафика, независимо от количества получателей;
- трафик получают только те абоненты, которые действительно заинтересованы в нем.

Использование мультикастовой рассылки позволяет:

- снизить трафик в сети, тем самым избежать заторов и способствовать корректной и более быстрой работе сетевых приложений;
- добавление новых клиентов (потребителей трафика) не потребует увеличения пропускной способности сети;
- сокращается нагрузка на источник трафика, которому не нужно поддерживать множество двухсторонних соединений.

Рис. 4 иллюстрирует изменение загруженности сети при увеличении числа потребителей мультикаст-трафика и отдельного трафика предназначенного для каждого абонента (юникаст-трафика) [2].

Для групповой передачи трафика международной организацией контроля адресов Интернет IANA (InternetAssignedNumber'sAuthority) зарезервирован диапазон IPv4 адресов 224.0.0.0/4 (224.0.0.0 – 239.255.255.255). Первые 4 бита двоичного представления этих адресов фиксированы – «1110», они определяют мультикастовый тип адреса, остальные 28 бит определяют адрес группы мультикаста. Групповой адрес определяет группу клиентов, желающих получить какой-то определенный трафик. А источник-отправитель этого трафика записывает этот групповой адрес, как адрес получателя в адресе назначения заголовка IP-пакета.

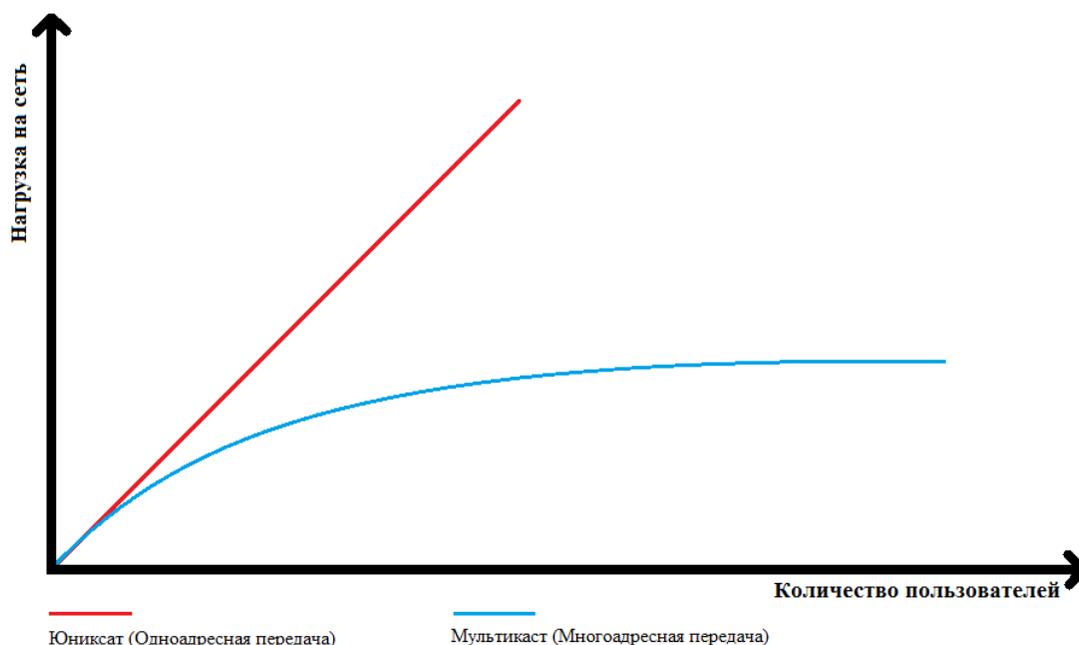


Рис. 4. Зависимость загруженности сети от количества получателей трафика в случае парных (юникаст) и групповых (мультикаст) связей

Диапазон адресов мультикаста разделен на поддиапазоны соответственно целям использования. Поддиапазон 239.0.0.0/8 (239.0.0.0 – 239.255.255.255) по существу является мультикастовым аналогом частных IPv4 адресов. Он зарезервирован для внутреннего использования в частных сетях (в том числе для разработки приложений в локальной сети).

Мультикастовые адреса сетевого уровня модели TCP/IP поддерживаются 48-битными физическими MAC- или Ethernet-адресами канального уровня. IANA отвела физическим мультикаст-адресам блок, начинающийся с 0x01-00-5E. 25 бит устанавливается в «0», далее следуют последние 23 бита мультикастового IP-адреса. Такой алгоритм связывает физические и сетевые адреса мультикаста [3].

Со стороны источника-отправителя трафика адресом назначения указывается мультикастовый IP-адрес группы получателей, а сетевая плата, получив мультикастовый адрес, транслирует этот адрес в соответствующий групповой Ethernet-адрес и посылает кадр. На стороне клиента получателя, который хочет вступить в некоторую группу, запускается приложение с указанием адреса этой группы. С помощью опции интерфейса сокетов (IP_ADD_MEMBERSHIP) приложение обеспечивает формирование для сетевой карты дополнительного MAC-адреса, соответствующего групповому сетевому адресу [4].

Если источники и потребители трафика находятся в одной физической сети, то сетевые карты всех хостов, которые произвели такую операцию, будут способны распознавать эти кадры в сети и отправлять их верхнему (сетевому) уровню, даже если находятся в разных IP-сетях. В маршрутизируемой сети на роутерах и коммутаторах третьего уровня необходимо использовать протоколы маршрутизации мультикаста (IGMP, PIM, MLD, MOSPF и др.), оптимизируя их использованием опции фильтрации трафика [5].

Для оптимизации мультикаста, на основе отслеживания сообщений протокола IGMP (IGMP – InternetGroupManagementProtocol) управляемые коммутаторы 2-го и 3-го уровня строят таблицу портов, через которые мультикаст попадает в коммутатор и портов, получающих мультикаст с указанием группы или групп мультикаста для таких портов. Некоторые коммутаторы позволяют построить такую таблицу, как динамически, так и статически [6].

Необходимыми условиями для реализации групповой адресации в локальной сети являются:
поддержка групповой адресации стеком протокола TCP/IP хостов и сетевых устройств;
программная поддержка протокола управления групповой передачей данных в сетях IGMP для отправки запроса о присоединении к группе и получении группового трафика;

Данная технология IPmulticast, может напоминать технологию AvionicsFullDuplexEthernet (AFDX), но так как мы рассматриваем конкретный протокол связи UDP, и реализацию на нем технологии IPmulticast, а также подразумевается дальнейшее взаимодействие с единой информационной корабельной сетью (ЕИКС), это сходство можно опустить.

Особенности разработки технологии IPmulticast в программном обеспечении

В настоящее время абсолютное большинство современных сетевых устройств и хостов поддерживают выполнение вышеперечисленных условий для реализации групповой адресации. Таким образом, для реализации обмена мультикаст-трафиком необходимо написать приложение, использующее групповую адресацию.

В корабельных АСБУ для ЦВК принято использовать UNIX подобные операционные системы, такие как ОС MCBC, на примере которой, в данной статье, рассмотрим особенности программной реализации обмена мультикаст трафиком.

На программном уровне, чтобы отправлять и принимать групповые сообщения, необходимо создать сокет и настроить его соответствующим образом. На транспортном уровне мультикаст работает по стандарту UDP, поэтому сокет должен быть дейтаграммным: [7].

```
sock = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
```

 (1)

После создания сокета его необходимо связать с портом:

```
structsockaddr_inaddr;
bzero(&addr, sizeof(addr));
addr.sin_family = AF_INET;
addr.sin_port = htons(port);
addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
bind(sock, (sockaddr *)&addr, sizeof(addr));
```

 (2)

Указание в структуре на месте IP-адреса INADDR_ANY, говорит о том, что независимо от интерфейса, на который пришли данные, UDP-пакеты будут приняты, если они пришли на указанный порт. ОС MCBC, а также некоторые другие UNIX подобные ОС, позволяют в качестве IP-адреса указать адрес мультикаст-группы:

```
addr.sin_addr.s_addr = inet_addr(ip_multicast);
```

 (3)

В таком варианте привязки сокета будут приниматься только UDP-пакеты, отправленные на указанный адрес, в данном случае адрес мультикаст-группы. Однако в обоих вариантах привязки мультикаст-трафик не будет принят до тех пор, пока сокет не будет включен в состав группы.

Таблица 1

Опции сокетов для групповой передачи данных

Уровень протокола (level)	Опция (optname)	Описание
IPPROTO_IP	IP_MULTICAST_IF	Задание интерфейса для групповых сообщений.
	IP_MULTICAST_LOOP	Установка флага принятия собственных сообщений.
	IP_MULTICAST_TTL	Установка времени жизни UDP-пакета.
	IP_ADD_MEMBERSHIP	Подключение к мультикаст-группе.
	IP_ADD_SOURCE_MEMBERSHIP	Подключение к мультикаст-группе с приемом данных от конкретного абонента.
	IP_DROP_MEMBERSHIP	Выход из мультикаст-группы.

Дальнейшая настройка сокета производится с помощью функции:

```
setsockopt(int sock, int level, intoptname, void *optval, void optlen);
```

 (4)

sock – идентификатор сокета; level – номер протокола управляющего флагами; optname –

название опции; *optval* – указатель на структуру устанавливаемых параметров; *optlen* – размер структуры.

Опции сокетов, отвечающие за групповую передачу данных, приведены в табл. 1.

В качестве примера, рассмотрим настройку опций *IP_MULTICAST_IF* и *IP_ADD_MEMBERSHIP*. Для отправки мультикаст трафика в настройках сокета указывается интерфейс сети отправления:

```
struct in_addr iaddr;
iaddr.s_addr = inet_addr(ip_sender);
setsockopt(sock, IPPROTO_IP, IP_MULTICAST_IF, &iaddr,
sizeof(iaddr));
```

(5)

Для приема мультикаст трафика указывается адрес мультикаст-группы и интерфейс, по которому эти данные будут приниматься:

```
struct ip_mreq imreq;
imreq.imr_multiaddr.s_addr = inet_addr(ip_multicast);
imreq.imr_interface.s_addr = inet_addr(ip_receiver);
setsockopt(sock, IPPROTO_IP, IP_ADD_MEMBERSHIP, &imreq, sizeof(imreq));
```

(6)

Отдельным вопросом при использовании технологии IPMulticast стоит контроль каналов связи (КС), который можно разделить на две составляющие: контроль трафика и аппаратный контроль.

Контроль трафика запускается после входа абонента в мультикаст-группу и имеет примитивную функцию: если данные приходят, то канал исправен, в противном случае канал неисправен.

Аппаратный контроль фокусируется на параметрах сетевого интерфейса. На основе флагов, установленных для интерфейса можно определить его работоспособность. Для этого используется системная функция *ioctl* для манипуляции параметрами устройств:

```
struct ifreq mask;
sprintf(&mask->ifr_name[0], "eth0");
ioctl(sock, SIOCGIFFLAGS, &mask);
```

(7)

где *sock* – сокет, открытый аналогично (1); *SIOCGIFFLAGS* – запрос на получение флага состояния устройства; *mask* – выходная структура, в которую будут считаны данные, соответственно названного интерфейса, указанного в поле *ifr_name*.

Для работоспособности сетевого интерфейса в режиме многоадресной передачи данных, необходимо, чтобы были установлены следующие флаги:

IFF_MULTICAST – поддержка многоадресного вещания;

IFF_UP – активность интерфейса;

IFF_RUNNING – связь с другим работоспособным элементом сети.

В корабельных АСБУ используется принцип резервирования КС и присутствует постоянная необходимость идентифицировать их состояние, поэтому в сетях с резервированием КС использование вышеуказанных флагов приветствуется. Для отправки и приема мультикаст трафика на один групповой адрес с несколькими каналами, необходимо привязать сокет соответствующему интерфейсу:

```
char interface[] = "eth0";
setsockopt(sock, SOL_SOCKET, SO_BINDTODEVICE, &interface[0], sizeof(interface));
```

(8)

Заключение

Отметим достоинства и недостатки технологии IPMulticast при использовании в рамках корабельных АСБУ. Принципиальным минусом мультикаста является невозможность использования на транспортном уровне протокола TCP. Поэтому недостатки мультикаста логически вытекают из недостатков используемого им транспортного протокола UDP. Так, сообщения источника мультикаста ограничены по длине особенностью протокола, и их доставка до конечного абонента не гарантируется. Проверка доставки осуществляется в ПО, где можно самостоятельно организовать проверку ошибок и установку таймеров повторной передачи.

Достоинством данной технологии является обеспечение быстрой передачи данных, а также жесткое ограничение загрузки сети и масштабируемость: при увеличении количества изделий на корабле, которым нужен один и тот же трафик, данные будут доставлены до всех заинтересованных абонентов без существенного увеличения загрузки сети.

Библиографический список

1. RFC1112 Host Extensions for IP Multicasting, August, 1989. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1112> (дата обращения: 10.05.2020).
2. Сети для самых маленьких. Часть девятая. Мультикаст, 2014. URL: <https://habr.com/ru/post/217585/> (дата обращения: 10.05.2020).
3. RFC5771 IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments, 2010. URL: <https://tools.ietf.org/rfc/rfc5771> (дата обращения: 10.05.2020).
4. IEEE Std. 802.1D-2004 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Media Access Control (MAC) Bridges. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_1D-2004.html. (дата обращения: 10.05.2020).
5. RFC4541 Considerations for Internet Group Management Protocol (IGMP) and Multicast Listener Discovery (MLD) Snooping Switches, 2006. URL: <https://tools.ietf.org/rfc/rfc454> (дата обращения: 10.05.2020).
6. RFC2236 Internet Group Management Protocol Version 2, 1997. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2236> (дата обращения: 10.05.2020).
7. Особенности работы с Multicast, 2011. URL: <https://habr.com/ru/post/141021/>. (дата обращения: 10.05.2020).

УДК 654.022

Я. Р. Миронов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Н. Иванов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Реконфигурируемые системы радиосвязи (RRS) – это общая концепция, основанная на программировании радио доступа и реконфигурировании соответствующей аппаратной платформы.

Юридический аспект

1. Особенности интеграционных процессов ЕС в области радиочастотного спектра

Для реализации данного механизма необходимо понимать юридическую сторону данного вопроса. В частности, как это происходит в Европейском Союзе (ЕС). Изучение данного вопроса может способствовать выявлению институциональных барьеров, препятствующих более эффективному принятию решений по использованию радиочастотного спектра [1].

Радиооборудование и использование радиочастотного спектра регулируются правилами, которые координируются между национальными правительствами.

2. Комитет по электронным коммуникациям (ЕСС) Европейской конференции почтовых и телекоммуникационных администраций (СЕПТ) и его роль в европейском регулировании радиосвязи

Большинство европейских стран принимают европейские стандарты (ENS) Европейского института телекоммуникационных стандартов ETSI для радиооборудования. 48 стран Европейской конференции администраций почтовых служб и служб связи (СЕПТ) координируют свои национальные частотные регламенты через СЕПТ. СЕПТ также координирует европейские интересы на Всемирных Радиоконференциях (WRC) с целью оптимального использования радиочастотного спектра во всем мире. ETSI вносит свой вклад в оптимизацию Европейского спектра с помощью системных справочных документов (SRD), опубликованных в форме технических отчетов ETSI.

3. Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI) и ее роль в европейском регулировании радиосвязи

Европейская комиссия также просит ETSI разработать европейские стандарты в качестве технической основы для регулирования оборудования в Европе. Если гармонизированные стандарты (HS) цитируются в Официальном журнале Европейского союза, производители, заявляющие о соответствии своего оборудования этим гармонизированным стандартам, могут предполагать, что их оборудование соответствует законодательству ЕС, и поэтому могут свободно размещать свое оборудование на рынке в любом государстве-члене ЕС или стране, подписавшей соответствующее соглашение с ЕС.

4. Сотрудничество между СЕПТ / ЕСС и ETSI

У ETSI подписан меморандум о взаимопонимании с Комитетом по электронным коммуникациям (ЕСС) Европейской конференции администраций почтовых служб и служб связи (СЕПТ) и представлен в ключевых комитетах Европейской комиссии (включая Рабочую Группу по Электромагнитной Совместимости (EMCWP), Экспертную Группу по Радиооборудованию, Комитет по радиочастотному спектру (RSC) и Группу по политике в области радиочастотного спектра (RSPG)) для того, чтобы убедиться в наличии необходимого спектра для радиостандартов ETSI.

ETSI также тесно взаимодействует с Нотифицированным органом по сертификации продукции через Ассоциацию нотифицированных органов ЕС (EUANB) и Ассоциацию Директивы по Радиооборудованию (RED) и консультирует органы надзора за рынком ЕС по техническим вопросам через соответствующие Координационные группы администраций (ADCO).

ETSI и СЕПТ / ЕСС опубликовали статью о европейской нормативной среде, которая находится в свободном доступе [2].

5. Надзор за рынком и правоприменение

На глобальном уровне Международный союз электросвязи (ITU) стремится координировать использование спектра. Примерно каждые четыре года проводятся Всемирные конференции радиосвязи (WRC) для рассмотрения и пересмотра регламентов радиосвязи, которые составляют международный договор, регулирующий использование радиочастотного спектра. Эти правила также регулируют геостационарные и негеостационарные орбиты спутников.

В Европе Европейская конференция администраций почтовых служб и служб связи (CEPT) выполняет роль по координации использования спектра, хотя окончательное распределение ресурсов остается за отдельными национальными правительствами.

Европейская комиссия может поручить CEPT определить частотные диапазоны и условия использования спектра в поддержку политики ЕС. ETSI обеспечивает технический вклад в исследования совместного использования спектра с помощью системных справочных документов (SRD). Кроме того, отдельные члены ETSI могут участвовать в исследованиях совместного использования спектра CEPT для оказания технической поддержки [2].

Новая стратегия в области управления использованием радиочастотного спектра

1. Подход WAPECS

В условиях стремительного технологического прогресса, характерного для информационно-коммуникационных технологий (ICT), регулирующие процедуры должны проходить легче, чтобы поддерживать быструю эволюцию рынка и поощрять инновационные технологии. Последние четыре года Европейская комиссия плотно занимается разработкой новой стратегии в области управления использованием радиочастотного спектра, получившей название WAPECS [3]. Основными элементами этой стратегии являются нейтральность технологий и служб в определенных полосах частот. Подход WAPECS прокладывает путь к более гибкому управлению радиочастотным спектром в Европе. Управление радиочастотным спектром по всей Европе должно быть адаптировано, чтобы позволить пользователям спектра (сетевым операторам) принимать своевременные решения о том, как использовать имеющийся спектр. Нормативная база ЕС должна признавать, что технологии и услуги сближаются, и работать над поддержанием конкурентной и инновационной среды.

Политика беспроводного доступа к услугам электронной связи (WAPEC) – это термин, введенный для платформ, используемых для радиодоступа к услугам электронной связи, независимо от диапазонов, в которых они работают, или используемых ими технологий.

В настоящее время внедрение инновационных беспроводных услуг и технологий затруднено резервированием определенных полезных частотных диапазонов для достаточно узкого круга услуг. Это в сочетании с жесткими условиями использования сдерживает эффективное использование радиочастотного спектра и препятствует появлению новых технологий.

WAPECS – это практические шаги, которые могут быть предприняты уже сейчас, чтобы проложить путь к более гибкому использованию спектра в ближайшем будущем.

Предотвращение помех останется ключевым элементом управления спектром, но способ достижения этой цели эволюционировал благодаря быстрому технологическому прогрессу. Основными целями WAPECS являются достижение более высокой технической и экономической эффективности на рынке.

Подготовка к этому новому подходу требует "поэтапного" внедрения гибкого управления спектром. Это влечет за собой определение конкретных диапазонов спектра, в которых нормативные ограничения могут быть сняты для конкуренции между различными радиоинфраструктурами.

2. Полоса пропускания

В общей сложности полоса пропускания 1350 МГц была определена в качестве первого набора полос, в которых правовые ограничения могут быть пересмотрены для обеспечения более гибкого использования. В настоящее время эти полосы используются телевидением, мобильной связью и информационными технологиями.

Подход WAPECS к более гибкому управлению спектром может принести пользу целому ряду текущих проблем:

Существующие и новые операторы хотят внедрить различные технологии (UMTS, WiMAX и др.) через полосу 2,6 ГГц с 2008 года для беспроводного доступа в интернет.

Существующие операторы мобильной связи второго поколения (2G) хотят расширить свое текущее использование диапазона GSM 900 МГц для развертывания новых услуг с использованием мобильных технологий 3G.

Существующие и новые операторы хотят использовать полосу частоты 470-862 МГц, используемую в настоящее время для телевидения, где переход от аналогового вещания к цифровому обеспечит "цифровой дивиденд", для новых услуг, таких как мобильное телевидение и распространение услуг беспроводной электронной связи на сельские районы.

Эти случаи необходимо рассматривать быстро и последовательно, чтобы обеспечить инновации и сектор электронных коммуникаций. Они также дают возможность постепенно внедрять новый гибкий подход к использованию спектра.

Для реализации большей гибкости исследуются следующие полосы частот. Общая рассматриваемая полоса пропускания составляет 1350 МГц:

-470-862 МГц: используется для телевидения;

-880-915 МГц / 925-960 МГц, а также 1710-1785 МГц / 1805-1880 МГц: эти полосы образуют сегодня сеть 900/1800 для мобильных услуг GSM;

-1900-1980 МГц / 2010-2025 МГц / 2110-2170 МГц: сегодня эти полосы используются для мобильных услуг третьего поколения (3G) (IMT-2000 / UMTS);

-2500-2690 МГц (диапазон 2,6 ГГц): этот диапазон предназначен для использования мобильными службами 3G (IMT-2000/UMTS);

-3,4-3,8 ГГц: этот диапазон используется для широкополосного беспроводного доступа; он также интенсивно используется для спутниковой связи в России и некоторых африканских странах.

Заключение

Итак, разработанный в Евросоюзе новый подход к управлению использованием радиочастотного спектра предназначен для более эффективного и рационального использования спектра при сохранении конкурентоспособности. Опыт Евросоюза в реализации концепции WAPECS несомненно полезен для России как при рассмотрении различных полос частот под конкретные технологии, так и при рассмотрении вопросов их технологически нейтрального использования.

Библиографический список

1. *Massaro M.* Between Integration and Protection of National Sovereignty in the European Union's Radio Spectrum Policy: Uncovering Potential Research Avenues // *Journal of Information Policy*. 2019. Vol. 9. P. 158–197.
2. ETSI CEPT / ECC The European regulatory environment for radio equipment and spectrum Version 2.2, 2017. P. 12.
3. *Першакова А., Сорокин В.* Радиочастотная политика Евросоюза // *Радиочастотный спектр*. 2010. № 4. С. 36–41.

УДК 004.057.4

А. Ю. Петров

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Л. Оленев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛОВ

Коммуникационный протокол – это набор правил для порядка передачи информации сообщений различных типов [1]. Сейчас протоколы используются в различных областях, где требуется обмен данными.

Существует множество методик, используемых для проектировки протоколов, эти техники, несмотря на индивидуальный подход каждого разработчика, в значительной степени успешны. Все же такой подход приводит к появлению ошибок или неожиданному и нежелательному поведению в большинстве протоколов. Это вызвано фактом отсутствия единой методики по проектировке протоколов.

Целью данной статьи является анализ различных методов разработки коммуникационных протоколов, их сравнение и поиск той методики, которая будет наиболее удобна для использования каждым разработчиком при проектировке коммуникационного протокола.

Кроме того, задачей данной работы является изучение последовательности действий при разработке коммуникационных протоколов, и нахождение отличий в подходах разработчиков к данному вопросу.

Весь процесс разработки протокола можно разбить на некоторые этапы:

1. Концептуальное проектирование;
2. Спецификация;
3. Верификация;
4. Логическое проектирование;
5. Физическое проектирование.

Давайте немного рассмотрим каждый из этих пунктов.

1. Концептуальное проектирование — это сбор требований к целевой системе, а также оценка основного описания системы. При концептуальном проектировании необходимо четко сформировать будущее представление проекта.

2. Архитектура коммуникации распределенной системы структурирована как иерархия различных уровней протокола. Каждый уровень обеспечивает специфический набор сервисов для пользователей уровнем выше. Пользователь заинтересован в характере предоставляемых ему сервисов, но он не заинтересован в том, как протокол справляется с их предоставлением.

Описание поведения уровней протокола и составляет спецификацию протокола. Она должна быть "абстрактной" в том смысле, что она описывает типы команд и их эффекты, но оставляет открытым конкретный формат и механизмы для того, чтобы их представить. Эти форматы и механизмы могут быть различными для пользователей в различных частях системы, но они все определены интерфейсом спецификации.

3. В самой широкой интерпретации цель верификации — это обеспечение того, чтобы система удовлетворяла ее спецификации дизайна, а также удовлетворительно работала для пользователей. Деятельность проверки правильности важна в течение всех фаз дизайна, и она может включать испытание финального системного выполнения, исследование совместимости и правильности алгоритмов и методов, использованных в спецификации, аналитические предсказания выполнения и верификацию функциональных свойств протокола.

Верификация основана на системной спецификации, и вызывает логическое рассуждение. Поэтому она может использоваться во время фазы дизайна прежде, чем любая системная реализация, это нужно для того, чтобы избежать возможные ошибки дизайна. Во время тестирования и моделирования система для определенных тестируемых ситуаций только утверждается, верификация позволяет, в принципе, рассмотреть все возможные ситуаций, с которыми система может столкнуться в течение фактической операции.

4. Логическое проектирование — это перевод исполняемого проекта спецификации на уровень регистров (на Verilog / VHDL) и далее на уровень вентилях.

5. Этап физического проектирования начинается с выбора технологической и библиотечной базы и завершается, когда все готово для производства конечного продукта [1].

Логическое и физическое проектирование можно объединить одним словом реализация.

Методология построения коммуникационных протоколов с несколькими параллельными функциями

Эта методология была представлена в немецком Distributed Computing в 1988 году под авторством Х.А. Лина [2], студента кафедры электротехники Университета Вашингтона.

Суть методологии заключается в создании объединенного протокола, который выполняет функции нескольких отдельных протоколов параллельно. В статье предлагается трехэтапный метод построения протокола:

- 1) Разработка отдельного протокола для каждой индивидуальной функции, которая будет включена в целевой многофункциональный протокол;
- 2) Объединение отдельных протоколов в единый объединенный протокол;
- 3) Создание эксплуатационных ограничений среди отдельных протоколов в объединенном протоколе.

На этапе (1) разработчик сначала идентифицирует функции, которые будут включены в целевой протокол, основываясь на его знаниях и опыте, и затем создает отдельные протоколы для выполнения задач функций путем применения доступного дизайна и методы анализа. На шаге (2) он применяет механический алгоритм для соединения отдельных протоколов в объединенный протокол, предварительно убедившись в согласованности совместного исполнения отдельных протоколов. Шаг (3) спецификация операционных отношений среди составных протоколов. Модель спецификации протокола в значительной степени основана на модели взаимодействия конечных автоматов.

Важным преимуществом этой методологии является то, что она уменьшает сложность построения многофункционального протокола, позволяя сосредоточиться на одной функции протокола одновременно. Это также способствует повторному использованию протоколов. После того, как отдельный протокол был разработан и проанализирован, его можно использовать в будущем для анализа.

Если рассматривать со стороны применимости, то понятно, что не каждый многофункциональный протокол может быть построен с использованием этой методологии. Она, как уже упоминалось, подходит для синтеза протоколов, которые выполняют несколько функций параллельно. Тем не менее методология имеет, по крайней мере, одно ограничение даже в рамках одновременного выполнения. Операционные ограничения представляют простой, но ограниченный механизм согласования двух (или более) составных протоколов. Операционное ограничение может указывать, когда выполнять переход в одном отдельном протоколе, в зависимости от состояния другого отдельного протокола, но не позволяет переменным второго протокола влиять на выполнение перехода в первом протоколе. Предположим, что в протоколе управления потоком есть переход для изменения размера окна. Через эксплуатационные ограничения второй протокол может контролировать, когда этот переход должен вызываться в протоколе управления потоком, но не то, как должен изменяться размер окна, когда переход вызывается. Расширение существующей методологии все еще необходимо.

Формальный подход к разработке сетевых протоколов. Теория и применение к стандарту беспроводной связи

Этим проектом занималась группа студентов из Университета Делавэра и Городского Колледжа при Городском Университете Нью-Йорка, в сотрудничестве с учеными из SECОM (Научно-исследовательский центр армии США) [3].

Данное исследование, представленное в 2001 году, было направлено на официальное определение, разработку и тестирование сложного реального протокола для мобильных сетей (MIL-STD 188-220).

Сложность беспроводных протоколов, используемых в MIL-STD 188-220, разрабатываемых для мобильной обработки боевых сетевых радиостанций, обусловила необходимость использования

формального подхода в спецификации, разработке и тестировании протоколов. Estelle был выбран в качестве языка формальной спецификации для определения протоколов в MIL-STD 188-220, из которых автоматически генерировались тесты на соответствие.

Estelle (Extended State Transition Language): один из трех стандартных методов формального описания, разработанных в 1980-х годах. Он был стандартизирован ISO для описания распределенных параллельных систем информации, особенно услуг связи и протоколов [4].

Используя автоматическую генерацию тестов из спецификаций Estelle, были получены различные теоретические проблемы: проблема ограничения синхронизации (если не учесть активные таймеры возможно неверное функционирование теста), проблема управляемости (тесты могут не иметь прямого доступа ко всем интерфейсам протокола), проблема конфликтующих таймеров (невозможные последовательности тестов могут возникать из-за переменных протокола, моделирующих несколько таймеров, которые могут работать одновременно).

Для решения этих проблем была создана синергетическая основа для развития систем *C4I* (Command, Control, Communications, Computers, and Intelligence или Контроль, Управление, Связь, Компьютеры и Интеллект). Она сочетает в себе несколько параллельных действий: разработку стандартов и спецификаций протоколов, формальное задание протоколов в Estelle, построение аппаратного и программного обеспечения для тестирования соответствия, «полевые испытания», моделирование и симуляцию.

Главным результатом работы команды являются два пакета программного обеспечения e fsm2fsm-rcpt и INDEEL, для автоматической генерации тестовых примеров. Эти тесты свободны от прерываний из-за неожиданных тайм-аутов, в то время как их охват числа тестируемых переходов увеличен благодаря использованию нескольких интерфейсов без конфликтов управляемости.

Тесты главным образом выявили несколько ошибок реализации, в том числе отсутствие обязательных возможностей на уровне канала передачи данных и проблемы с ретрансляцией в интрасети с несколькими переходами. Результаты этих тестов помогут избежать проблем, описанных мною выше при развитии и разработке протоколов в будущем.

Формальные методы в проектировании коммуникационных протоколов

Этот материал был представлен в виде статьи под авторством Г.В. Бохмана и К.А. Саншайна [5].

Статья рассматривает формальные методы, применяемые к проблемам спецификации протокола, верификации реализации протокола.

Спецификация уровня протокола должна включать определения и сервисов, которые будут обеспечены уровнем, и протокола, выполненного объектами в пределах уровня, чтобы обеспечить этот сервис. “Верификация проектирования” тогда состоит из демонстрации того факта, что взаимодействие объектов действительно адекватно для того, чтобы обеспечить указанные сервисы. В тоже время “верификация выполнения” состоит из демонстрации того, что выполнение объектов удовлетворяет более абстрактную спецификацию протокола. Полезное подмножество проверки проектирования может быть описано как проверка “общих свойств”, типа тупика, закливания и законченности. Эти свойства могут быть проверены во многих случаях, не требуя никакой специфической сервисной спецификации.

Хотя спецификации протокола должны удовлетворить многим целям, верификация и выполнение – две критических задачи, которые требуют строгих или формальных техник спецификации, чтобы быть полностью успешным. Формальные спецификации протокола более точны, чем описания на естественном языке, и должны содержать необходимые детали для того, чтобы получить совместимое выполнение протокола на различных системных отделах.

Авторы полагают, что большие усилия должны быть потрачены на логическую проверку протоколов в течение фазы проектирования. Основанное на формализованном методе описания, это усилие может в будущем быть упрощено при помощи интерактивных автоматизированных систем для верификации протокола. Та же самая спецификация протокола, используемая для верификации должна также служить официальным определением протокола, и может быть преобразована, возможно через полуавтоматический процесс, в пригодное для использования выполнение протокола.

Сравнение методологий

Параметры	Методологии			
	1	2	3	4
	Методология построения коммуникационных протоколов с несколькими параллельными функциями	Формальный подход к разработке сетевых протоколов для стандартов беспроводной связи	Формальные методы в проектировании коммуникационных протоколов	Методика разработки коммуникационных протоколов: от требований к реализации
Год создания	1988	2001	1980	2015
Сферы применения	Проектирование коммуникационных протоколов, выполняющих несколько отличных функций одновременно	Совершенствование проектирования протоколов беспроводной связи	Общая разработка коммуникационных протоколов	Общая разработка коммуникационных протоколов
Применяемая формальная методика	Конечные автоматы	Конечные автоматы	Конечные автоматы	SDL
Применяемые языки	Методология носит теоретический характер	Estelle	Методы носят теоретический характер	SDL, SystemC, C++
Легкость изучения и применения	Сложный уровень	Сложный уровень	Средний уровень	Средний уровень
Степень проработки теории	Незаконченное исследование	Готовая теория	Незаконченное исследование	Готовая теория
Главное преимущество методики	Уменьшение сложности построения многофункционального протокола присосредоточения одной функции протокола одновременно	Избегание проблем и ошибок при развитии и разработке протоколов посредством использования результатов тестов данной теории	Усовершенствование подхода к разработке протоколов при логической проверке протоколов в течение фазы дизайна	Усовершенствование подхода к проектированию протоколов через параллельное выполнение некоторых задач разработки и формализацию последовательности действий

Заключение

Исходя из сравнения, можно сказать, что универсального подхода при проектировании коммуникационных протоколов пока нет. Каждая методика предлагает свои пути решения различных проблем при создании и развитии протоколов. Все же я бы выделил методологию под авторством И.И. Лавровской и В.Л. Оленева, так как она наиболее актуальна в данное время, и, главное, она предлагает усовершенствованный и законченный с точки зрения разработки подход.

Библиографический список

1. *Lavrovskaya I., Olenev V.* Methodology of Communication Protocols Development: from Requirements to Implementation // Design and Verification Conference and Exhibition Europe (DVCON), 2015. P. 45.
URL: https://dvcon-europe.org/sites/dvcon-europe.org/files/archive/2015/proceedings/DVCon_Europe_2015_T04_Presentation.pdf. (дата обращения: 22.04.2020).
2. *Lin H. A.* A methodology for constructing communication protocols with multiple concurrent functions // Distributed Computing. 1988. № 3. P. 23–40.
3. *Uyar M. U., Fecko M. A., Amer P. D. et al.* A Formal Approach to Development of Network Protocols // Theory and Application to a Wireless Standard. 2001. P. 33.
4. *Konig H.* Protocol Engineering Brandenburg University of Technology Cottbus. 2003. 533 p.
5. *Bochmann G. V., Sunshine C. A.* Formal Methods in Communication Protocol Design // IEEE Transactions on Communications. 1980. № 4. P. 624–631.

УДК 004.02

П. В. Рудьков

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

С. И. Ковалев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПОСТРОЕНИЕ И ДЕКОДИРОВАНИЕ КВАЗИЦИКЛИЧЕСКИХ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ НА БАЗЕ ПРОЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Одной из проблем повсеместного использования низкоплотностных кодов является актуальность лишь одного метода реализации, основанного на применении графа Таннера [1]. Данный метод имеет огромное количество областей, в которых его применение сильно ограничено, либо эффективность ставится под вопрос. Основная задача – разработка альтернативного метода, который в случае его достаточной эффективности, позволит расширить области, в которых можно было бы применять низкоплотностные коды и повысить эффективность их использования.

Построение проверочной матрицы

В данном исследовании для формирования низкоплотностного кода использовался метод, основанный на построении проверочной матрицы на базе проективной геометрии [2]. Для этого необходимо определить показатель степени неприводимого полинома над двоичным полем Галуа, чтобы в дальнейшем, используя табличные данные, определиться с подходящим полиномом, из которого будет опосредованно формироваться проверочная матрица [3]. Табличные данные для определения неприводимого полинома используются из-за того, что методы, позволяющие достаточно быстро рассчитать подходящий по параметрам полином, слишком громоздки и сильно осложнили бы поставленную задачу. Более того, таблиц таких полиномов более чем достаточно, что позволяет ускорить процесс получения результатов моделирования [4].

После определения полинома необходимо сформировать массив базисных векторов, посредством которых будут сконфигурированы 2 матрицы: Сложения и Перемножения. Данные матрицы будут содержать внутри своей позиции векторную сумму или векторное произведение соответствующих векторов из полученного массива. Например, в матрице Сложения третьим элементом в пятой строке будет являться номер элемента, соответствующий номеру элемента, полученному в результате сложения вектора под номером 3 и вектора под номером 5. Сами же вектора формируются напрямую из полинома. Неприводимый полином представляет собой сумму одночленов различных степеней, на основании наличия или отсутствия последовательности которых составляется итеративная схема формирования элемента массива базисных векторов. В основании схемы лежит циклический сдвиг с условием, если в неприводимом полиноме коэффициент при одночлене данной степени не нулевой – значит, данная позиция будет образовываться из сложения по модулю два предыдущей позиции и последней позиции. Иначе в формировании данной позиции используется лишь значение из предыдущей позиции.

Сразу после того как обе матрицы (Сложения и Перемножения) сформированы, наступает этап формирования проверочной матрицы [4]. Матрица Перемножения выступает в роли глобальной маски матричных позиций, а матрица Сложения – в роли маски позиций в матричной ячейке. Итеративно проходя поэлементно до последнего базисного вектора, согласно данной схеме формируется обычная проверочная матрица. Такую матрицу можно изменить несколькими способами, перечисленными ниже.

1. Добавить Г-крюк.
2. Вырезать некоторое количество строк и/или столбцов
3. Выколоть некоторые матрицы

Каждый из методов можно использовать индивидуально, а можно в сочетании с остальными, но учитывая приоритет каждого метода. Рассмотрим каждый из методов в отдельности.

Добавление Г-крюка – это операция наслоения слева и сверху на матрицу специального

столбца и строки матриц соответственно того же размера что и матрица Сложения, но имеющих специфическую конфигурацию [5]. Данные матрицы представляют собой преимущественно нуль-матрицы, за исключением одного столбца или одной строки соответственно, которые сдвигаются с приближением к краям проверочной матрицы к ней самой. А верхняя левая матрица образована единицами в первом столбце и в первой строке, как бы замыкая диагональные матричные линии в своеобразный Г-крюк, рис. 1. Приоритет у данного метода третий.

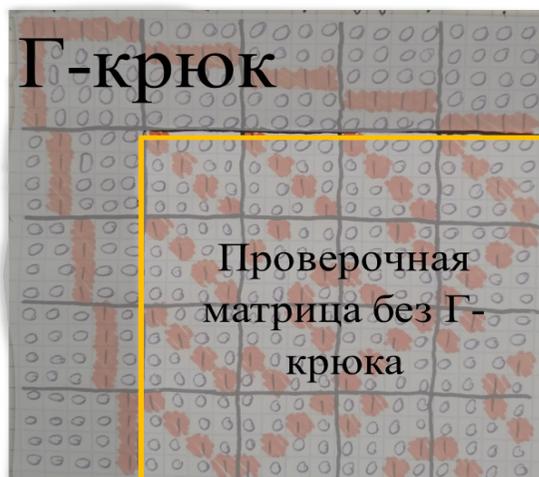


Рис. 1. Пример матрицы с Г-крюком

Вырезать некоторое количество строк и/или столбцов – эта операция самая интуитивно понятная. Из-за принципа формирования проверочной матрицы в ней присутствует некоторая избыточность, и при больших размерах скорость сильно выше желаемой величины [5]. Для того чтобы данными параметрами можно было управлять – необходимо вырезать либо строки, либо столбцы соответственно. Приоритет у данного метода первый. Его нужно делать до остальных методов, чтобы не нарушать стандартный алгоритм выполнения.

Выколоть некоторые матрицы – в основе данного метода так же лежит знание о том, что в проверочной матрице существует избыточность, но бороться с ней можно не только удалением строк. Если обнулить матричные ячейки равномерно по всей проверочной матрице (в каждой матричной строке и столбце обнулить равное количество матриц), то возможности проверочной матрицы не изменятся. Изменяться лишь характеристики, но иным образом, нежели в случае вырезание строк/столбцов. Приоритет у данного метода второй.

После осуществления всех необходимых преобразований проверочная матрица готова для того чтобы использоваться при декодировании [4].

Моделирование работы каналов

В основе моделирования работы многих каналов лежит простой принцип. Ошибка – некоторое отклонение от кодового слова. Если величина ошибки меньше расстояния Хеминга – то ошибку можно однозначно обнаружить, и в случае с низкоплотностным кодом – однозначно исправить [6]. В таком случае для простоты моделирования работы используют нуль-кодовое слово, представляющее собой вектор, состоящий исключительно из нулей. На работу генераторов шумов или декодера используемое кодовое слово влияние не несет, а для анализа выходных данных это сильное упрощение, не несущее за собой никаких статистических последствий. Для удобства моделирования и достаточной значимости результатов были выбраны два канала, в которых будет осуществляться наложение шума, дискретного и аналогового соответственно – Двоично-Симметричный канал (ДСК) и канал с Аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ-канал).

Принципом организации шума в ДСК является наложение шума на позицию с некоторой вещественной вероятностью. При этом факт того, как этот шум накладывается на принимаемый вектор, в расчет не берется.

Принципом организации АБГШ-канала является нормальный закон, согласно которому ошибка

будет наложена на принимаемый вектор некоторый вещественной вероятностью. Отклонение для нормального распределения представлено на рис. 2.

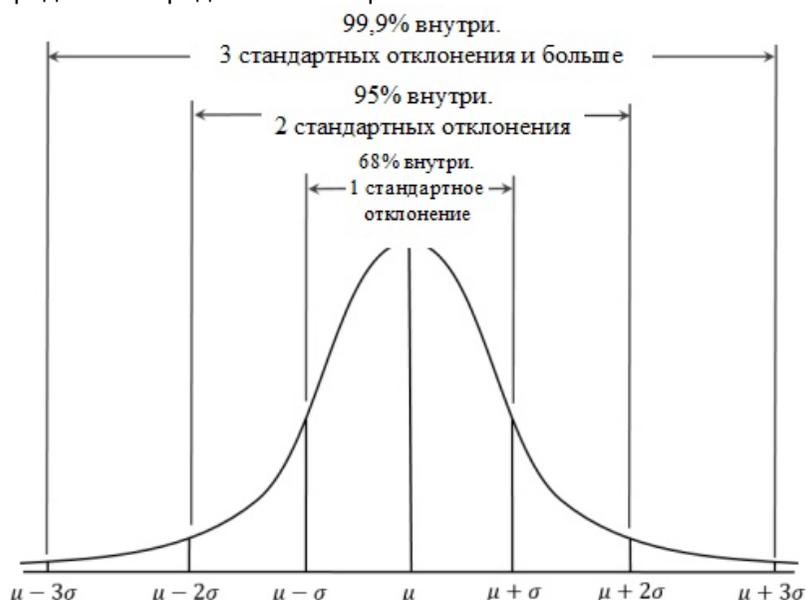


Рис. 2. Отклонение для нормального распределения

Два этих диаметрально противоположных по принципу организации канала дадут достаточно полную картину того, как работает декодер. Именно поэтому они и были выбраны в качестве объектов моделирования.

Построение декодера

Для декодирования принимаемого вектора, и исправления в нем ошибки, наложенной в процессе прохождения через канал, необходимо понимать принцип: кодовое слово, векторно-умноженное на проверочную матрицу, даст в результате нуль-вектор. Этот принцип рождается из метода, которым проверочная матрица была образована, и его объяснение было подробно описано и аналитически доказано [4].

Так же выходными параметрами декодера является величина ошибки на бит и на блок декодирования и количество итераций, требуемых для декодирования данного вектора.

Автоматизация тестов

Для достижения значимого результата моделирования необходимо совершить достаточное количество проходов по системе, однако необходимо выяснить, какое количество проходов будет являться достаточным.

Первым этапом для малых длин векторов и малых размеров проверочной матрицы, соответственно, было использовано полноценное моделирование, включающее в себя абсолютно все варианты распределения ошибки в векторе всех возможных весов. Но с ростом длин векторов и размеров проверочных матрицы длительность моделирования результатов таких тестов росло экспоненциально, соответственно длине вектора и размерам проверочной матрицы.

Вторым этапом являлась отладка кода, выбор подходящей системы и процессора, а также разбиение на отдельные подзадачи каждого моделируемого процесса для осуществления мультипоточного моделирования.

В результате экспериментов и анализа имеющихся ресурсов была выбрана операционная система Windows, хоть она немного и проигрывала в скорости моделирования отдельной подзадачи, на больших дистанциях она показывала лучший результат. Так же был выбран процессор с большей частотой, так как каждая итерация моделирования на нем выполнялась соответственно быстрее, нежели у процессора с частотой ниже. И выбран процессор с максимально доступным количеством

ядер подходящий под условия, описанные выше. Были произведены попытки осуществить облачные вычисления, но процесс их отладки занимал время значительно большее всего моделирования, поэтому данным способом было принято временно пренебречь.

Третьим этапом, после достижения длин векторов, для которых полноценное моделирование занимало более полусуток при всех вышеописанных модернизациях, был произведен шаг в сторону статистики, благодаря которой результат малого количества значимых экспериментов можно было экстраполировать на полную выборку с некоторой допустимой погрешностью.

Статистический анализ результатов моделирования

Полученные результаты необходимо было свести в таблицу для упрощения процесса анализа и возможности построения графиков по данным таблиц. Помимо имеющихся данных, необходимо рассчитать для каждого отдельного моделирования с ошибкой одного веса и каждым ограничением, используемом в процессе, некоторое множество данных, представленных в формуле ниже [7].

$$(P^x \cdot Q^{n-x}) \cdot C_n^x \cdot BER \text{ (or BIER)},$$

где x – вес ошибки, n – длина принимаемого вектора, P – переходная вероятность ошибки канала, Q – обратная величина от P , C – число сочетаний, а BER – полученная в результате моделирования ожидаемая ошибка на бит (или на блок – $BIER$). После производится суммирование всех полученных результатов при фиксированном P . После расчета двух параметров для логарифмически изменяющегося P (для BER и $BIER$ отдельно) можно было построить 2 графика зависимости, а также, дополнительно построить график зависимости количества итераций для декодирования от веса ошибки. Результат построения итоговых графиков зависимости представлен на рис. 3, 4 и 5.

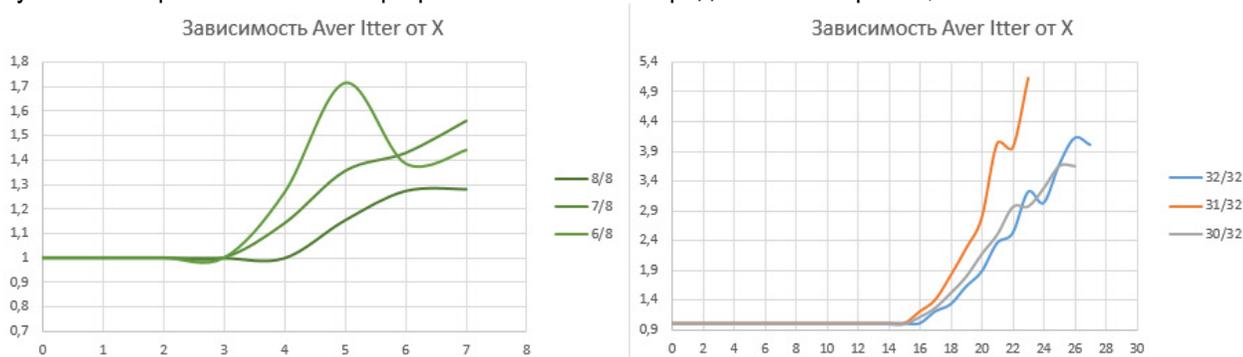


Рис. 3. Графики зависимости ожидаемого количества итераций декодирования для определенной вероятности ошибки. Левый – для $n = 64$. Правый – для $n = 1024$

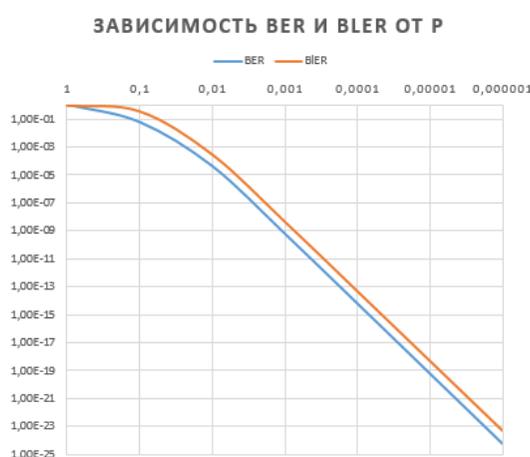


Рис. 4. График зависимости ожидаемого BER и $BIER$ от переходной вероятности ошибки в канале для $n = 64$

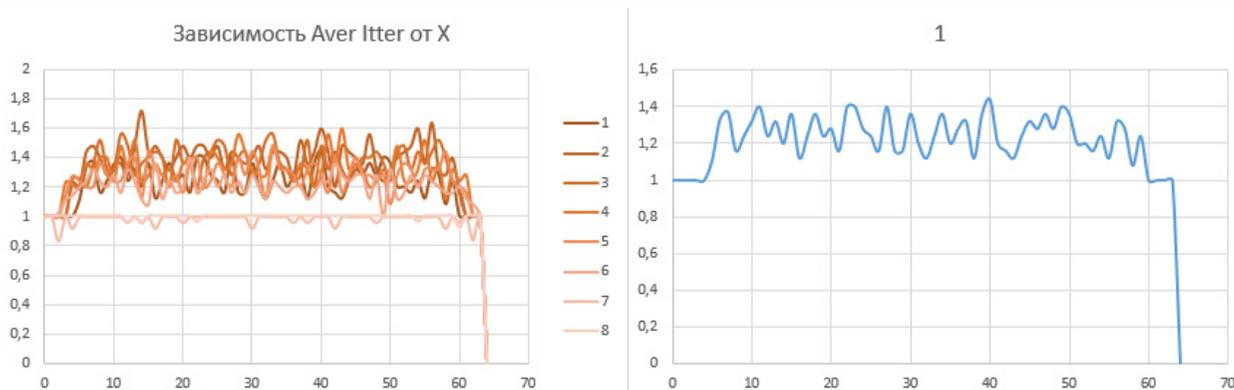


Рис. 5. Полный график зависимости ожидаемого количества итераций декодирования от веса ошибки для $n = 64$ (слева – все варианты вырезок матричных строк; справа – без выреза)

Заключение

В результате исследования был подробно изучен и смоделирован классический метод построения низкоплотных кодов с возможностью различных ограничений проверочной матрицы [1]. На основе моделирования были построены графики, иллюстрирующие зависимость веса ошибки на бит и веса ошибки на блок на выходе декодера от параметров канального шума.

Благодаря полученным статистическим данным были выведены зависимости, которые можно использовать в дальнейшем, не проводя масштабных моделирований, которые будут с достаточной точностью предсказывать поведение конструируемой системы.

В будущем планируется использовать результаты, полученные в ходе исследования, для получения информации об эффективности работы метода построения низкоплотных кодов из экстремальных графов.

Библиографический список

1. Smarandache R. Pascal O. Vontobel Quasi-Cyclic LDPC Codes: Influence of Proto- and Tanner-Graph Structure on Minimum Hamming Distance Upper Bounds // IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY. 2011. P. 22.
2. Галлагер Р. Дж. Коды с малой плотностью проверок на четность / пер. с англ. М.: Мир, 1966. С. 144.
3. Иванов Ф. И., Зяблов В. В., Потапов В. Г. Коды с малой плотностью проверок на четность, основанные на полях Галуа // Информационные процессы. 2012. Т. 12, № 1. С. 68–83.
4. Круглик С. А., Потапова В. С., Фролов А. А. Метод построения проверочных матриц недвоичных квазициклических кодов с малой плотностью проверок // Информационные процессы, 2018. Т. 18, № 2. С. 125–134.
5. Long-Jiang Jing, Jing-Li Lin, Wei-Le Zhu. Design of Quasi-Cyclic Low-Density Parity Check Codes with Large Girth // ETRI Journal. 2007. Vol. 29. № 3. P. 381–389.
6. Боккер П. Передача данных. Т. 1: Техника связи в системах телеобработки данных. Основы / пер. с нем.; под ред. Д. Д. Кловского. М.: Связь, 1980. 264 с.
7. David J. C. Good Error-Correcting Codes Based on Very Sparse Matrices // MacKay in IEEE Transactions on Information Theory, 1999. P. 399–431.

УДК 004.3'1

В. В. Сергеев

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Е. Н. Яблоков – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РЕАЛИЗАЦИЯ JTAG ИНТЕРФЕЙСА ПОСРЕДСТВОМ МИКРОСХЕМ ARDUINO

Единственным недостатком улучшения технологического процесса изготовления микросхем является сложность их последующей отладки. К 1985 году масштаб данной проблемы стал слишком критичен, поэтому для ее решения ряд компаний создали объединение Joint European Test Action Group, либо Joint Test Action Group, когда позже, в 1988 году, к объединению примкнули североамериканские компании. Результатом деятельности объединения стал стандарт [1], разработанный и опубликованный в начале девяностых. Он предусматривает встраивание в систему интерфейса для передачи данных и инструкций – Test Access Port (порт тестового доступа), а также минимального аппаратного обеспечения, реализующего тестирование методом периферийного сканирования.

Взаимодействие с портом тестового доступа реализовано с помощью четырех контактов:

TDI предназначен для приема данных. На этот контакт по битам схеме-контроллеру подаются интерпретируемые ей в дальнейшем данные;

TDO предназначен для загрузки данных. При помощи данного контакта ведущее устройство по битам считывает данные из микросхемы, к примеру, результат выполнения тестовых операций;

TCK предназначен для тактирования порта;

TMS предназначен для взаимодействия с машиной состояний контроллера TAP. При помощи данного контакта определяется начало и конец загрузки, а также происходит выбор: загружается команда или данные.

Однако также для удобства работы с устройством в порт могут внедряться контакты, не описанные в стандарте. Таким образом, например, часто реализуется контакт TRST, ответственный за сброс машины состояний порта.

На сегодняшний день JTAG используется для различных целей, в частности программирование и отладка микропроцессоров и FPGA.

Одной из издержек работы с интерфейсом JTAG является ограниченность в выборе аппаратного и программного обеспечения, предназначенного для взаимодействия с TAP-контроллером. Разработанное на базе микропроцессора ESP8266 устройство (рис. 1) позволяет реализовать взаимодействие с TAP-контроллером с помощью сети беспроводного соединения WiFi.

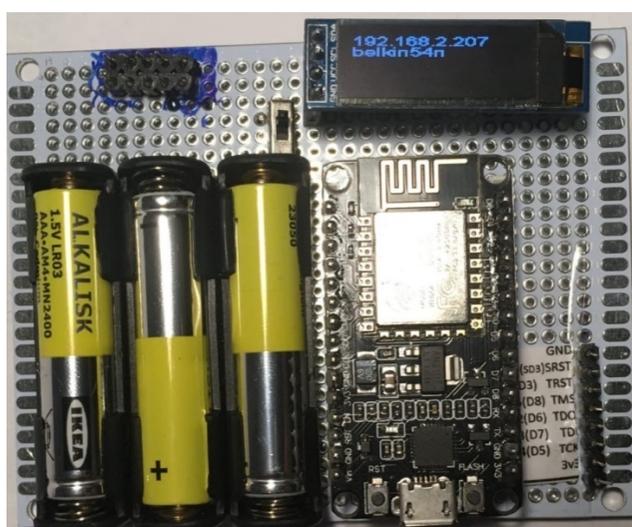


Рис. 1. Прототип устройства для отладки

Ключевым преимуществом этого устройства является его универсальность и простота взаимодействия. Программное обеспечение для этого устройства состоит из:

- Браузерного приложения (рис. 2) с применением технологии AJAX [2] для получения и отправки данных без перезагрузки страницы;
- Программы для подключения устройства к точке доступа (для более быстрого и простого взаимодействия), написанное на C++ при помощи кроссплатформенного фреймворка QT [3] (рис. 3);
- Драйвера устройства.

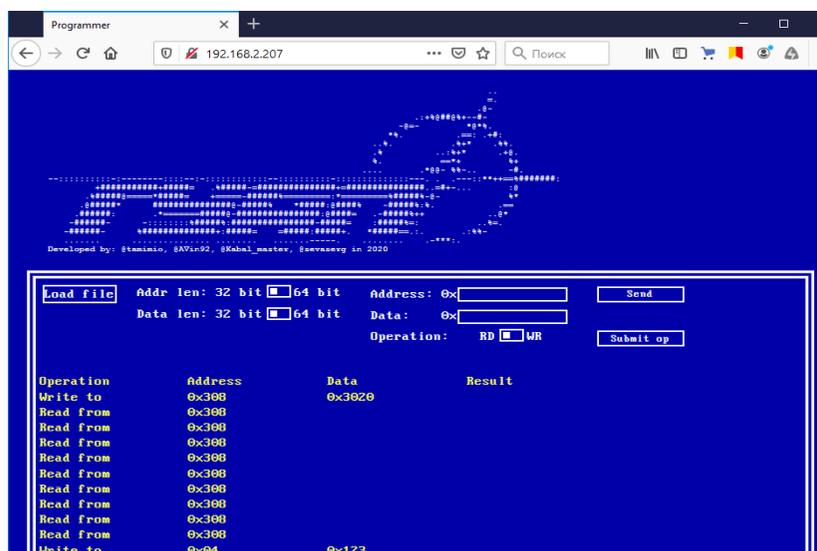


Рис. 2. Браузерное приложение для чтения и записи данных в устройство

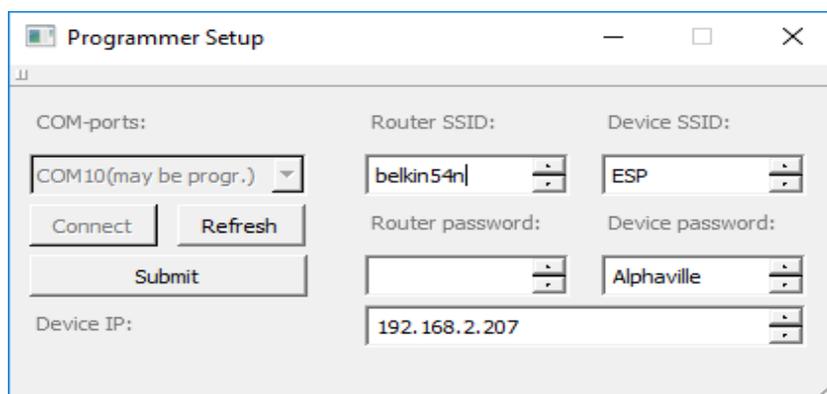


Рис. 3. Приложение для настройки поведения устройства в беспроводной сети WiFi

Пользователь подключает устройство к ПК на базе любой ОС и конфигурирует настройки WiFi устройства через приложение, показанное на рис. 3. В случае подключения к сети WiFi, на OLED-экране устройства должны отобразиться две строки: IP-адрес устройства и SSID точки доступа, к которой оно подключено. Если подключения не произошло, на OLED-экране отображается 3 строки: SSID устройства, работающего как точка доступа, пароль для подключения к устройству и его IP-адрес. После этого производится подключение устройства к TAP-контроллеру схемы, которую необходимо отладить или запрограммировать. Для удобства использования устройство может работать, питаясь от трех батареек типа AAA, избавляя пользователя от необходимости подключать устройство к сети электропитания, однако оно также может работать и при питании от кабеля Micro USB в случае, если планируется его долговременное использование.

После конфигурирования настроек WiFi и подключения устройства к схеме, пользователь взаимодействует с устройством через веб-браузер (рис.2). Пользователь может загрузить файлы с помощью кнопки "LoadFile", а также легко сгенерировать собственную последовательность данных с

помощью тумблера “RD-WR”, полей “Address” и “Data” и кнопки “Submitor”. Список команд будет выведен в виде таблицы. После нажатия на кнопку “Send” столбец “Result” будет заполняться по мере выполнения устройством команд. Примеры сигналов, посылаемых устройством при записи и чтении, полученные с использованием логического анализатора, можно увидеть на рисунках 4 и 5 ниже.

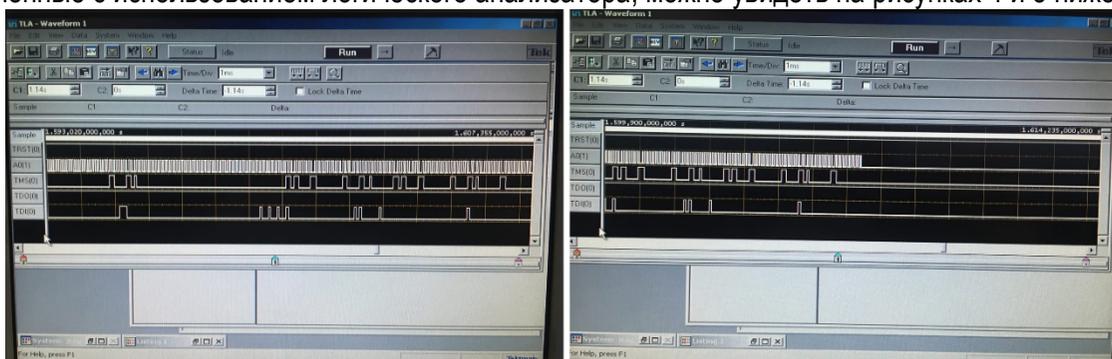


Рис. 4. Запись данных (0x1111) на адрес 0xAAAA

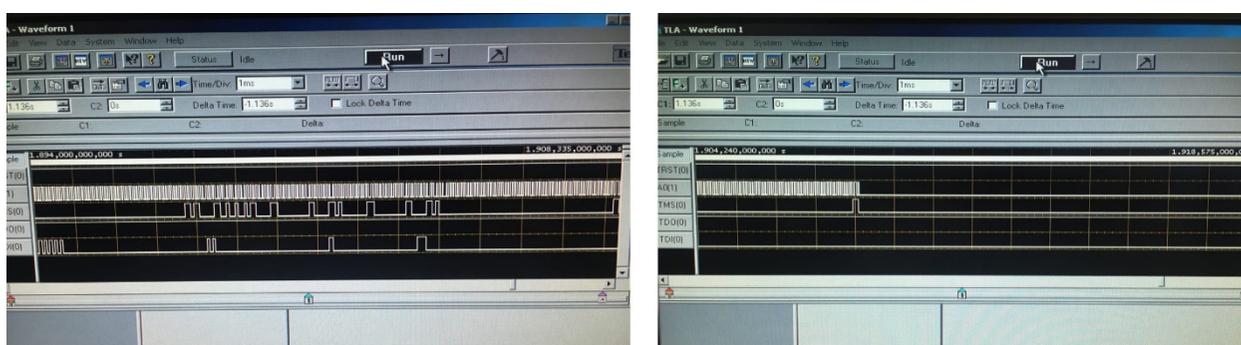


Рис. 5. Чтение данных с адреса 0xAAAA

В будущем планируется добавить поддержку ряда типов файлов формата Intel HEX, внедрить возможность изменения настроек WiFi через веб-браузер, а также доработать возможности работы с добавляемыми командами.

Библиографический список

1. Стандарт IEEE 1149.1-2001 Порт тестового доступа и Архитектура Граничного сканирования. URL: https://standards.ieee.org/standard/1149_1-2001.html (дата обращения: 22.04.2020).
2. Крейн Д. Ажас в действии. М.: Вильямс, 2008. 640 с.
3. Шлее М. Qt 5.10 Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2018. 1072 с.

УДК 681.518,004.031

В. В. Симдянкин

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. В. Яковлев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТОКОЛА BLUETOOTH LOW ENERGY В НОСИМОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Своевременная оценка функционального состояния организма человека является важной задачей. Поэтому сегодня разработано большое число медицинских и спортивных приборов для измерения различных характеристик организма человека (температуры тела, пульса, частоты дыхания, уровня потоотделения и т. д.) и окружающей его среды (температуры и влажности окружающего воздуха, запыленности, уровня шума и т. д.). С технической точки зрения эти приборы реализуют одну и ту же технологию сбора и обработки данных, проиллюстрированную на рис. 1 [1], [2].



Рис. 1. Технология сбора и обработки данных о показателях организма человека и окружающей его среды [2]

Однако, как показано в работе [2], подобные системы отличаются высокой стоимостью и не доступны подавляющему большинству исследователей, особенно молодых. В работе [2] были сформулированы требования и разработана обобщенная архитектура недорогой открытой мобильной системы для регистрации широкого перечня параметров организма человека и окружающей его среды. Обобщенная архитектура этой системы представлена на рис. 2.



Рис. 2. Обобщенная архитектура системы [2]

В соответствии с представленной архитектурой основной системы являются измерительные модули (ИМ), непосредственно обеспечивающие регистрацию разнообразных показателей организма человека: кардиоритма, частоты дыхания, ускорений, температур, голоса человека и звуков окружающей среды. Регистрируемая информация посредством беспроводной связи передается на модуль сбора и передачи данных (СПД), который в дальнейшем передает собранные данные на окончательное устройство пользователя (СПД).

В рамках проводимого исследования нами был сделан особый акцент на то, чтобы использовались беспроводные технологии, оказывающие минимальный вред здоровью человека. Приведенный нами анализ показал, что наиболее безвредной и энергетически экономичной технологией передачи данных между ИМ и СПД является технология Bluetooth Low Energy (BluetoothLE) [3]. Bluetooth LE является продолжением Bluetooth Classic [4] с низким энергопотреблением, меньшим размером и задержками. В сравнении с Bluetooth Classic технология Bluetooth LE оказывает меньшее электромагнитное воздействие на человека и поэтому достаточно активно используется в медицинской отрасли [5]. Сравнение этих двух технологий представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение технологий Bluetooth Classic и Bluetooth LE

№ п./п.	Сравниваемые параметры	BluetoothClassic	Bluetooth LE
1	Задержка подключения	100мс	6мс
2	Минимальное время передачи данных	100мс	3мс
3	Встроенная поддержка передачи голоса	Да	нет
4	Потребляемая мощность	1 вт	От 0.01 до 0,5 вт
5	Потребляемый ток	<30 мА	<15мА

Для исследования возможности использования технологии BluetoothLE в ИМ разрабатываемой системы регистрации параметров организма человека и окружающей его среды был разработан прототип ИМ для регистрации температурных показателей человека на базе датчика температуры MAX30205МТА+ и микроконтроллера ESP32 (пр-во Espressif Systems, КНР). Этот микроконтроллер способен производить опрос датчиков MAX30205МТА+ и передавать собираемые данные по энергосберегающему протоколу Bluetooth LE на СПД. В качестве СПД был использован одноплатный компьютер Raspberry Pi Zero W. Таким образом, были разработаны прототипы ИМ и СПД и была получена возможность оценить предложенное решение по использованию протокола Bluetooth LE для обеспечения информационного обмена между ними.

Проведенное исследование показало, что передача данных цифровых и аналоговых датчиков через канал Bluetooth LE производится успешно. Однако появились и сложности:

1. невозможность в исходном варианте передачи аудио сигнала;
2. нарушение образования пары между устройствами;
3. отсутствие проверки подключения между устройствами, что может привести к неконтрольному доступу.

Официально Bluetooth LE не поддерживает передачу аудио сигнала, но согласно ответу технического менеджера компании Bluetooth SIG и спецификациям BLE [4] – это возможно путем переопределения внутреннего профиля и добавление аудиокодека на оба устройства. Нарушение сопряжения устройств было вызвано отсутствием части параметров в системе передачи данных. СПД был перенастроен в соответствии с параметрами измерительного модуля, что позволило передавать данные цифровых и аналоговых датчиков, таких как термодатчик MAX30206МТА+. Неконтрольный доступ решен путем установки запроса пин-кода при подключении к устройству.

Таким образом, была реализована передача тепловых данных по протоколу BluetoothLE, устройство которое подключилось к серверу может прослушивать эти данные. Было установлено, что передача аудио сигналов теоретически возможно. Взаимодействие измерительных модулей с системой передачи данных все еще в разработке.

В дальнейшем будет проведено исследование на возможность передачи голосовых сообщений через BLE, а также будет реализовано взаимодействие ИМ с СПД.

Библиографический список

1. Яковлев А. В. Обобщенный алгоритм оценки функционального состояния организма человека-оператора // Сб. докл. науч. сессии, посвященной Всемирному дню авиации и космонавтики: в 3 ч. СПб.: ГУАП, 2019. С. 288–290.
2. Яковлев А. В. Дизайн и реализация носимой системы сенсоров, регистрирующих параметры организма человека и окружающей среды // Сб. докл. науч. сессии, посвященной Всемирному дню авиации и космонавтики: в 3 ч. СПб.: ГУАП, 2020. [В печати].
3. Data Transfer // Bluetooth® Technology Website. URL: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/solutions/data-transfer/> (дата обращения: 29.05.2020).
4. Traditional Profile Specifications // Bluetooth® Technology Website. URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/profiles-overview/> (дата обращения: 29.05.2020).
5. Health Device Profile // Bluetooth® Technology Website. URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/assigned-numbers/health-device-profile/> (дата обращения: 29.05.2020).
6. Яковлев А. В., Кузнецова К. М., Штрауб Е. А. Разработка измерительного модуля на основе термодатчика Max30205mta+ для оценки теплового состояния организма человека // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: сб. науч. тр. СПб.: ГУАП, 2020. С. 238.

УДК 378.148

Н. А. Соловьев

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Г. В. Преснякова – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ НА УРОВНЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИЛОЖЕНИЯ АДМИНИСТРАТОРА MS SQL SERVER

Представлено разработанное автором приложение по администрированию базы данных SQL Server, которое реализовано на языке C# с использованием windows form. В данном приложении администратор обладает возможностями создавать и удалять учетные записи, присваивать и отнимать роли пользователям, предоставлять и лишать пользователей и групп пользователей прав доступа к конкретным объектам БД (рис. 1).

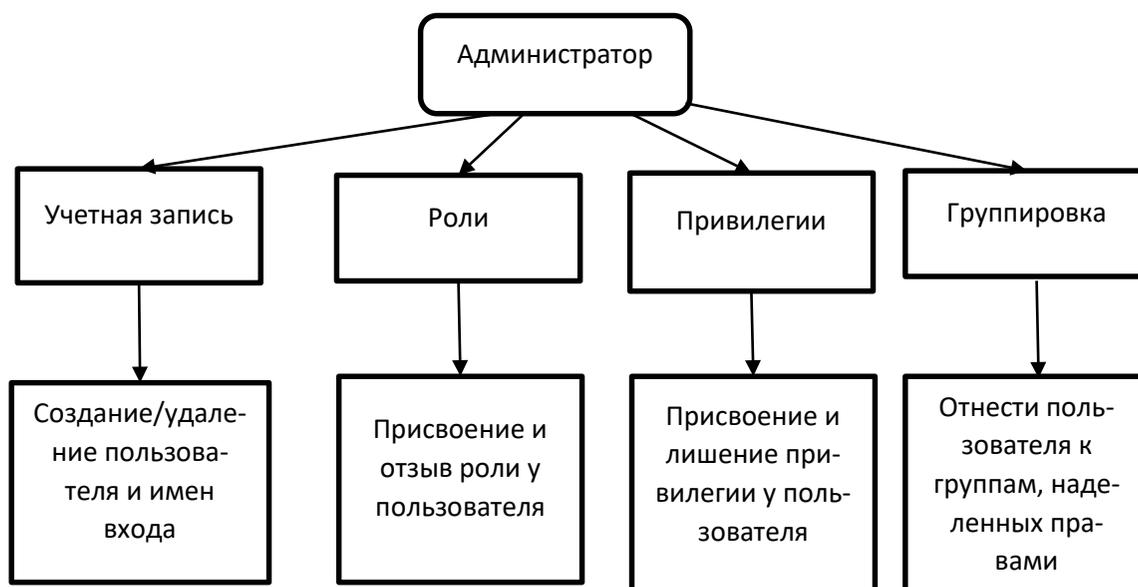


Рис. 1. Функции приложения

Разработанное приложение, обладает полной функциональностью для того, чтобы:

Создавать пользователей и учетные записи для них;

Предоставлять и лишать пользователей существующих ролей, системных и объектных привилегий;

Создавать и удалять группы пользователей;

Включать пользователей в группы и удалять их из групп;

Предоставлять группам и отдельным пользователям разрешения на доступ к объектам базы данных;

Осуществлять отзыв выданных разрешений.

Перечисленные действия может осуществлять только пользователь, обладающий правами системного администратора. Администратор может это делать с помощью интерфейса, предоставляемого средой MSSQLServer или с использованием системных хранимых процедур и операторов Transact-SQL, создав сценарий из набора запросов. Однако эти действия утомительны, длительны по времени даже при небольшом количестве пользователей, а также не исключают ошибок администратора.

Разработанное приложение значительно упрощает и облегчает работу администратора, а также позволяет избежать многих его ошибок.

Приложение реализовано как набор взаимосвязанных форм. Схема приложения показана на рис. 2.

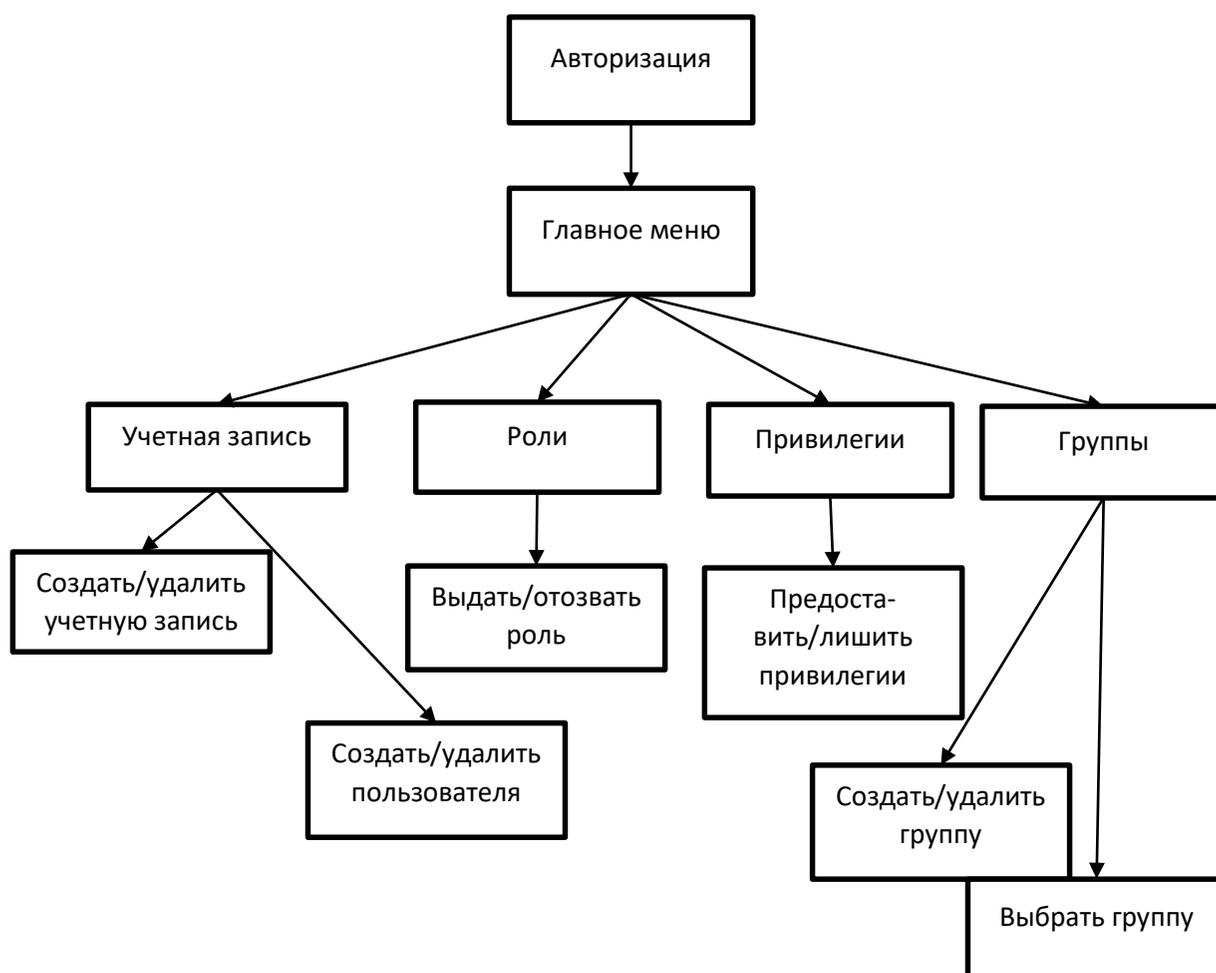


Рис. 2. Схема приложения

Для защиты разработанного приложения при запуске открывается форма для авторизации администратора (рис. 3), в которой необходимо ввести пароль для дальнейшей работы с приложением.

Авторизация — это предоставление определенному лицу или группе лиц прав на выполнение определенных действий; а также процесс проверки (подтверждения) данных прав при попытке выполнения этих действий;

Для лучшей защиты приложения был применен комбинированный способ задания пароля, сочетая графический способ со стандартным способом задания пароля в виде строки символов. Таким образом, пароль состоит из графической части и поля пароля [1].

The image shows a simple graphical user interface for administrator authorization. It features a light gray background. At the top, the text 'Введите пароль' (Enter password) is displayed in a bold, black font. Below this text is a white rectangular input field. At the bottom center of the form is a small, gray rectangular button with the text 'Ok' written on it.

Рис. 3. Форма авторизации администратора

В качестве графической части пароля используется элемент управления на форме — скрытая кнопка, расположенная слева от надписи, без нажатия на которую ввода пароля в строке будет недостаточно, и программа выдаст сообщение о неверном пароле.

На рис. 4 показан фрагмент программы, состоящий из двух проверок введенного пароля. При анализе пароля учитывается также значение строки символов, введенных в поле пароля стандартным способом. По нажатию кнопки ОК осуществляется обработка пароля.

```

if (textBox1.Text == "123")
{
    if (temp == "true")
    {
        Form1 frm = new Form1();
        frm.Show();
    }
    else MessageBox.Show("Неверный пароль или имя пользователя! Попробуйте заново!");
}

else MessageBox.Show("Неверный пароль или имя пользователя! Попробуйте заново!");
}

private void label3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    temp = "true";
}

```

Рис. 4. Фрагмент программы авторизации администратора в приложении

Доступ к базе данных осуществляется благодаря прописанной строке подключения в файле app.config (рис. 5). Это необходимо для того, чтобы программа отправляла в базу данных значения, которые администратор указывал в формах. Полученные значения в базе данных обрабатываются хранимыми процедурами.

```

connectionString="Data Source=NICK-HOME;Initial Catalog=db_name;Integrated Security=True"

```

Рис. 5. Строка подключения к базе данных

```

ALTER PROCEDURE [dbo].[usp_CreateUser]
@Логин NVARCHAR(50),
@Пароль NVARCHAR(50)
AS
BEGIN
    DECLARE @SQL NVARCHAR(2000)
    SET @SQL = ' CREATE LOGIN ' + QUOTENAME(@Логин) + ' WITH PASSWORD = ' + QUOTENAME(@Пароль , ''''') +
        + ' BEGIN
            INSERT INTO Логины (Логин, Пароль) VALUES ('''+@Логин +''','''+@Пароль +''')
        + ' END'
    EXECUTE (@SQL) -- выполняем @SQL
END

```

Рис. 6. Фрагмент хранимой процедуры создания логина

В системные хранимые процедуры и запросы из программы передаются значения параметров, далее они обрабатываются и записываются в таблицы базы данных. Доступ к хранимым процедурам имеет только системный администратор. Это означает, что обычный пользователь не сможет просмотреть, изменить или удалить хранимые процедуры.

MS SQL Server является системой, удовлетворяющей самым жестким требованиям безопасности [2]. При запуске SQL Server проверка прав доступа (аутентификация) проводится на трех различных уровнях.

Первый уровень представляет служба защиты данных Windows, второй – SQL Server (проверка учетной записи), а третий – отдельно взятая база данных (проверка имени пользователя).

Аутентификация — это процесс проверки подлинности учетных записей пользователей, чтобы не допустить использование ресурсов сервера и БД несанкционированными пользователями.

Наиболее применяемый способ подтверждения аутентификации реализуется посредством использования имени пользователя и пароля. Система проверяет достоверность этой информации, чтобы понять, имеет ли данный пользователь право на допуск к системе или нет.

Первое, что нужно сделать при предоставлении привилегий пользователю на информацию, — это создать для него учетную запись, которая будет использоваться для подключения к серверу SQL Server (форма на рис.2). В разработанном приложении существует функция создания логина SQL Server.

Аутентификация в сети Windows (первый уровень) состоит в проверке подлинности пользователя при работе с операционной системой. Регистрируясь в домене Windows, пользователь вводит свое имя (логин) и пароль. Если имя и пароль введены правильно, то пользователь автоматически получает доступ к данным сервера. Такой метод доступа называется доверительным соединением [3].

Операционная система работает с учетными записями (logins), которые содержат все данные о пользователе, такие как его имя, пароль, членство в группах, каталог по умолчанию и пр.

Каждая учетная запись имеет уникальный идентификатор (login ID), иначе называемый идентификатором безопасности (SID, Security Identification), который хранится в системной базе данных Master. С помощью идентификатора безопасности пользователь регистрируется в сети.

Идентификатор — это шестнадцатеричное число, которое генерируется операционной системой случайным образом во время создания учетной записи. Такой подход позволяет избежать подделки учетных записей пользователей.

Если в сети имеется небольшое количество пользователей, то предоставляется доступ каждому из них. А если — много пользователей, то доступ обычно предоставляется группам пользователей. Тогда на уровне домена администратором создается несколько групп пользователей, каждая из которых предназначена для решения своих специфических задач.

Одна и та же учетная запись может быть включена в одну или несколько групп пользователей.

Если пользователь был удален из домена, то даже повторное создание учетной записи пользователя не дает возможности получить доступ к объектам, к которым ранее имел доступ тот же пользователь. Таким образом, никто не сможет присвоить права удаленного пользователя.

Если пользователь не зарегистрирован в домене Windows, то он должен быть зарегистрирован в SQL Server.

На уровне сервера (второй уровень) система безопасности оперирует следующими понятиями:

- аутентификация пользователя,
- учетная запись (*login*),
- встроенные роли сервера (*fixedserverroles*).

Пользователь, для которого была создана учетная запись, может соединиться с сервером. Однако он не получает автоматически доступ ко всем базам данных. Доступ к конкретной базе данных пользователь получает, пройдя аутентификацию на третьем уровне. Получив доступ к конкретной базе данных, пользователь не получает доступ ко всем ее объектам. Ему должны быть предоставлены разрешения на доступ к конкретным объектам базы данных.

Для создания учетной записи используется хранимая процедура `sp_addlogin`.

Преимущество у логина SQL Server состоит в следующем.

Часто на предприятиях администрированием SQL Server и домена Windows занимаются разные люди, которым сложно согласовывать свои действия. В этом случае целесообразно создавать пользователей с правами администратора. Чтобы это сделать, нужно воспользоваться серверными ролями. Набор фиксированных ролей сервера строго ограничен и может быть получен с помощью системной хранимой процедуры `sp_helpsrvrole`. Для добавления учетной записи в ту или иную фиксированную роль сервера используется системная хранимая процедура `sp_addsrvrolemember`.

Логины SQLServer позволяют администратору SQLServer быть независимым от домена.

На предприятии вполне может не оказаться домена Windows (если, например, сеть построена на основе NetWare или Unix).

Пользователи SQLServer могут не входить в домен (например, если они подключаются к SQLServer из филиалов или через Web-интерфейс с домашнего компьютера).

В разработанном приложении создается имя входа в базу данных, после чего выбрав режим аутентификации **SQLServerandWindowsAuthentication** (Режим аутентификации SQL Server и Windows) – в этом режиме можно использовать оба типа логинов – и логины SQL Server, и логины Windows. Другое название этого режима – Mixedmode (Смешанный режим).

На уровне базы данных (уровень 3) система безопасности оперирует понятиями [4]:

- пользователь базы данных,
- фиксированные роли базы данных,
- пользовательские роли базы данных,
- роли приложения.

Такой многоступенчатый подход позволяет более гибко управлять доступом к данным.

Для получения информации о фиксированных ролях базы данных используется системная хранимая процедура *sp_helprole*.

Добавление членов в фиксированную роль выполняется с помощью процедуры *sp_addrolemember*.

Удаление члена из роли осуществляется процедурой *sp_droprolemember*.

Для работы с фиксированными ролями БД служит форма «Выдать/отозвать роль» на рис.2.

Пользовательские роли служат для группировки пользователей с целью облегчения управления их правами доступа к объектам базы данных.

Создание пользовательской роли (группы пользователей) осуществляется процедурой *sp_adrolemember* с помощью формы указать имя на рис. 2.

Добавление пользователя в роль (группу) осуществляется процедурой *sp_addrolemember*. Исключение пользователя из роли (группы) осуществляется процедурой *sp_droprolemember*

Удаление пользовательской роли (группы) осуществляется процедурой *sp_helprole*.

Для работы с пользовательскими ролями служит форма указать имя на рис. 2.

Просмотр списка членов фиксированной роли и всех ролей осуществляется с помощью системной хранимой процедуры *sp_helprolemember*.

Для управления правами доступа к объектам базы данных используются операторы *Grant*. Отмена выданных объектных прав осуществляется оператором *Revoke*.

Аннулирование выданных объектных прав осуществляется оператором *Deny* [4].

Пример

Пусть на сервере имеется база данных. Рассмотрим ее фрагмент, состоящий из трех взаимосвязанных таблиц: Поставщики, Сотрудники и Товары.

Требуется с помощью разработанного приложения создать пользователя с правами администратора (Администратор 1), четырех пользователей и две группы, в которые включит пользователей, как показано на рис. 7.

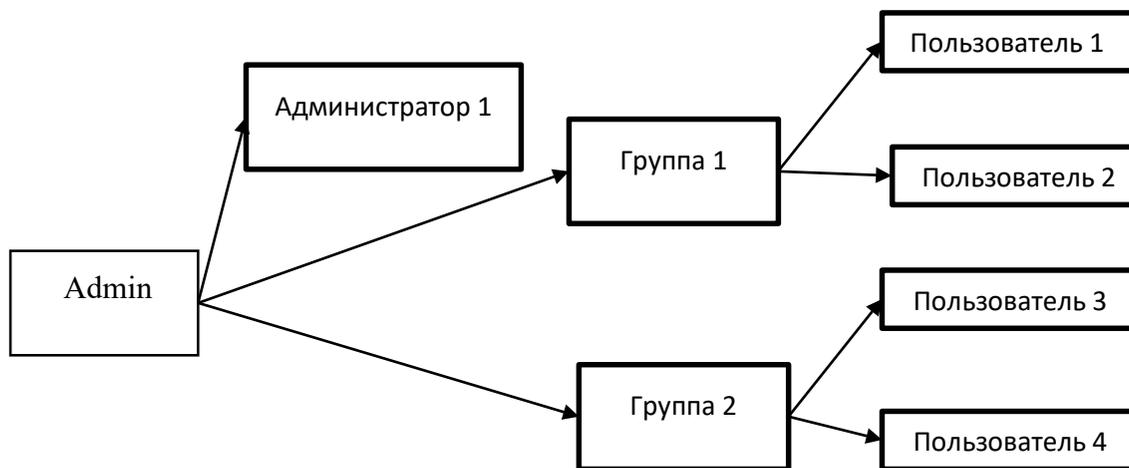


Рис. 7. Дерево пользователей

Администратору 1 будет выдана роль, дающая право на просмотр всех таблиц фрагмента базы данных. Также ему будет предоставлена привилегия, дающая право удалять записи из таблицы «Товары».

Четыре пользователя будут поделены на 2 группы. Группа 1 будет обладать разрешениями: читать и добавлять записи в таблицу «Товары», читать данные из таблицы «Сотрудники» и доступ к хранимой процедуры по созданию пользователя. Группа 2 будет обладать разрешениями: обновлять и удалять данные из таблицы «Поставщик».

Для примера был взят пользователь с именем «Администратор 1» и именем входа «администратор 1». Пользователю выдалась роль «db_datareader». Для этого использовалась форма «Выдать/отозвать роль».

Следующим шагом было предоставление права удалять таблицу «Товары». Для этого использовался оператор Grant и использовалась форма «Предоставить/ лишить привилегии».

Так же были взяты пользователи с именами «Пользователь 1-4» использовалась форма «создать/удалить пользователя» на рис. 2, с помощью которой это было сделано и именами входа «пользователь1-4» для распределения их по группам» использовалась форма «выбрать группу» на рис. 2.

Библиографический список

1. Соловьев Н. А., Преснякова Г. В., Шаранова О. М. Анализ систем безопасности баз данных в среде Access // Научная сессия ГУАП: сб. докл. в 3 ч. Ч. 1: Техн. науки. СПб.: ГУАП, 2019. С. 247–254.
2. Петкович Д. Microsoft SQL Server 2012: рук. для начинающих. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. С. 816.
3. Преснякова Г. В., Барклаевская Н. В., Шаранова О. М. Работа с базами данных в среде Microsoft SQL Server 2012: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2016. 163 с.
4. Мамаев Е. Ю., Шкарина Л. Microsoft SQL Server 2000 (для профессионалов). СПб.: Питер, 2001. С. 1277.

УДК 519.876.5

В. С. Уткин

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Н. И. Синев

инженер

В. Л. Оленев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОММУТАТОРА SPACE WIRE ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ВОЗМОЖНОСТИ ОТЛАДКИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОТОКОЛОВ ПОВЕРХ SPACE WIRE

Space Wire — сеть обработки данных для использования на борту космических кораблей, соединяющая воедино приборы, память, процессоры, телеметрию и другие бортовые подсистемы. С момента публикации стандарта в 2003 году, он был принят космическими агентствами Европы (ESA), Японии (JAXA), США (NASA) и России (Роскосмос) [1]. Исходя из довольно «специфичной» сферы использования данной сети, следует острая необходимость в создании имитационной модели, которая будет способна значительно упростить процесс создания новых космических кораблей и других устройств.

У любой имитационной модели можно выделить ряд положительных сторон:

- возможность отладить и испытать ПО для устройства, не уменьшая ресурс его железной части,
- дешевизна, по сравнению с затратами на многие электронные компоненты, цена которых бывает весьма велика,
- возможность воссоздать условия, которые не доступны по каким-либо причинам.

И эти доводы толкают нас на создание той самой имитационной модели Space Wire. Поскольку, оборудование, работающее на протоколе Space Wire, очень дорогое, и это непозволительная роскошь переводить его ресурс на написание и отладку ПО. Так же мы не имеем возможности каждый раз отправлять готовое устройство в космос, но благодаря более усовершенствованной модели можно смоделировать космические условия и провести испытания на такой модели.

Благодаря имитационной модели коммутатора Space Wire, нам открывается возможность легче разрабатывать, отлаживать и настраивать работу бортовой системы, не прибегая к большому количеству дополнительного оборудования. Принципы межуровневого взаимодействия, положенные в основу Space Wire, несколько отличаются от эталонной модели OSI [2]. Протокол Space Wire охватывает три нижних уровня модели OSI (сетевой уровень, канальный уровень и физический уровень), в свою очередь эти уровни разделяются еще на шесть подуровней (сетевой уровень, уровень пакета, уровень обмена, символьный уровень, сигнальный уровень и физический уровень), но при этом протокол не охватывает транспортный уровень.

Исходя из выше сказанного моделирование будет вестись на сетевом уровне, ведь это даст возможность отлаживать различные транспортные протоколы, работающие поверх Space Wire (RMAP, СТП-ИСС и др.).

В последствии, рассматривается возможность загрузки данной программной модели на одноплатный компьютер (например, RaspberryPi) или на обычный потребительский коммутатор (работающий на Open WRT [3] с имитационной моделью коммутатора Space Wire), запустить и подключить через переходники необходимые для тестирования платы, это позволит нам благодаря данному коммутатору построить рабочую демонстрационную сеть с минимальными затратами и полезным «выхлопом», отлаживая ее работу. Но если нет доступа и возможности подключиться к реальному железу, тогда на основе имитационной модели коммутатора можно составить подобную сеть в рамках одного компьютера, с виртуальными узлами, коммутатором и каналом.

Тогда схематично можно представить, как будет выглядеть данная сеть в упрощенном виде. Будет она состоять из следующих элементов: 2 терминальных узла (ТУ), 2 канала передачи данных и 1 Space Wire коммутатора. Принцип работы довольно прост, 1-й узел отправляет пакет в канал, из канала пакет попадает в коммутатор, после этого коммутатор, согласно данным из таблицы маршрутизации, перенаправляет пакет на нужный узел, пакет вновь попадает в канал и уже приходит в узел.

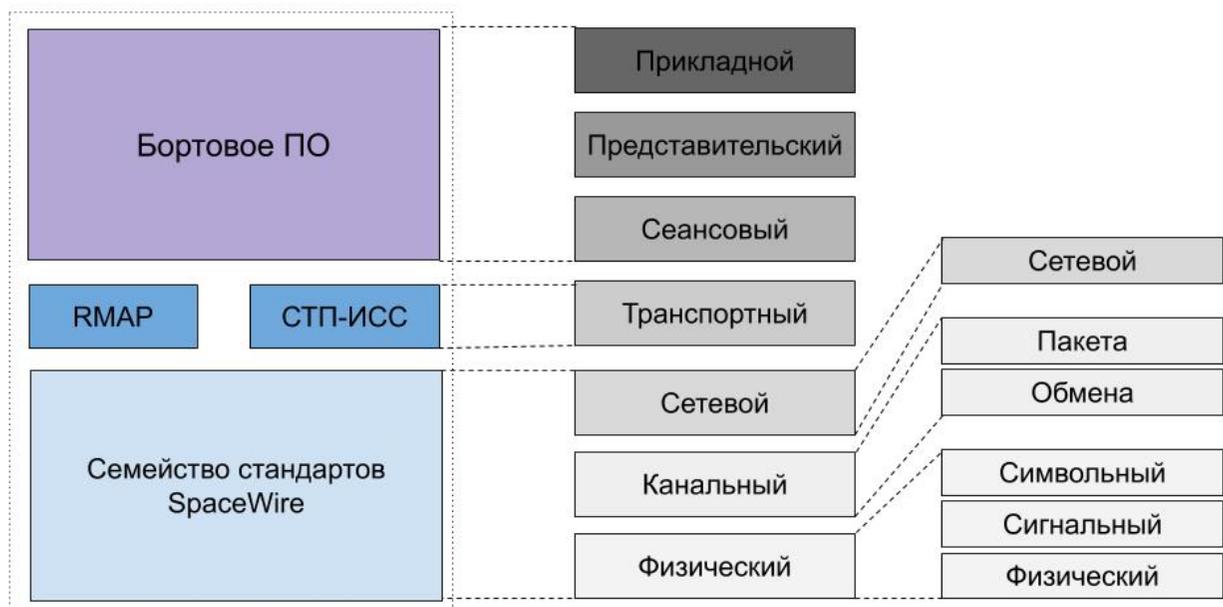


Рис. 1. Соотношение сетевой модели OSI и SpaceWire

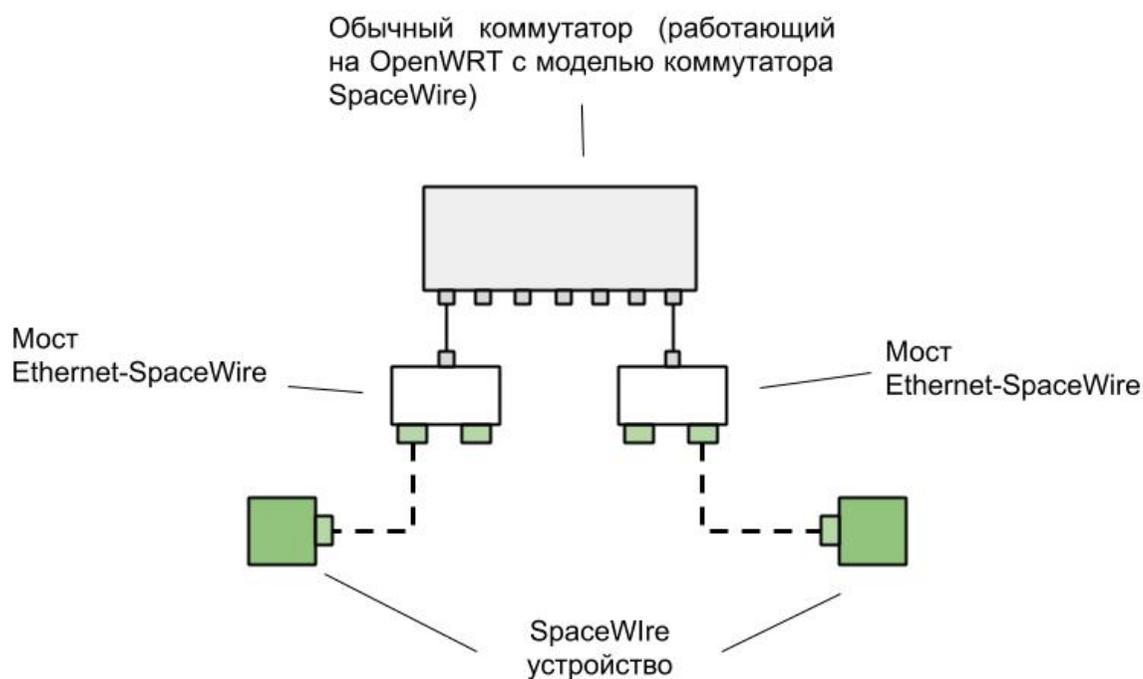


Рис. 2. Схема сети с обычным коммутатором

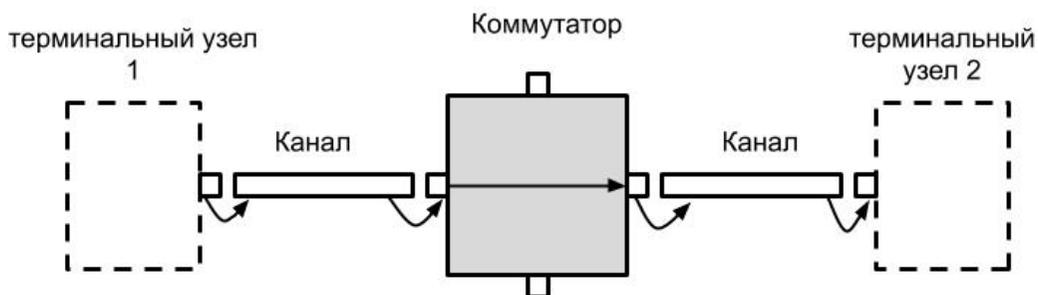


Рис. 3. Схема работы сети

В коммутаторах Space Wire используются метод маршрутизации, называющийся «Червячная маршрутизация» (wormhole routing) [4]. Суть метода такова, что как только заголовок пакета поступает во входной порт коммутатора пакет сразу перенаправляется и начинается сквозная передача потока символов пакета в выходной порт, без промежуточной буферизации и хранения. Отсюда вытекает ряд преимуществ: отсутствие буферизации пакетов, отправка пакетов произвольного размера и быстрота.

Разработка модели будет происходить средствами ОС Linux. Для реализации будет использоваться механизм Сокетов [5]. Так как сокеты более просты в реализации, и с ними возникнет меньше проблем чем, например, с Очередью сообщений, которая сложнее в понимании и где могут иногда возникать проблемы с совпадением идентификаторов очередей, табл. 1.

Таблица 1

Сравнение Сокетов с Очередью сообщений

СОКЕТЫ	ОЧЕРЕДЬ СООБЩЕНИЙ
+ простота + быстрота	-сложнее -возможны проблемы с идентификатором

По средствам сокетов пакет с данными отправится в канал. В идеале в реализации канала должна быть реализована возможность задавать скорость передачи данных и возможность намеренно внедрять ошибки, для дальнейших экспериментов и отладки работы всей сети. В канале пакет данных разбивается на части. Из формата пакета видно, что в его начале находится «Адрес назначения», который будет представлять из себя идентификатор терминального узла получателя, а в конце «EOP» (End of Packet) или «Конец пакета» значит, что символ данных, следующий за EOP, является началом следующего пакета. Далее из канала пакет данных попадает в коммутатор. Основная задача коммутатора – это соединение и перенаправление пакетов данных терминальному узлу или устройству. Значит исходя из «Адреса назначения» содержащегося в пакете данных, коммутатор будет понимать кому и на какой адрес необходимо направить пакет. Так же если байт адреса поврежден, это будет означать весь пакет теряется, и данные дальше не распространяются. Коммутатор должен будет удалить этот пакет. В коммутаторе хранится таблица маршрутизации, которая используется для преобразования адреса получателя в начале пакета в номер порта, через который будет отправлен пакет [1]. После успешного перенаправления пакет попадает канал и уже передается узлу, рис. 4.



Рис. 4. Формат пакета SpaceWire

Вывод

Разработанная имитационная модель коммутатора SpaceWire, сможет облегчить разработку новых бортовых систем, обеспечит возможность отладки и написания новых программных протоколов. Данная имитационная модель находится на стадии активного тестирования, отладки и доработки.

На момент написания статьи была разработана и активно тестировалась часть программной модели, способная передавать пакет от одного узла к другому. В дальнейшем планируется запускать модель коммутатора на железе (например, в составе прошивки Open WRT, которую можно установить на широкий список потребительских коммутаторов. Подключая данный коммутатор к переходнику Ethernet-Space Wire можно собрать сеть с реальными Space Wire устройствами).

Библиографический список

1. *Parkes S.* SpaceWire User's Guide, 2012. URL: https://www.star-dundee.com/wp-content/star_uploads/2019/05/SpaceWire-Users-Guide.pdf (дата обращения: 15.03.2020).
2. *Шейнин Ю., Солохина Т., Петричкович Я.* Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределительных комплексов // *Электроника: наука, технология, бизнес.* 2006. № 5. С. 64–75.
3. Знакомство с Open WRT. URL: <https://open-wrt.ru/page/znakomstvo-s-openwrt> (дата обращения: 15.03.2020).
4. *Simpson M., Thompson P. W.* DS Links and C104 Routers // *Networks, Routers and Transputers: Function, Performance and Applications* / eds by M. D. May, P. W. Thompson, P. H. Welch, INMOS, IOS Press, 1993. URL: <http://www.classiccmp.org/transputer/documentation/inmos/bluebook/intro.pdf> (дата обращения: 15.03.2020).
5. *Tanenbaum A. S., Bos H.* MODERN OPERATING SYSTEMS. 4th ed. Pearson, 2015. P. 1137.

УДК 004.724

М. С. Фалеева

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Н. Ю. Чумакова

инженер

В. Л. Оленев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА СЕРВИСА «ПЛАНИРОВАНИЕ» В КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛАХ

Подходы к реализации качества сервиса «Планирование»

Выбор способа обеспечения качества сервиса «планирование» является очень сложным, так как каждый алгоритм планирования обладает как преимуществами, так и недостатками. В связи с тем, что трафик и, как следствие, качество его обслуживания является разнородным, очевидно наличие приоритетов при его обслуживании. Существуют разные протоколы и разная аппаратура, обеспечивающая обмен информацией между источником и приемником, которая отличается своими характеристиками. Часто аппаратура не обладает должными характеристиками для обеспечения сообщения, в силу совместимости с остальными компонентами сети, поэтому в протоколах существуют качества сервиса, в том числе и планирование. Если аппаратура не может обеспечить какое-либо качество сервиса, например гарантированную отправку или защитить от повреждения кадров – этим занимается протокол.

Рассмотрим некоторые алгоритмы и подходы, используемые в различных протоколах для обеспечения качества сервиса «планирование».

1. Flowcontrol

В протоколе TCP реализована функция «управления потоком» (flowcontrol), позволяющая настраивать скорость поступления данных в буфер приемника в зависимости от скорости передачи данных прикладному уровню. Управление скоростью, на которой данные поступают в буфер приемника осуществляется путем уменьшения (throttling) скорости передачи сегментов передатчиком.

Размер окна приемника – это количество данных, которое приемник может принять подряд. Оно зависит от размера буфера и определяется следующим образом:

$$RcvWindowSize = RcvBuffer - [LastByteRcvd - LastByteRead],$$

где RcvWindowSize – размер окна приемника, RcvBuffer – размер буфера приемника, LastByteRcvd – последний принятый байт, LastByteRead – последний прочитанный байт.

В связи с тем, что разность переменных, вычисляемая в квадратных скобках, постоянно изменяется, значение размера окна приемника также является переменной. Приемник должен информировать источник о размере остаточной разности, т. е. о том, сколько места свободно в буфере в определенный момент времени. Практически это реализуется следующим образом: приемник в каждом сегменте подтверждения в поле «размер окна приемника» посылает значение параметра RcvWindowSize. Изначально, во время установления соединения, приемник устанавливает значение RcvWindowSize, равное размеру буфера RcvBuffer [2].

2. Алгоритм RoundRobin

RoundRobin (RR) – циклический алгоритм, реализующий качество сервиса «планирование». В ходе выполнения данного алгоритма для каждого потока из множества потоков формируется отдельный временной интервал. При этом, потоки во временных интервалах не должны повторяться и использовать общие каналы. Планирование происходит до тех пор, пока все потоки трафика не будут использованы. Этот алгоритм обладает существенным недостатком, делающим его непригодным для реализации в реальном оборудовании – RR не обеспечивает принцип «справедливого распределения ресурсов» для случаев, когда пакеты имеют переменную длину [3]. На рис. 3 представлена схема работы алгоритма.

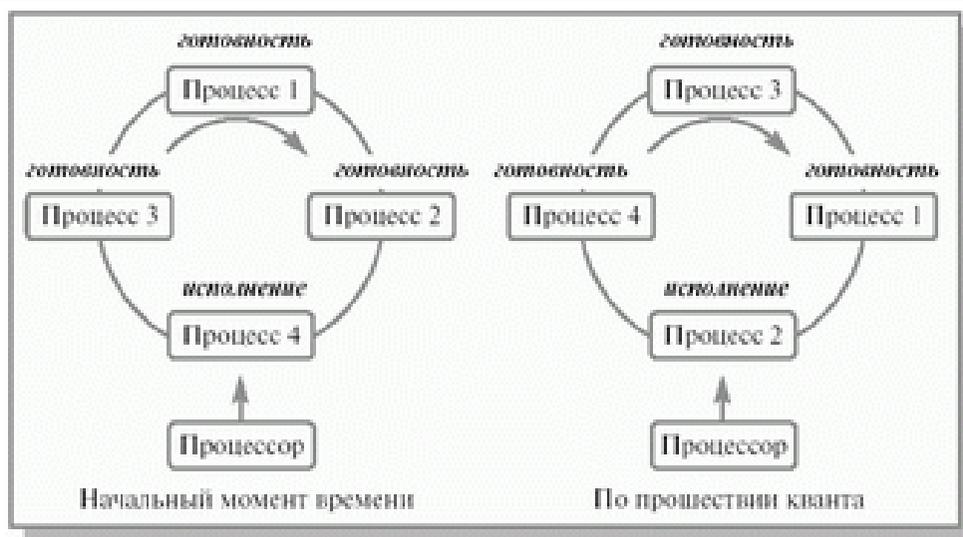


Рис. 1. Схема работы алгоритма RoundRobin

3. Алгоритм DeficitRoundRobin

DeficitRoundRobin (циклическая очередность с дефицитом времени, DRR) – это модификация алгоритма RR для пакетов переменной длины. Принцип работы DRR идентичен RR, за исключением того, что обслуживаемые пакеты имеют переменную длину. В связи с этим, в алгоритм DRR добавлена функция накопления квантов выделяемого процессорного времени.

Например, если некоторой очереди выделено определенное количество процессорного времени для обработки находящегося в ней пакета, но пакет слишком длинный и требует большего кванта процессорного времени, то данный пакет не передается на обслуживание, а в следующий раз, при обращении планировщика к этой очереди, квант выделяемого времени суммируется с неиспользованным – таким образом могут быть обслужены пакеты любой длины [2].

4. Алгоритм GPS

GPS (Generalized Processor Sharing) – это непрерывно работающий алгоритм разделяет пропускную способность между потоками. Является идеальной моделью, обеспечивающей в непрерывном времени принцип «справедливого распределения ресурсов» в соответствии с критерием max-min (пропускная способность для каждого потока должна быть как минимум равна пропускной способности каждого другого потока, проходящего через тот же критически ресурс) для классов трафика с различными требованиями по качеству обслуживания. Алгоритм обеспечивает обработку всех потоков независимо друг от друга.

Дополнительно для реализации принципа «справедливой буферизации на уровне пакетов» алгоритм GPS для каждого поступающего в маршрутизатор пакета предполагает вычисление значения параметра «время окончания обслуживания» (finishedtag). Каждый раз, когда заканчивается обслуживание некоторого пакета, планировщик передает на обслуживание следующий пакет с наименьшим значением параметра «время окончания обслуживания» из некоторой очереди. Отметим, что анализируются только пакеты, стоящие первыми на обслуживание в каждой из очередей, называемые HOL (Head-Of-Line) пакетами [2].

5. Алгоритм PGPS

PGPS (Packet-by-packet Generalized Processor Sharing) – аналог алгоритма GPS, модифицированный по времени.

Пусть F_p будет временем, когда пакет p будет отправляться при обобщенном совместном использовании процессора. Тогда очень хорошим приближением GPS будет схема сохранения работы, которая обслуживает пакеты в порядке возрастания F_p . (рассматривается условие, когда сервер всегда занят, и в системе есть не обработанные пакеты) [4].

6. Алгоритм WFQ

Из-за невозможности реализации алгоритма GPS в реальной аппаратуре – создана достаточно точная аппроксимация данного алгоритма, называемая WFQ (WeightedFairQueuing) «взвешенная

справедливая буферизация».

Отличие реализации от самого алгоритма GPS состоит в том, что вместо вычисления «времени окончания обслуживания», WFQ использует подход вычисления значения функции «виртуальное время GPS», где отображается скорость, с которой обслуживаются «бэклог-потoki» (непустые, необслуженные потоки) [2].

7. Алгоритм VirtualClock

В данном алгоритме обеспечение скорости и мультиплексирования выполняется с использованием механизма, известного как виртуальные часы. Виртуальные часы также используют концепцию виртуального времени, как и рассмотренный ранее алгоритм GPS. Но, в отличие от GPS, виртуальные часы существуют для каждого потока независимо. Если поток отправляет пакеты в соответствии со своей средней скоростью – он помечается штампом времени и помещается в очередь обслуживания, общую для всех потоков [5].

8. Таблица расписаний

Транспортный протокол СТП-ИСС, разработанный для использования в сетях Spice Wire, поддерживает такие механизмы качества сервиса как «С приоритетом» «Гарантированная доставка данных», «Негарантированная доставка данных» и «Планирование». Механизм планирования реализован абсолютно новым способом среди всех механизмов. Планирование осуществляется с помощью таблицы расписания. На рис. 2 представлена таблица. Для протокола со включенным «планированием» создается единое расписание в виде таблицы. Как видно на рисунке таблица разбита на узлы по вертикали и на тайм-слоты, разрешенные для отправки, по горизонтали. Одна подобная таблица описывает одну временную эпоху. Узел имеет право отправлять данные только в течение временных интервалов, на которых узел запланирован на отправку. Время доставки всех пакетов всех трафиков не превышает максимально допустимую задержку, заданную пользователем для каждого трафика. Входными параметрами для метода являются: параметры трафиков; макс. количество тайм-слотов; макс. длительность; шаг времени между тайм-слотами; макс. загрузка каналов в процентах; запас размера пакета. В основе расписания лежит концепция ГА и поиска с возвратом. Результатом работы данного метода являются таблицы расписания, рекомендации, длительности рассчитанной эпохи и др. [3]

Узлы	Таблица расписаний номера тайм-слотов, разрешенные для отправки узлам							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Узел 0								
Узел 1								
Узел 2								
Узел 3								
Узел 4								
Узел 5								

Рис. 2. Таблица расписания для протокола СТП-ИСС

Другими словами, существует таблица, которая заполняется пакетами в соответствии со спецификацией протокола, и пакеты отправляются по сети раз в эпоху, заданную протоколом.

**Сравнительный анализ алгоритмов,
реализующих качество сервиса «планирование»**

Данная таблица отображает сравнительный анализ подходов и алгоритмов, используемых для реализации качества сервиса «планирование».

Сравнительный анализ

	Применение	Достоинства	недостатки
Flow control	Сеть интернет	Простота.	Использование вычислений в алгоритме «управление потоком» – значительно снижает темп передачи пакетов, так как сами вычисления представляют собой определенные задержки, что плохо сказывается на передаче трафика.
Round Robin	Сервер DNS	Фактическая возможность осуществления в системе, поскольку нет зависимости от времени пакета. Отсутствует проблема возможного голодания.	Все работы получают распределение ресурсов процессора. Чем выше квант времени, тем выше время отклика в системе. Чем меньше квант времени, тем выше издержки переключения контекста в системе. Выбор идеального кванта времени – действительно очень сложная задача в системе.
DRR	Сети Ethernet	Функция накопления квантов выделяемого времени процессора позволяет обрабатывать пакеты любой длины. Простота реализации. Более точное выделение полосы при разбросе размеров пакетов в очередях.	Относительно стабильная по скорости передачи работа алгоритма имеет большое время обслуживания за счет суммирования времени обслуживания больших пакетов [7].
GPS	теоретическое	Идеальная модель разделения ресурсов.	Алгоритм GPS в реальном оборудовании реализовать невозможно.
WFQ	WiMax сети	Значение функции «виртуального времени gps» возможно вычислять в момент поступления пакета в очередь. Пакеты обслуживаются поочередно в соответствии со значением этой функции. В процессе функционирования необходимо лишь обновлять значение этой функции.	Накладные расходы, связанные с хранением и управлением множества значений необходимого для обновления значения функции «виртуальное время GPS».
Virtual Clock	Беспроводные сенсорные сети	Обеспечивает равные или меньшие задержки, чем WFQ. Вычисления параметров временной метки не зависят от поведения конкурирующих потоков.	При возникновении задержек отправки пакетов узлами, штампы виртуального времени будут отличаться от реального, что повлечет за собой серьезное увеличение задержки.
Новый метод	Бортовые сети	Таблица расписания имеет интуитивно понятный интерфейс и принцип работы, что упрощает задачи пользователя, перманентен во времени и имеет достаточно высокую скорость передачи трафика. При этом каждый раз метод «ищет» наиболее оптимальное решение для расстановки пакетов и установки длительности эпохи путем расчетов, учитывая приоритеты пакетов, что позволяет избавиться от утери пакетов.	

Основываясь на этом анализе, можно сделать вывод, что новый метод планирования имеет большое преимущество перед другими алгоритмами по ряду причин, что подчеркивает актуальность использования протокола СТП-ИСС14 в бортовых сетях.

Библиографический список

1. *Коробков И. Л.* Метод планирования канальных ресурсов в бортовых сетях SpaceWire с технологией TDMA // Радиопромышленность. 2019. № 29 (4). С. 44–53.
2. *Кучерявый Е. Ф.* Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. СПб.: Наука и техника, 2004. 336 с.
3. *Коробков И. Л., Чумакова Н. Ю.* Алгоритм построения таблицы расписания для транспортного протокола СТП-ИСС // Сб. тр. Науч. сессии ГУАП. 2019. С. 198–204.
4. *Abhay Kumar J. Parekh A* Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control In Integrated Services Networks // IEEE/ACM transactions on networking. 1993. Vol. 1, № 3. P. 334–357.
5. *Padmanabhan S., Chellamuthu C.* Virtual clock scheduling algorithm for video streaming // International Journal of Computer Theory and Engineering. 2009. Vol. 1, № 5. P. 509–514.
6. Round Robin Algorithm. URL: <https://ru.bmstu.wiki/Round-robin> (дата обращения: 01.04.2020).
7. *Иванов Ю. А., Пастухов А. С., Бургар А. С.* Сравнительный анализ алгоритмов обслуживания очередей на качество передачи видеотрафика // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2008. № 1–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-algoritmov-obsluzhivaniya-ocheredey-i-ih-vliyanie-na-kachestvo-peredachi-videotrafika>. (дата обращения: 01.04.2020).

УДК 004.94

К. Д. Филиппов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Е. Степанов

инженер

В. Л. Оленев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛОВ

Коммуникационным протоколом называют совокупность правил, регламентирующих формат и процедуры обмена информацией между двумя или несколькими независимыми устройствами, компьютерами, программами или процессами. Протокол определяет временные характеристики сигналов и структуру передаваемых данных. Сетевые протоколы определяют также и правила взаимодействия устройств в составе сети [1].

Разработка коммуникационных протоколов является трудоемкой задачей, состоящей из нескольких этапов, начиная от концептуального проектирования протокола и заканчивая сбором устройства, работающего по заданному протоколу. Для подтверждения правильности выбора тех или иных решений в процессе разработки, поиска ошибок в спецификации может быть использовано программное моделирование. В процессе спецификации модель может быть использована для проверки корректности работы протокола с функциональной точки зрения, выявления необходимых аппаратных ресурсов. В процессе верификации создается модель, позволяющая проверить, удовлетворяет ли заданная модель формальным спецификациям. В процессе тестирования устройств проводятся тесты реально воспроизведенных систем на платах при помощи точной компьютерной модели, описывающей стандарт в соответствии с его спецификацией [1]. Этот метод позволяет провести окончательную проверку спецификации, протестировать алгоритмы и работу системы.

Целью данной статьи является обзор и анализ программных средств разработки коммуникационных протоколов, их сравнение и поиск того средства, которое будет наиболее подходящим и удобным для использования разработчиками при построении моделей.

Предлагаю разделить существующие программные средства по способу моделирования на три типа:

1. Моделирование с помощью CAD;
2. Моделирование с помощью специализированных языков;
3. Моделирование с помощью высокоуровневых языков и библиотек для высокоуровневых языков.

Моделирование с помощью CAD

CAD (САПР – Система автоматизированного проектирования) – это система, сочетающая аппаратную и программную платформу, используемую для разработки и документации физических объектов.

OPNET Modeler – программная система имитационного моделирования, ориентированная на сети связи, которая позволяет строить модели без программирования. Система генерирует модель сети на основе исходных данных о ее топологии, используемых протоколах, об интенсивности потоков запросов между компьютеров сети, протяженности линий связи, о типах используемого оборудования приложений.

Программа OPNET Modeler предоставляет графический интерфейс для создания и выполнения событийного моделирования сетей связи. Это ПО может быть использовано для решения многих задач. Среди них – проверка протоколов связи, анализ взаимодействия протоколов, оптимизация и планирование сети [2].

По окончании моделирования пользователь получает в свое распоряжение следующие характеристики производительности сети: прогнозируемые задержки между конечными и промежуточными

узлами сети, пропускные способности каналов, коэффициенты использования сегментов, буферов и процессоров; пики и спады трафика как функцию времени; источник задержек и узких мест сети.

SANDS – система автоматизированного проектирования для сетей SpaceWire, поддерживающая проектирование сети и симуляцию, начиная от автоматической генерации ее топологии и заканчивая получением результатов симуляции и сбором статистики. Особенности SANDS является наличие возможности проводить анализ проектируемой сети на отказоустойчивость, маршрутизация данных, исключающая взаимные блокировки, создание таблиц планирования, при которых время доставки всех пакетов для всех трафиков не будет превышать максимальную допустимую задержку, определенную пользователем [3].

Моделирование с помощью специализированных языков

Специализированным языком является язык программирования, ориентированный на решение определенного круга задач.

SDL – язык спецификации с формальной семантикой. Предназначен для получения недвусмысленного описания поведения реактивных и распределенных систем.

SDL предоставляет как графическое представление *Graphic Representation (SDL/GR)*, так и текстовое *Phrase Representation (SDL/PR)*, являющиеся полностью эквивалентными представлениями семантики. Модели обычно отображаются в графической форме SDL/GR, а SDL/PR используется преимущественно для обмена моделями между утилитами. Система представляет собой набор конечных автоматов, выполняющихся параллельно [4]. Все автоматы независимы и взаимодействуют при помощи посылки дискретных сигналов. Структура SDL-системы представлена на рис. 1.

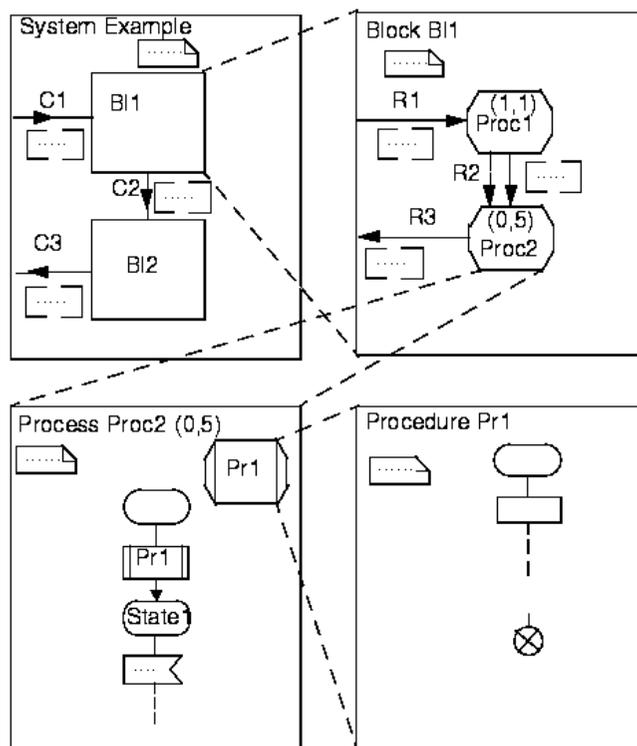


Рис. 1. Средства описания структуры

Estelle – формальная методика описания, разработанная в рамках ISO, для формальной спецификации распределенных параллельных систем обработки информации. Estelle можно рассматривать как набор расширений к ISOPascal, которые моделируют систему как иерархическую структуру автоматов, которая может работать параллельно и связываться путем обмена сообщениями или переменными.

GPSS (GeneralPurposeSimulationSystem) – язык моделирования, используемый для имитационного моделирования различных систем, в основном систем массового обслуживания. Модель (программа) на языке GPSS представляет собой последовательность операторов (их называют блоками),

отображающих события, происходящие в системе массового обслуживания (СМО) при перемещениях транзактов (абстрактных объектов, которые перемещаются между статическими элементами, воспроизводя различные события реального моделируемого объекта). Поскольку в интерпретаторах GPSS реализуется событийный метод и в СМО может быть одновременно много транзактов, то интерпретатор будет попеременно исполнять разные фрагменты программы, имитируя продвижения транзактов в текущий момент времени до их задержки в некоторых устройствах или очередях.

Моделирование с помощью высокоуровневых языков и библиотек для высокоуровневых языков

Высокоуровневым языком программирования называется язык, средства которого обеспечивают описание задачи в наглядном, легко воспринимаемом виде, удобном для программиста. Он не зависит от внутренних машинных кодов ЭВМ любого типа, поэтому программы, написанные на языках высокого уровня, требуют перевода в машинные коды программами транслятора либо интерпретатора.

Python – популярный язык программирования, используемый как для разработки самостоятельных программ, так и для создания прикладных сценариев в самых разных областях применения [5]. Несмотря на широкий набор возможностей, предоставляемый стандартной библиотекой языка, существуют и специальные библиотеки для моделирования, такие как Sim Py и Mod Sim Py.

C++ – компилируемый, статически типизированный язык программирования общего назначения, поддерживающий большинство современных парадигм программирования. Язык имеет богатую стандартную библиотеку и широко используется для разработки программного обеспечения. SystemC – это C++ библиотека, которая используется для моделирования параллельных систем. Она дает возможность реализовать распределенное во времени моделирование за счет работы с событиями и сигналами времени. SystemC является подходящим языком для спецификации, моделирования, проектирования и верификации систем [1].

Сравнение программных средств моделирования

Сравнительный анализ по таким критериям, как расширяемость (насколько легко вносить новые протоколы и конфигурации сети), поддерживаемость и способ распространения представлен в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение программных средств моделирования

Средство моделирования	Расширяемость	Поддерживаемость	Способ распространения
OPNETModeler (Riverbed Modeler)	Требуется работа с библиотеками протоколов, написанных на языке C или C++ [6].	Поддерживается компанией Riverbed.	Коммерческое, есть академическая версия для обучения.
SANDS	Система адаптирована под добавление новых протоколов, но с некоторыми ограничениями [3].	ВКИСТ ГУАП	Коммерческое
SDL	Новые протоколы могут быть добавлены в соответствии с их спецификацией.	Последняя версия стандарта языка выпущена в 2016 году [7].	Есть коммерческие и свободно распространяемые инструменты моделирования.
ESTELLE	Новые протоколы могут быть добавлены в	Был стандартизован в 1989 году, с тех пор не обновлялся [8].	Есть коммерческие и свободно распространяемые

Средство моделирования	Расширяемость	Поддерживаемость	Способ распространения
	соответствии с их спецификацией.		инструменты моделирования.
GPSS	Новые протоколы могут быть добавлены в соответствии с их спецификацией.	Новые версии сред разработки выпускаются регулярно.	Коммерческие инструменты моделирования, есть академические версии.
Python(SimPy)	Требуется написания кода на языке Python.	Поддерживается, последняя версия 3.0.7 (1 марта 2015).	Распространяется свободно.
C++(SystemC)	Требуется написания кода на языке C++.	Поддерживается, последняя версия 2.3.3 (5 ноября 2018).	Распространяется свободно.

Заключение

Анализ современных средств моделирования коммуникационных протоколов показал, что наиболее эффективными средствами моделирования являются высокоуровневые языки программирования и библиотеки для них, так как большинство разработчиков и экспертов в аппаратной, системной, программной областях и области алгоритмов более или менее знакомы с языками программирования [1], что облегчает совместную работу и говорит о том, что на освоение новых технологий не уйдет много времени. Так же они являются хорошо задокументированными, их поддержка продолжается, и они бесплатны, особенно если это касается применения высокоуровневых языков программирования без использования коммерческих библиотек.

Библиографический список

1. Оленев В. Л. Моделирование на языке SystemC в процессе разработки протоколов передачи данных // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Техн. науки. 2009. № 4 (12). С. 60–69.
2. Тарасов В. Н., Коннов А. Л., Ушаков Ю. А. Анализ и оптимизация локальных сетей и сетей связи с помощью программной системы Opnet Modeler // Вестн. ОГУ. 2006. Т. 2, № 6.
3. Olenev V., Lavrovskaya I., Korobkov I., Sheynin Y. Design and Simulation of Onboard Space Wire // 24nd Conference of Open Innovations Association (FRUCT). 2019.
4. Мансуров Н. Н., Майлингова О. Л. Методы формальной спецификации программ: языкиMSCиSDL: учеб. пособие для студ. 4 курса ВМ и К.
5. Лутц М. Изучаем Python. 4-е изд. СПб.: Символ-Плюс, 2011.
6. Al-Maharmah R., Bruck G., Jung P. Practical Methodology for Adding New MANET Routing Protocols to OPNET Modeler // The Fifth International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL). 2013.
7. Specification and Description Language (SDL). URL: <https://portal.etsi.org/Services/Centre-for-Testing-Interoperability/ETSI-Approach/Specification-Languages/SDL> (дата обращения: 10.04.2020).
8. ISO 9074:1989 Information processing systems — Open Systems Interconnection — Estelle: A formal description technique based on an extended state transition model. URL: <https://www.iso.org/standard/16659.html> (дата обращения: 10.04.2020).

УДК 004.052

Ю. О. Холкин

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. Ю. Сыщиков – старший преподаватель – научный руководитель**ОЦЕНКА РИСКОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ EFB****Введение**

Технологический прогресс привел к широкому применению портативных электронных устройств и возникновению такого понятия, как EFB – электронной системы бортовой документации для летного экипажа.

Применение EFB в кабине экипажа воздушного судна способствует замене бумажных носителей, используемых на борту (маршрутных карт, руководств и т.д.) и оказывает помощь экипажу в выполнении разного рода расчетов (взлетно-посадочных характеристик ВС, и т.п.).

Несмотря на то, что система EFB имеет очевидные достоинства, при ее использовании могут возникать определенные риски: электронные устройства, предназначенные для широкого потребления, не сертифицированы для их использования в авиационной отрасли.

На сегодняшний день, переносные устройства EFB принято разделять на 2 класса:

- 1) EFB первого класса;
- 2) EFB второго класса.

EFB первого класса

EFB первого класса представляют собой портативные устройства, на которые устанавливается программное обеспечение (ПО), предоставляющее аэронавигационную и другую необходимую для подготовки к полетам информацию с возможностью обновления из любого места при наличии выхода в Интернет или доступа к внутренней сети (Интранет). Данные устройства, представленные на рис. 1, не закреплены на борту ВС, не подключены к информационным шинам ВС и не получают электропитание от систем электроснабжения ВС.

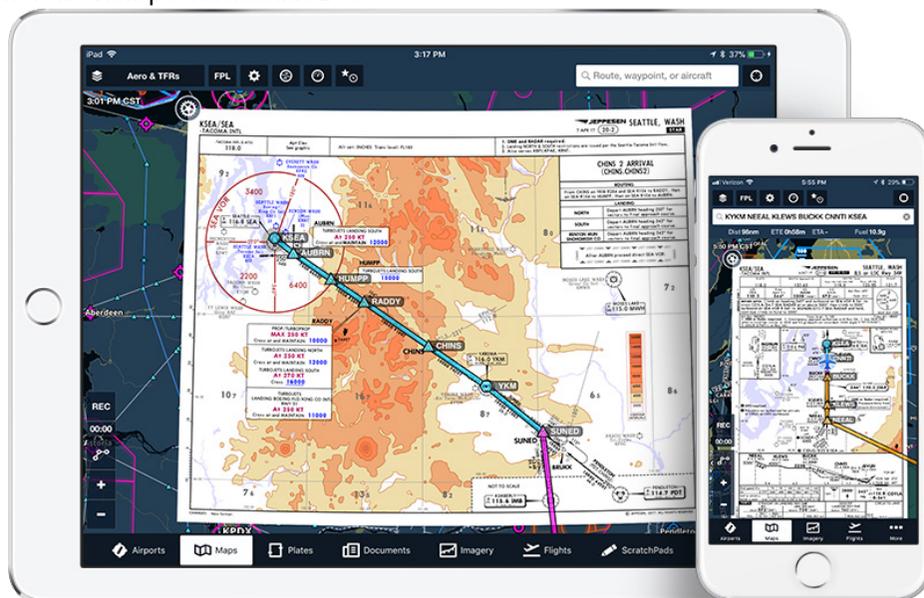


Рис. 1. Пример переносных EFB первого класса

EFB второго класса

EFB второго класса представляют собой портативные электронные планшеты, которые крепятся в кабине при помощи специальных устройств и могут быть сняты, рис. 2. Связь планшета с системами самолета ограничена подключением к электропитанию от бортовой сети и к шине данных

по которой передаются сигналы о местоположении ВС. Дополнительно существует возможность подключения к планшету оборудования для видеонаблюдения как в салоне самолета, так и за бортом.



Рис. 2. Пример переносных EFB второго класса

Оценка аппаратного и программного обеспечения систем EFB начинается с одобрения на соответствие нормам летной годности. Несмотря на это, переносные планшеты EFB не требуют данного одобрения, но их наличие и использование в кабине ВС должно быть оценено самим эксплуатантом.

Эксплуатационная оценка оборудования

Перед началом эксплуатации переносных EFB проводится процесс оценки согласно пунктам, которые рассмотрены ниже.

1. Эксплуатационная оценка оборудования на электромагнитное излучение. Эксплуатант обязан подтвердить, что работа EFB никоим образом не влияет на работу оборудования воздушного судна и состоит из двух этапов [1]. Первый – тестирование на отсутствие помех на всех этапах полета. Второй этап – проверяется воздействие на отдельные элементы бортового оборудования.

2. Оценка источника питания. Если электроснабжение системы EFB может осуществляться от внутреннего источника питания (аккумуляторной батареи) или от бортовой сети проводится анализ электрической нагрузки сети с подключенной EFB, чтобы выяснить, не окажет ли работа либо подзарядка EFB отрицательного влияния на другие системы ВС, а также подтвердить, что потребление питания не выходит за установленные пределы [2]. Также должно быть продемонстрировано, что электросеть воздушного судна защищена от отказов и неисправностей системы EFB (короткого замыкания, перенапряжения, перегрузки, мгновенно возникающих неустановившихся токов или гармоник и пр.).

3. Тестирования на воздействие внешних факторов, в особенности на быструю разгерметизацию, могут проводиться в тех случаях, когда от оборудования EFB требуется работа в условиях быстрой разгерметизации, а также, если имеется подозрение, что рабочие условия EFB не в полной мере соответствуют диапазону рабочих условий в кабине экипажа.

4. Эксплуатационная оценка оборудования на характеристики экрана. Экран EFB, как и прочие элементы системы EFB, должны располагаться таким образом, чтобы не ухудшать поле обзора пилота на всех этапах полета, а также не затруднять доступ к средствам управления и приборам, расположенным в кабине. Блики и отражения на экране EFB не должны препятствовать выполнению штатных задач экипажа и влиять на удобочитаемость данных на экране EFB.

5. Основной принцип крепления переносных устройств – “Размещение в зоне видимости”.

Это местоположение должно быть указано в документах и данная информация должна быть включена в регламентирующий документ использования EFB.

Эксплуатационная оценка программного обеспечения

Также перед началом эксплуатации переносных EFB проводится процесс оценки программного обеспечения согласно пунктам, которые рассмотрены ниже.

1. Операторский интерфейс EFB, используемый для всех установленных приложений ПО, должен быть последовательным и интуитивно понятным и самое главное соответствовать всем требованиям по сертификации [3].

2. Особое внимание уделяется совместимости всех интерфейсов программным обеспечением в кабине экипажа, в особенности в тех случаях, когда разработкой ПО и его установкой занимаются разные организации.

3. Эксплуатационная оценка программного обеспечения на системные ошибки. Если приложение не в состоянии выполнить все свои функции или их часть, желательно, чтобы при соответствующем запросе пользователь мог получить информацию о состоянии такого приложения. Сообщение об ошибке в данных приложениях рекомендуется выводить непосредственно при попытке обращения к ним, а не в момент возникновения ошибки. Должен быть разработан и задокументирован порядок очередности появления сообщений о состоянии EFB и ошибках.

4. Эксплуатант должен провести оценку интерфейса "человек – машина" и особенностей координации действий экипажа при использовании EFB. А также оценить совместимость EFB с компоновкой кабины экипажа с точки зрения физической (препятствие движениям и пр.) и информационно-исполнительской части (последовательность выполняемых действий, подача сигналов и пр.).

5. Обновления EFB могут быть выполнены поставщиком системы, разработчиком ПО или эксплуатантом. Эксплуатант может выполнять обновления самостоятельно, не уведомляя уполномоченные органы, если они:

- не затрагивают алгоритм расчетов или операторский интерфейс;
- не добавляют новых функций;
- заключаются в обновлении имеющейся базы данных.

Все прочие изменения должны быть должным образом проконтролированы и опробованы до их использования в полете.

6. Расчет массы, центровки и летно-технических характеристик ВС. Подтверждается, что получаемые от приложений данные по массе, центровке и летно-техническим характеристикам соответствуют нормативам, установленным РЛЭ ВС (или иными документами) [4]. Для этого проводится перекрестная проверка условий (например, для ПО расчета летно-технических характеристик: сверяются данные взлетно-посадочных характеристик ВС на сухой, влажной и покрытой осадками ВПП, при различных данных о ветре, давлении на аэродроме и пр.).

Меры по снижению рисков

В качестве защиты от отказов или нарушений работы EFB можно предложить обеспечить следующие меры:

- улучшение архитектуры системы;
- использование автономных и резервных источников питания EFB;
- электронные резервные варианты использования последней известной устойчивой конфигурации;
- использование резервных приложений EFB;
- создание бумажных инструкций для отдельных членов экипажа;
- наличие полного комплекта бумажной резервной документации в кабине летного экипажа.

Заключение

В результате рассмотрения процесса определения потенциальных сбоев в работе и сценариев отказа систем EFB были предложены меры по снижению рисков, которые позволят лишь частично избежать проблем в работе летного экипажа. Эксплуатант все еще обязан самостоятельно, основыв-

ваясь на результатах оценки рисков использования EFB, определить архитектуру программного обеспечения, процедуры или оборудование, которые позволят устранять, снижать или ограничивать риски, связанные с выявленным отказом в системе.

Библиографический список

1. EASA AMC 20-25. Airworthiness and operational consideration for Electronic Flight Bags (EFB). 2014. 49 p.
2. Doc 10020. Manual of Electronic Flight Bags (EFBs). 2018. 62 p.
3. Разрешение EASA на использование электронных устройств в самолетах. URL: <https://efb-soft.com/articles/95-easa-allows-use-of-electronic-devices-on-board> (дата обращения: 10.04.2020).
4. IATA. IOSA Standards Manual, 2014. 413 p.

СОДЕРЖАНИЕ

Аэрокосмические измерительно-вычислительные комплексы	3
<i>Аронов В. С.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ	3
<i>Беляев А. А.</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ЛЕГКОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (НА ПРИМЕРЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ).....	7
<i>Воропаева Д. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА	14
<i>Князева Е. С.</i> УПРАВЛЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЕМ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНО-СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.....	20
<i>Мамедова Л. С.</i> ИГРОВАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ КАК МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВСТРЕЧИ МАЛЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	26
<i>Мурзаев А. С.</i> АДАПТИВНО-РОБАСТНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ИНЕРЦИАЛЬНО-РАДИОЛОКАЦИОННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	31
<i>Пурцакин М. И.</i> КАНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛОЙ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА ГЛИССИРУЮЩЕГО ВОДНОГО ТАКСИ.....	35
<i>Руцки Д. М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ФЕДЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ	39
<i>Светлов И. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИНИТНО-ВРЕМЕННОГО МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ СКОРОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	43
<i>Семина Д. А.</i> КАНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ГЛИССИРУЮЩЕГО ВОДНОГО ТАКСИ	47
<i>Федоринов А. Ю.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА И СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ.....	52
<i>Чижов В. С.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ ТАЙМЕРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА K1986VE93U	56
<i>Шимков В. Д.</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОДУЛЯ АЦП МИКРОКОНТРОЛЛЕРА МИЛАНДР	61
<i>Яшагина В. В.</i> РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДИРИЖАБЛЯ	65
Системный анализ и логистика	70
<i>Бутомо К. М.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ХЛОРА	70
<i>Иванова Н. С.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ ИЗ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РФ В Г. ГУАНЧЖОУ КНР	75
<i>Ипатов А. А.</i> О ВЛИЯНИИ ЭПИДЕМИИ КОРОНАВИРУСА COVID-19 В КНР НА МИРОВЫЕ ЦЕПИ ПОСТАВОК И ЭКОНОМИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ	81
<i>Костин А. С., Еленин Д. В.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	85
<i>Лабутина Е. С.</i> СЕРВИС СКЛАДСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОЙ ВЫГОДЫ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ.....	92
<i>Лепешкина Н. Д.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИЛУЧШИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В АЭРОПОРТУ ПУЛКОВО ПО КРИТЕРИЮ ТОЧНОСТИ	99
<i>Лесников М. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПО ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ЗАГРУЖЕННОСТИ МАРШРУТА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА	104

Молчанова О. С. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗ ГЕРМАНИИ В РОССИЮ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ.....	109
Низяева Ю. Д. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА	115
Прокофьева М. С. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СХЕМЫ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ «СУПЕРКВАРТАЛОВ». ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ	120
Силичев Д. И. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ НЕГАБАРИТНОГО ГРУЗА НА ПРИМЕРЕ ЭКСКАВАТОРА НІТАСНІ ДЛЯ СТРОЯЩЕГОСЯ АЭРОПОРТА.....	125
Фискевич Е. Д. ВЫБОР ПОСТАВЩИКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЗАКУПОК МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ	129
Шарипова В. Д. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ С КЛИЕНТАМИ В НЕКОММЕРЧЕСКОМ СЕКТОРЕ.....	132
Шугалей М. С. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПО МАРШРУТУ ЛИУЯНГ – САНКТ-ПЕТЕРБУРГ	137
Эксплуатация и управление аэрокосмическими системами.....	143
Будариева П. С. О НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАКОНАХ УПРАВЛЕНИЯ В РАКЕТЕ-НОСИТЕЛЕ	143
Буласова В. Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАВЕДЕНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ЗАДАННУЮ ЛИНИЮ ПУТИ	147
Буюновская А. В. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВСТРЕЧЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	151
Гончаренко Н. А. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА АЛГОРИТМА САМООРГАНИЗАЦИИ ГРУППЫ БПЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ И МОНИТОРИНГЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	154
Гунин К. С., Осипов Ю. М., Шигачев Е. В., Лесняк М. И. ГИРОИНТЕГРАТОР ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ.....	164
Жданов О. А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ ГРУППЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	167
Китенко А. М. ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКАХ.....	170
Лебедева М. С., Семенова В. П. МОДЕРНИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШЕГО	174
Лесняк М. И., Шигачев Е. В., Гунин К. С., Осипов Ю. М. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ (Н) И ОБЪЕМА ТОПЛИВА (V) В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЕМКОСТИ	177
Лесонен О. С., Назаренко П. А. НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, РЕАЛИЗУЮЩИЕ ПОСАДКУ	182
Лесонен О. С., Назаренко П. А. ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ПРИ ПОСАДКЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	185
Морголин Е. И. АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ	189
Пялова О. Ю. О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА.....	191
Сатарова В. И., Назаренко П. А., Макарова Л. В. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	194
Семенова В. П., Лебедева М. С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО СИГНАЛАМ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ.....	197
	315

Старыгина П. В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СВЕРХЗВУКОВОГО ПАССАЖИРСКОГО АВИАЛАЙНЕРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	200
Телятников С. О. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ОПЕРЕНИЯ СРЕДНЕМАГИСТРАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ SUKHOI SUPERJET 100 И BOEING 737	209
Чайка Д. А. СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ГАНТЕЛЕВИДНОЙ ФОРМЫ НА ОРБИТЕ	213
Шадрин Д. А. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА LL И RR-ТИПА	218
Шигачев Е. В., Лесняк М. И., Гунин К. С., Осипов Ю. М. СИСТЕМА ВЫРАВНИВАНИЯ КРЕНА ЛА, ВЫЗВАННОГО НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСХОДОМ ТОПЛИВА В БАКАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В КРЫЛЬЯХ ЛА	224
Щелкунов Е. В. МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВЫХ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ	227
Аэрокосмические компьютерные и программные системы.....	232
Абашкина С. С., Карпова Е. А., Сизова М. М. МАРКЕРНАЯ AR-НАВИГАЦИЯ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ.....	232
Алексеева К. И., Карандашев А. А. ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТОВ ПРИ АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ПО ТАБЛИЦАМ МАРШРУТИЗАЦИИ И ДАННЫМ ОБ ИСТОЧНИКЕ И ПРИЕМНИКЕ.....	238
Арбузов М. А. АНАЛИЗ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В СРЕДЕ ANACONDA	241
Богоявленский М. А., Степанов В. Е. АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОТОКОЛА СТП-ИСС ДЛЯ БОРТОВЫХ СЕТЕЙ SPACE WIRE.....	244
Булыгин А. О. АВТОМАТИЧЕСКОЕ СЛЕЖЕНИЕ ЗА ПОЛОЖЕНИЕМ ЛИЦА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ РАКУРСА ОТОБРАЖЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СЦЕНЫ НА ЭКРАНЕ СМАРТФОНА.....	248
Калинина В. В. ОБЗОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА	252
Капран М. С. ОБЗОР МЕХАНИЗМА ПОДПИСКИ В СЕТИ SPACE WIRE-PLUG-AND-PLAY	255
Коробков И. Л., Коробков Д. В. СРАВНЕНИЕ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРАФОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ SPACE FIBRE.....	258
Косолапова А. М., Синев Н. И. АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ БОРТОВЫХ СЕТЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	262
Мидили А. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОАДРЕСНОЙ РАССЫЛКИ В КОРАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ.....	265
Мионов Я. Р. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ.....	271
Петров А. Ю. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛОВ	274
Рудьков П. В. ПОСТРОЕНИЕ И ДЕКОДИРОВАНИЕ КВАЗИЦИКЛИЧЕСКИХ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ НА БАЗЕ ПРОЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	280
Сергеев В. В. РЕАЛИЗАЦИЯ JTAG ИНТЕРФЕЙСА ПОСРЕДСТВОМ МИКРОСХЕМ ARDUINO	285
Симдянкин В. В. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТОКОЛА BLUETOOTH LOW ENERGY В НОСИМОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ	288
Соловьев Н. А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ НА УРОВНЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИЛОЖЕНИЯ АДМИНИСТРАТОРА MS SQL SERVER	291

Уткин В. С., Синев Н. И. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОММУТАТОРА SPACE WIRE ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ВОЗМОЖНОСТИ ОТЛАДКИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОТОКОЛОВ ПОВЕРХ SPACE WIRE	297
Фалеева М. С., Чумакова Н. Ю. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА СЕРВИСА «ПЛАНИРОВАНИЕ» В КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛАХ	301
Филиппов К. Д., Степанов В. Е. ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛОВ.....	306
Холкин Ю. О. ОЦЕНКА РИСКОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ EFB	310

Научное издание

СЕМЬДЕСЯТ ТРЕТЬЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП
(13–17 апреля 2020 г.)

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов

ISBN: 978-5-8088-1505-6



9 785808 815056

Ответственный за выпуск:
А. В. Бобович

Редакторская подготовка *В. А. Черниковой*
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 21.09.20. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 18,5. Уч.-изд. л. 36,0. Тираж 150 экз. Заказ № 302.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67