

НПБИ		Лист	СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «КАМА-НАДИР» Описание программы			XXXX.XXXXXX-XX XX XX–ЛУ					
		Продолж. на листе									
		Лист утверждения									
Подразд.		ПАСиТ	Подл. на предпр.		НПБИ			Формат	А4		
Вид доку-мента		2	Инв. №			Дата поступл.			Кол. листов		1
Учет копий				Применяемость				Учет изменений			
Дата	Осно-вание	Кол.(№ экз.)		Дата	Обозначение	Изм.	№ документа	Дата внесе-ния	Листы		
		Посту-пило	Спи-сано								
Технологический документ											

НПБИ		Лист	СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «КАМА-НАДИР» Описание программы			XXXX.XXXXXX-XX XX XX					
		Продолж. на листе									
		Лист утверждения									
Подразд.		ПАСиТ	Подл. на предпр.		НПБИ			Формат	А4		
Вид доку-мента		2	Инв. №			Дата поступл.			Кол. листов		23
Учет копий				Применяемость				Учет изменений			
Дата	Осно-вание	Кол.(№ экз.)		Дата	Обозначение	Изм.	№ документа	Дата внесе-ния	Листы		
		Посту-пило	Спи-сано								
Технологический документ											

## Выдача копий

[illegible]

ООО «МОРТЕХИНЖИНИРИНГ»  
**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор  
ООО «Мортехинжиниринг»  
\_\_\_\_\_ Р.Е. Кореньков  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**  
**«КАМА-НАДИР»**  
Описание программы

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ**

XXXX.XXXXXX-XX XX XX-ЛУ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Представители предприятия–  
разработчика

Главный конструктор ЗАО  
«Мортехинжиниринг»  
\_\_\_\_\_ А.В. Гайдай  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Начальник отдела разработки  
ПО  
\_\_\_\_\_ А.М. Сальников  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

2020

Литера «О»

УТВЕРЖДЕН  
XXXX.XXXXXX-XX XX XX-ЛУ

СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
«КАМА-НАДИР»  
Описание программы

XXXX.XXXXXX-XX XX XX

Листов 23

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

2020

Литера «О»

## Аннотация

В документе описаны назначение СПО «Кама-Надир», средства его реализации, требования к аппаратному и программному обеспечению, необходимые для устойчивой работы программы и иные смежные вопросы, имеющие первостепенное значение.

В разделе 2 структура программы описана в привязке к решаемым задачам, приведены полные или же упрощенные схемы алгоритмов их решения и взаимодействия между ними, а также описаны массивы входных и выходных данных по каждой решаемой задаче.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Функциональное назначение</b>	<b>4</b>
1.1	Назначение СПО «Кама-Надир» . . . . .	4
1.2	Общее описание функционирования программы . . . . .	4
1.3	Требования к программному обеспечению . . . . .	4
1.4	Требования к аппаратной платформе . . . . .	4
1.5	Структура программы и ее составные части . . . . .	5
1.6	Язык программирования . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Логика работы программы</b>	<b>7</b>
2.1	Структурирование программы по Задачам . . . . .	7
2.2	Задача формирования сигналов FS . . . . .	8
2.2.1	Входные и выходные данные задачи FS . . . . .	10
2.3	Задача формирования скоростей опорного трехгранника OS . . . . .	10
2.3.1	Входные и выходные данные задачи OS . . . . .	12
2.4	Задача вычисления параметров кватерниона РК . . . . .	13
2.4.1	Входные и выходные данные задачи РК . . . . .	14
2.5	Задача определения параметров ориентации РО . . . . .	15
2.5.1	Входные и выходные данные задачи РО . . . . .	15
2.6	Задача преобразования скоростей PS . . . . .	16
2.6.1	Входные и выходные данные задачи PS . . . . .	16
2.7	Задача перепроектирования скоростей PV . . . . .	17
2.7.1	Входные и выходные данные задачи PV . . . . .	17
2.8	Задача выработки массива выходной информации VI . . . . .	17
2.8.1	Входные и выходные данные задачи VI . . . . .	19
2.9	Задача коррекции положения опорного трехгранника РР . . . . .	19
2.9.1	Входные и выходные данные задачи РР . . . . .	21
2.10	Задача инерциального счисления IS . . . . .	21

# 1 Функциональное назначение

## 1.1 Назначение СПО «Кама-Надир»

СПО «Кама-Надир» представляет собой встраиваемое программное обеспечение, предназначенное для обработки информации от ИИБ 12.002, НАП ГНСС, лага и выработки на их основании навигационных параметров и параметров ориентации объекта, реализованных в соответствии с переданными Заказчиком алгоритмами.

## 1.2 Общее описание функционирования программы

- программа работает под управлением операционной системы реального времени QNX-6.5.0;
- программа принимает данные от ИИБ-12.002, НАП ГНСС, лага (цифрового или импульсного);
- Обработывает и ассоциирует данные, выполняет проверку годности принятых данных;
- Далее программа реализует навигационный цикл, в соответствии с блок-схемой на Рисунок 1.
- дополнительно программа выполняет контроль и статусы периферийного оборудования, взаимодействие с пультом оператора ПО5, реализуя заложенные в него функции, функции расширенного контроля принимаемых от НАП ГНСС данных;
- результаты вычислений транслируются потребителям: ПО5, канал RS422 (внешний потребитель), канал реального времени Manchester, межканальный обмен с параллельным каналом.

## 1.3 Требования к программному обеспечению

Программа предназначена для функционирования под управлением ОС реального времени (ЗОС РВ «Нейтрино», QNX-6.5.0, Debian Buster, Raspberry Pi OS (ранее Raspbian), MOXA Industrial Linux, Debian Stretch).

## 1.4 Требования к аппаратной платформе

Работа программы проверялась на следующих аппаратных платформах: x86, ARM (Cortex-A8), RISC.

## 1.5 Структура программы и ее составные части

Основными составными частями СПО «Кама-надир» являются:

- /nadir/bin/nadir - исполняемый модуль;
- /nadir/bin/crc - драйвер счетчика импульсов аналогового лага;
- /nadir/lib/libscapi.a - библиотека взаимодействия с драйвером счетчика импульсов аналогового лага;
- /nadir/lib/libkernel.so - библиотека базовой функциональности;

Плагины:

- /nadir/lib/libstdthread.so - реализация потоков выполнения процессоров данных;
- /nadir/lib/libdpexchangeng.so - реализация процессора данных внутреннего обмена данными;
- nadir/lib/libdpparserchain.so - реализация процессора данных цепочки декодирования входной информации и кодирования выходной;
- /nadir/lib/libdpsync.so - реализация процессора данных синхронизации вычислителей;
- /nadir/lib/libdpalignment.so - реализация процессора данных основного алгоритма;
- /nadir/lib/libdptime.so - реализация процессора данных установки системного времени;
- /nadir/lib/libdpkamatmk.so - реализация процессора данных передачи информации по протоколу ИТС №5;
- /nadir/lib/libdprmcanalyser.so - реализация процессора данных анализатора принятых предложений RMC;
- /nadir/lib/libdpmodectl.so - реализация процессора данных обработчика переключения режимов работы (сервисный/нормальный);
- /nadir/lib/libdpsleep.so - реализация процессора данных задержки обработки входных данных;
- /nadir/lib/libethiface.so - реализация сетевых интерфейсов сопряжения;
- /nadir/lib/libserialiface.so - реализация последовательного интерфейса сопряжения;
- /nadir/lib/libpliface.so - реализация интерфейса сопряжения с аналоговым лагом;
- /nadir/lib/libsyncparser.so - реализация кодирования/декодирования данных синхронизации вычислителей;
- /nadir/lib/libiibparser.so - реализация декодирования данных ИИБ;
- /nadir/lib/libpobparser.so - реализация кодирования/декодирования данных пульта оператора (протокол ИТС №101);
- /nadir/lib/libnmeaparser.so - реализация декодирования навигационных данных принятых по протоколу ИТС IEC 61162-1 ed. 4.0;



XXXX.XXXXXX-XX XX XX

- /nadir/lib/libconsumer.so - реализация кодирования данных "потребителя"(протокол ИТС IEC 61162-1 ed4.0);
- /nadir/lib/libregistrator.so - реализация кодирования данных "регистратора"(протокол ИТС №100);
- /nadir/lib/libexhibitorparser.so - реализация кодирования/декодирования данных технологического ПО "кама-терминал";
- /nadir/lib/libplparser.so - реализация кодирования/декодирования данных аналогового лага.

## 1.6 Язык программирования

Код программы написан на языках программирования C++'14, C'11. Используемые библиотеки: stdlib, libboost.

## **2 Логика работы программы**

### **2.1 Структурирование программы по Задачам**

Работа СПО «Кама-Надир» структурирована по решаемым задачам согласно схеме на Рис. 1.

XXXX.XXXXXX-XX XX XX

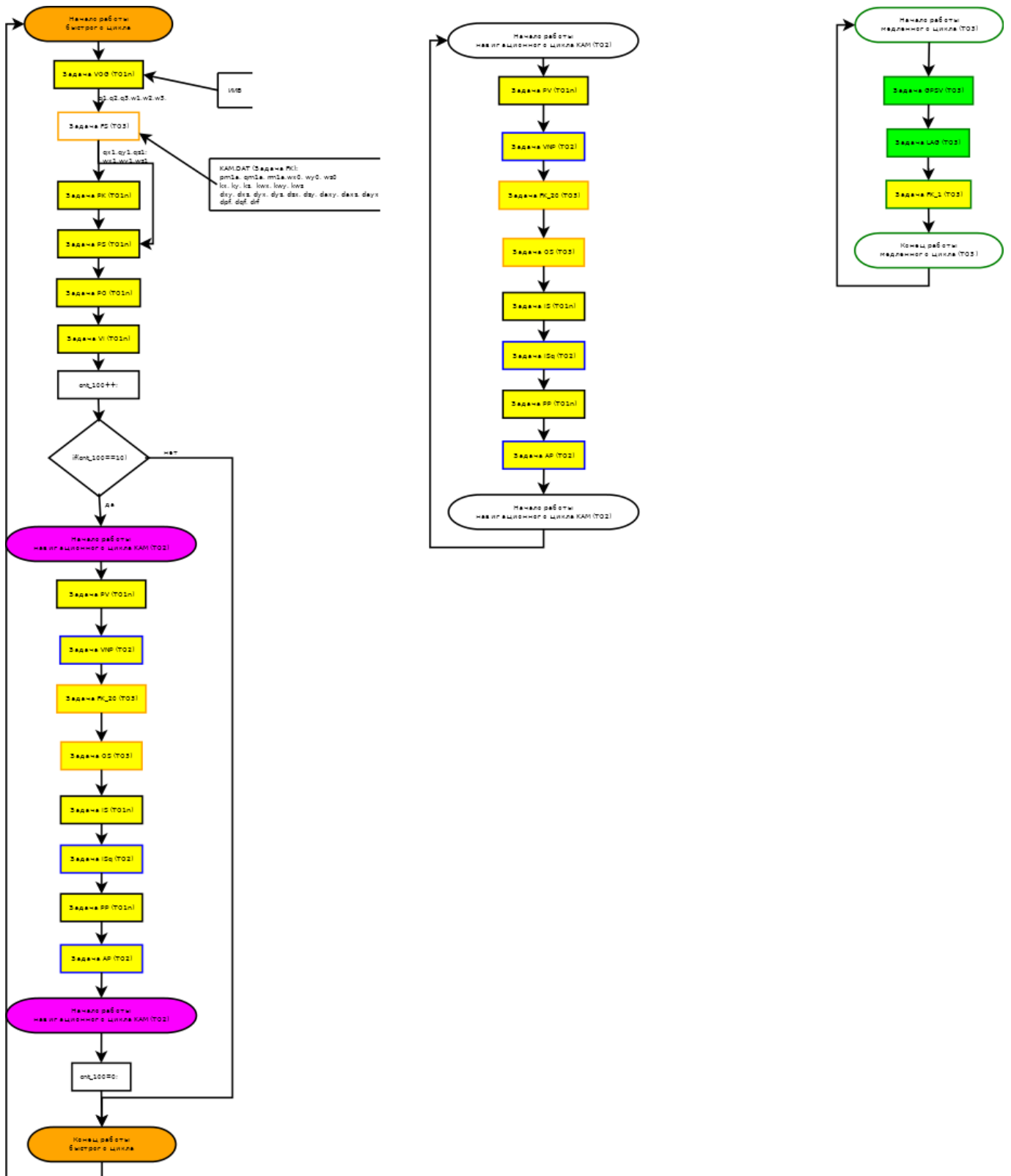
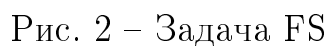


Рис. 1 – Задачи программы

## 2.2 Задача формирования сигналов FS

Реализует следующие функции согласно схеме на Рис. 2



– Принимает от задачи VOG сигналы -  $q_1, q_2, q_3, w_1, w_2, w_3$  и формирует с учетом принятой модели инструментальных погрешностей передаваемые в задачи РК и PS приращения угла поворота  $qx_1, qy_1, qz_1$  и кажущейся скорости

$wx1, wy1, wz1$  в проекциях на оси БЧЭ.

– Преобразует сигналы горизонтных каналов ВОГ-  $q1, q2$  к осям объекта при значении признака ориентации  $POR=1$  в случае установки корпуса БЧЭ с поворотом на 180 относительно продольной оси объекта.

– Осуществляет масштабирование, компенсацию аддитивных и мультипликативных составляющих модели инструментальных погрешностей сигналов ВОГ и акселерометров с использованием задаваемых в случае необходимости в файле данных КАМ.DAT корректур, а также меняющихся в запуске и оцениваемых оптимальным фильтром Калмана ( ОФК ) составляющих дрейфов в осях БЧЭ:

- систематических ошибок  $pm1a, qm1a, rm1a, wx0, wy0, wz0$
- масштабных коэффициентов  $kx, ky, kz, kwx, kwy, kwz$
- невыставок  $dxu, dxz, dyx, dyz, dzx, dzy, daxu, daxz, dayx$
- оценки дрейфов  $dpr, dqf, drf$

### 2.2.1 Входные и выходные данные задачи FS

Входная информация

- $q1, q2, q3, w1, w2, w3$ - из задачи VOG-приема сигналов БЧЭ
- $pm1a, qm1a, rm1a, wx0, wy0, wz0, kwx, kwy, kwz, dxu, dxz, dyx, dyz, dzx, dzy, daxu, daxz, dayx, dayz, dazx, dazy$  - из файла данных kam.dat
- $dpr, dqf, drf$ - из задачи FK

Выходная информация

- $qx1, qy1, qz1$ - в задачу PK
- $qx1, qy1, qz1, wx1, wy1, wz1$ – в задачу PS

## 2.3 Задача формирования скоростей опорного трехгранника OS

Реализует следующие функции согласно упрощенной схеме на Рис. 3

XXXX.XXXXXX-XX XX XX

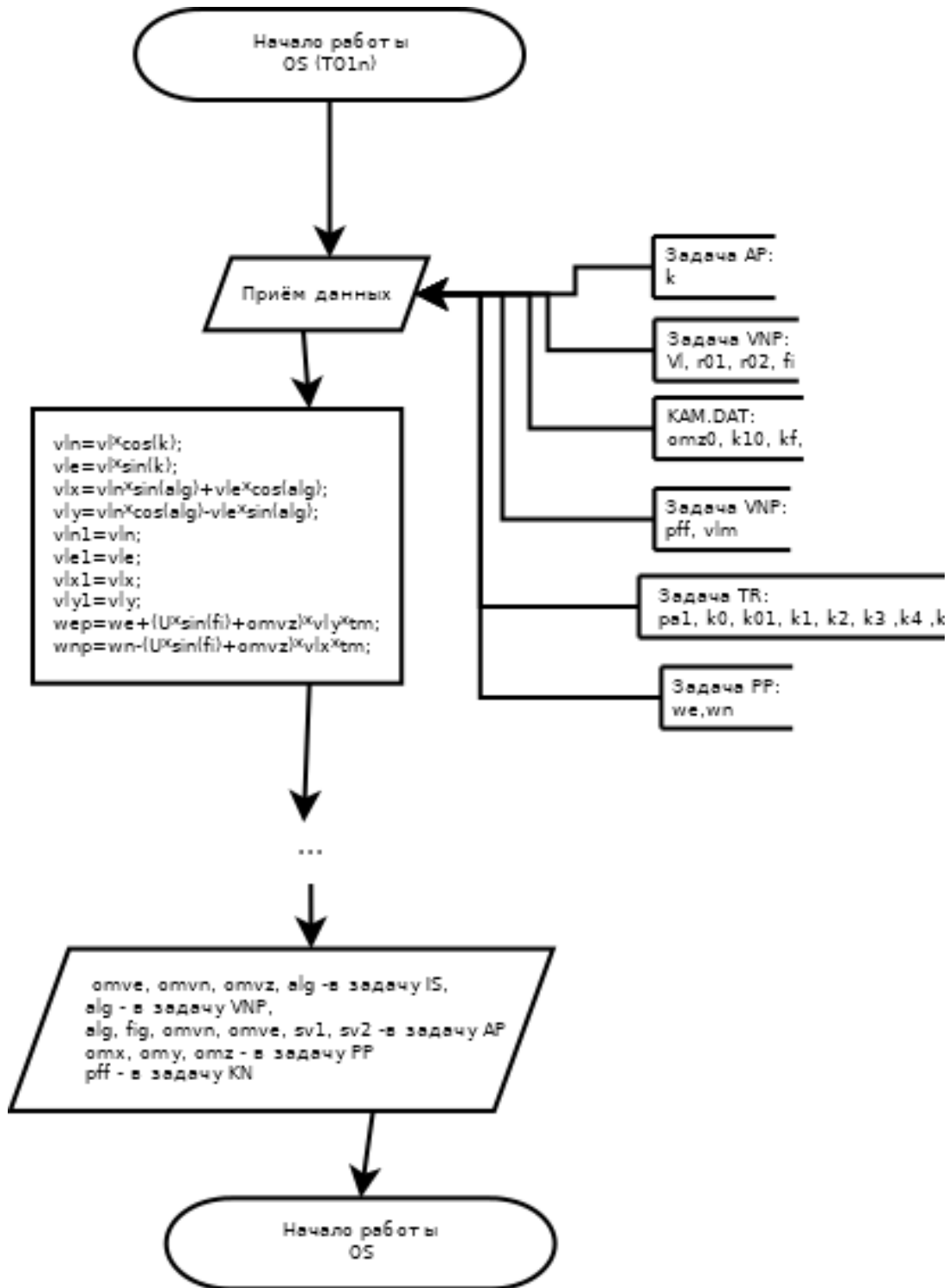


Рис. 3 – Задача OS

– Формирует угловую скорость коррекции  $\omega$  (  $\omega_x$  ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  ) - составляющие угловой скорости опорного аналитического трехгранника в проекциях на собственные оси - по информации из задачи PV о проекциях на горизонтальную плоскость аналитического трехгранника приращения кажущейся скорости БИНС в осях аналитического опорного трехгранника за время навигационного цикла ТМ.–  $W_{\Gamma}$  (  $W_e$ ,  $W_n$ ,  $W_v$  ).

– Вычисляет по сигналу лага VL горизонтальные составляющие скорости объекта в проекциях на оси географического трехгранника VLE, VLN с использованием курса K и -на оси опорного аналитического трехгранника VLX, VLY с использованием курсового угла ALG

– Компенсирует в горизонтальных проекциях сигналов акселерометров кориолисовы составляющие, порождаемые вертикальной составляющей угловой скорости опорного аналитического трехгранника  $omvz = U * \sin(\phi)$  и горизонтальными составляющими скорости объекта в проекциях на оси опорного аналитического трехгранника для получения после их интегрирования только составляющих скорости относительно Земли и сравнения их с составляющими сигнала лага в проекциях на оси опорного аналитического трехгранника на предыдущем шаге VLX1, VLY1 с целью формирования сигналов демпфирования sv1, sv2.

– В рабочем режиме (pa1=3) формирование сигналов демпфирования sv1, sv2 и абсолютных угловых скоростей опорного аналитического трехгранника omve, omvn, omvz производится с использованием корректур dvx, dvu, выработанных ОФК .

– Формирование составляющих угловой скорости опорного аналитического трехгранника в проекциях на собственные оси - выходные сигналы задачи OS- производится с использованием корректур db, dg, dalf, выработанных ОФК, что также обеспечивает демпфирование переходных процессов, вызванных реальными начальными угловыми рассогласованиями , начальными отклонениями угловых скоростей, ускорениями качки и инструментальными погрешностями.

– В конце задачи реализуется контроль уровня угловых скоростей опорного трехгранника и в случае превышения горизонтальными составляющими угловых скоростей omx или ому значения 2-4 рад/сек (60 град/час) включается счетчик циклов snf.

### 2.3.1 Входные и выходные данные задачи OS

Входная информация:

- Vl, r01, r02, fi - из задачи VNP
- pa1, k0, k01, k1, k2, k3 ,k4 ,k5 - из задачи TR
- we,wn- из задачи PP
- omz0, k10, kf, -из файла данных kam.dat
- k -из задачи AP

Выходная информация:

- omve, omvn, omvz, alg -в задачу IS,
- alg - в задачу VNP,
- alg, fig, omvn, omve, sv1, sv2 -в задачу AP
- omx, ому, omz - в задачу PP
- pff - в задачу KN

## 2.4 Задача вычисления параметров кватерниона РК

Вычисляет, согласно упрощенной схеме на Рис. 4, по информации о приращениях за время быстрого цикла ТС абсолютного угла поворота  $\delta Q$  в проекциях на оси БЧЭ -  $qx1$ ,  $qy1$ ,  $qz1$ , - из задачи FS компоненты кватерниона  $m$  ( $m0m$ ,  $m1m$ ,  $m2m$ ,  $m3m$ ), определяющего ориентацию связанных осей БИНС относительно инерциального трехгранника путем численного интегрирования кинематического уравнения Пуассона.



XXXX.XXXXXX-XX XX XX

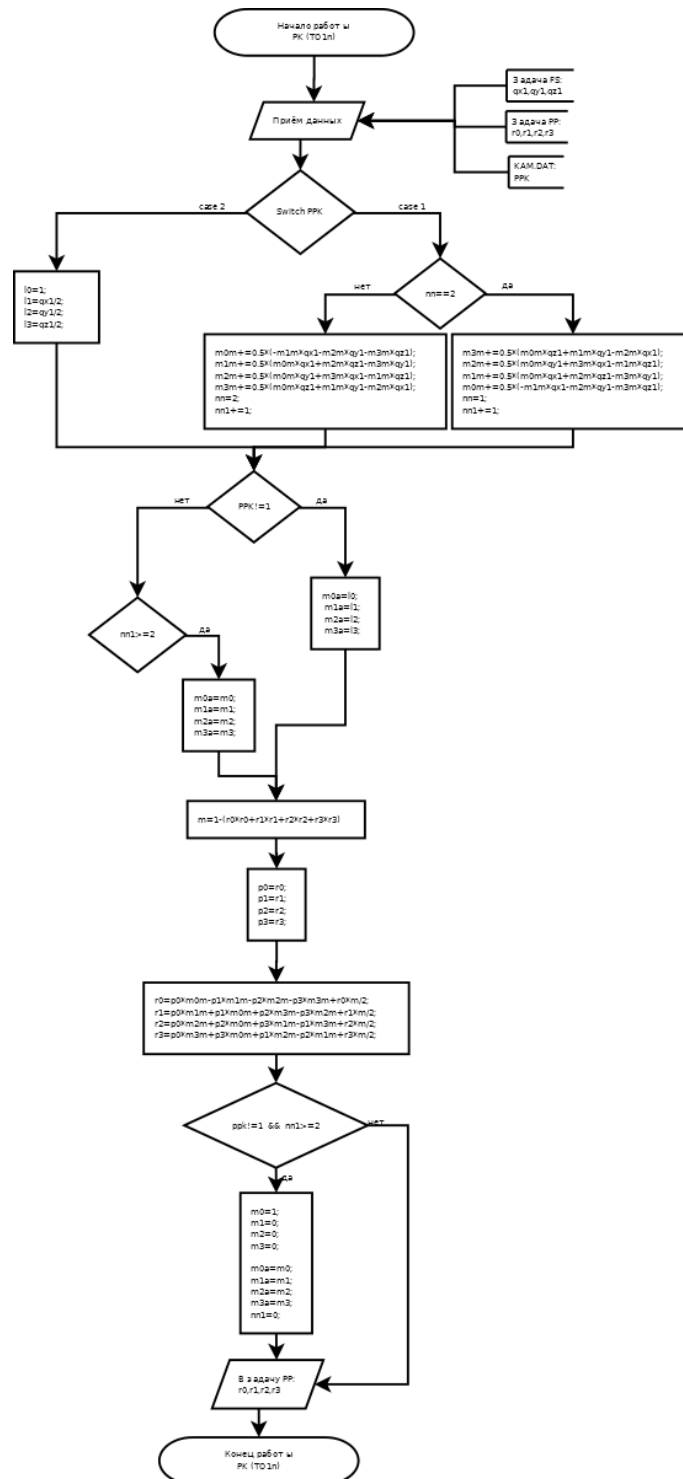


Рис. 4 – Задача РК

### 2.4.1 Входные и выходные данные задачи РК

Входная информация:

- qx1,qy1,qz1- из задачи FS
- r0,r1,r2,r3- из задачи PP
- prk- из файла данных kam.dat

XXXX.XXXXXX-XX XX XX

Выходная информация:

– r0,r1,r2,r3- в задачу PP

## 2.5 Задача определения параметров ориентации РО

Вычисляет, согласно упрощенной схеме на Рис. 5, курс и углы бортовой и килевой качек БИНС –kbv, tbv, pbv, а также скорости изменения курса и углов бортовой и килевой качек –kbvt, tbvt, pbvt по информации о компонентах кватерниона  $q$  из задачи PP, курсовому углу опорного трехгранника ALF из задачи IS или, в случае режима приведения, по углу ALG из задачи OS, вычисляемого методом гиросироткомпы.

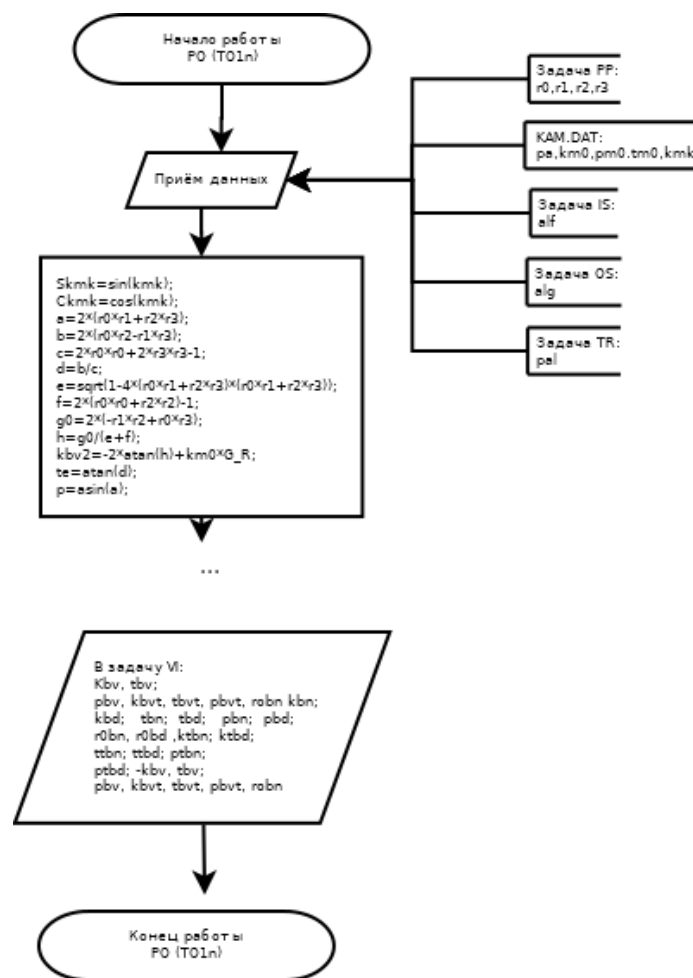


Рис. 5 – Задача РО

### 2.5.1 Входные и выходные данные задачи РО

Входная информация:

- r0,r1,r2,r3- из задачи PP
- pa,km0,pm0,tm0,kmk- из файла данных kam.dat
- alf- из задачи IS

XXXX.XXXXXX-XX XX XX

- alg- из задачи OS
- pa1- из задачи TR

Выходная информация:

- Kbv, tbv; pbv, kbvt, tbvt, pbvt, robn knb; kbd; tbn; tbd; pbn; pbd; r0bn, r0bd, ktbn; ktbd; ttbn; ttbd; ptbn; ptbd; -kbv, tbv; pbv, kbvt, tbvt, pbvt, robn - в задачу VI

## 2.6 Задача преобразования скоростей PS

Вычисляет, согласно схеме на Рис. 6, по информации о приращении абсолютного угла поворота и кажущейся скорости  $qx1, qy1, qz1, wx1, wy1, wz1$  - из задачи FS приращения кажущейся скорости  $w1x, w1y, w1z$  в осях связанного трехгранника путем численного интегрирования кинематического уравнения для производной вектора абсолютной скорости  $V$  во вращающихся с абсолютной угловой скоростью  $\omega$  осях.

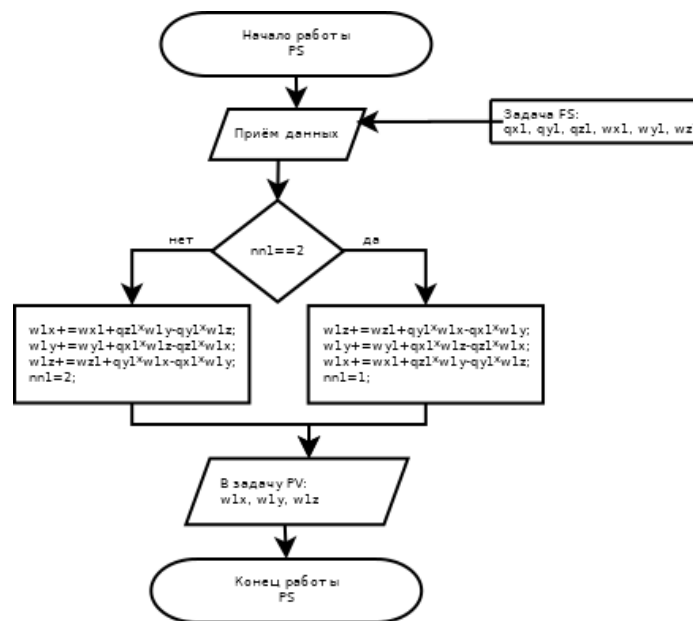


Рис. 6 – Задача PS

### 2.6.1 Входные и выходные данные задачи PS

Входная информация:

- $qx1, qy1, qz1, wx1, wy1, wz1$  из задачи FS

Выходная информация:

- $w1x, w1y, w1z$  в задачу PV

## 2.7 Задача перепроектирования скоростей PV

Перепроектирует согласно схеме на Рис. 7 приращения кажущейся скорости БИНС  $w$  ( $w1x, w1y, w1z$ ) в осях связанного трехгранника за время навигационного цикла ТМ на горизонтальную плоскость аналитического опорного трехгранника с использованием кватерниона  $r$  ( $r0, r1, r2, r3$ ).

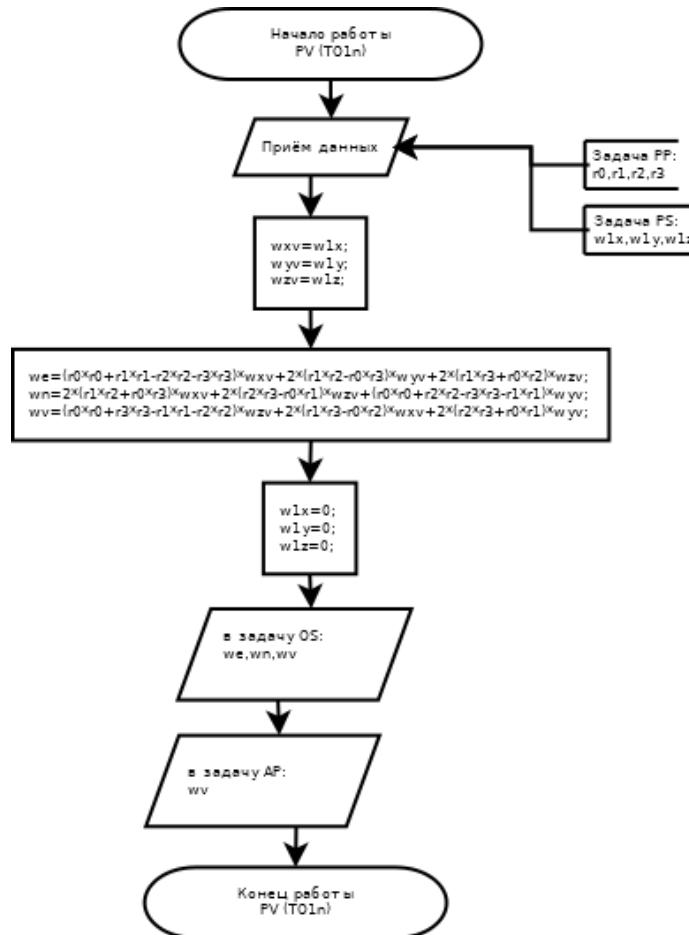


Рис. 7 – Задача PV

### 2.7.1 Входные и выходные данные задачи PV

Входная информация:

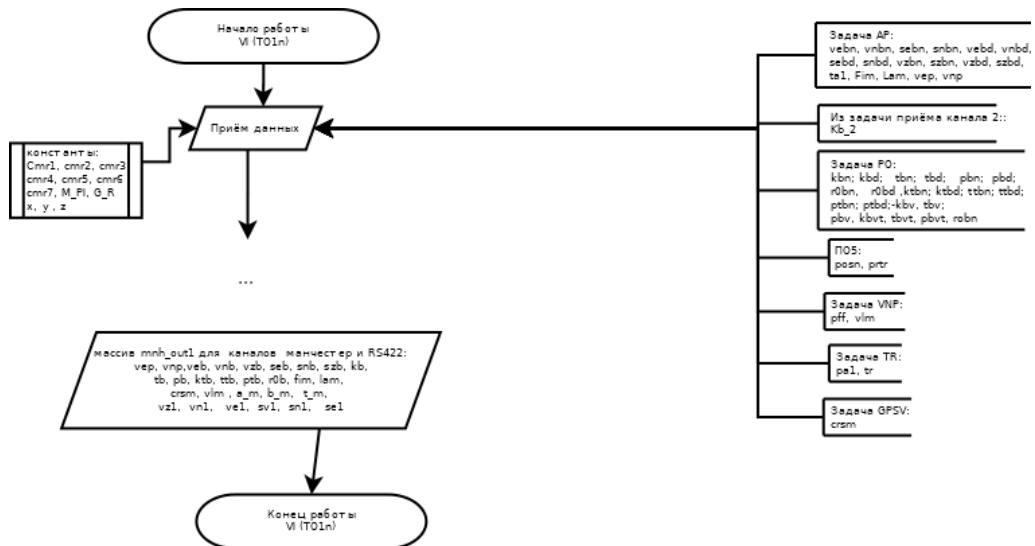
- $r0, r1, r2, r3$ - из задачи PP
- $w1x, w1y, w1z$ - из задачи PS

Выходная информация:

- $w_e, w_n, w_v$ - в задачу OS
- $w_v$ - в задачу AP

## 2.8 Задача выработки массива выходной информации VI

Реализует следующие функции согласно схеме на Рис. 8:



- Определяет интервал времени RES между текущим моментом и моментом формирования экстраполяционных коэффициентов в задаче AP

RES = ElapsedTime(T); время между текущим моментом и моментом формирования

qb1 = Res/0.1+q0; параметров Vbn ... szbd в задаче аппроксимации,  
q0 = 0; решаемой с циклом 0.1 сек

– Определяет интервал времени RES1 между текущим моментом и моментом формирования экстраполяционных коэффициентов в задаче РО RES1 = ElapsedTime(T); время между текущим моментом и моментом формирования qb2 = Res1/0.01+q0; параметров kbn ptbd в задаче РО решаемой с циклом 0.01 сек

– Осуществляет линейную экстраполяцию выходных значений составляющих мгновенной скорости VEB, VNB, VZB и перемещений SEB, SNB, SZB с использованием экстраполяционного сдвига q1 и коэффициентов линейной экстраполяции vebn, vnb n, vzb n, sebn, snbn, szbn, vebd, vnbd, vzb d, sebd, snbd, szbd из задачи AP

– Осуществляет линейную экстраполяцию выходных значений углов ориентации kbv, tbv, pbv и угла наклона rob и угловых скоростей ориентации kbt, tbt, pbt с использованием экстраполяционного сдвига q2 и коэффициентов линейной экстраполяции kbn; kbd; tbn; tbd; pbn; pbd; r0bn, r0bd , ktbn; ktbd; ttbn; ttbd; ptbn; ptbd из задачи РО в случае, когда задача VI решается с большей частотой, чем РО

- Осуществляет преобразование мгновенных скоростей  $v_{eb}$ ,  $v_{nb}$ ,  $v_{zb}$  и перемещений  $s_{eb}$ ,  $s_{nb}$ ,  $s_{zb}$  от места установки БИНС (т.О) до места установки потребителя (т.П) с использованием проекций (x, y, z) отстояния R1 в связанных с БИНС осях XYZ

### 2.8.1 Входные и выходные данные задачи VI

Входная информация:

- $Kb_2$  -из задачи приема информации 2 канала
- $posn, prtr$ -с пульта оператора
- $pdf, vlm$  - из задачи VNP
- $pa1, tr$ - из задачи TR
- $crsm$  - из задачи GPSV-прием СНС

Выходная информация:

- массив

## 2.9 Задача коррекции положения опорного трехгранника РР

Осуществляет, согласно схеме на Рис. 9, коррекцию кватерниона  $g$ , определяющего ориентации связанного трехгранника относительно аналитического опорного трехгранника с использованием кватерниона поворота опорного аналитического трехгранника относительно инерциального трехгранника  $S$  (  $S1, S2, S3$  ) за время навигационного цикла ТМ с помощью формулы кватернионного произведения.

XXXX.XXXXXX-XX XX XX

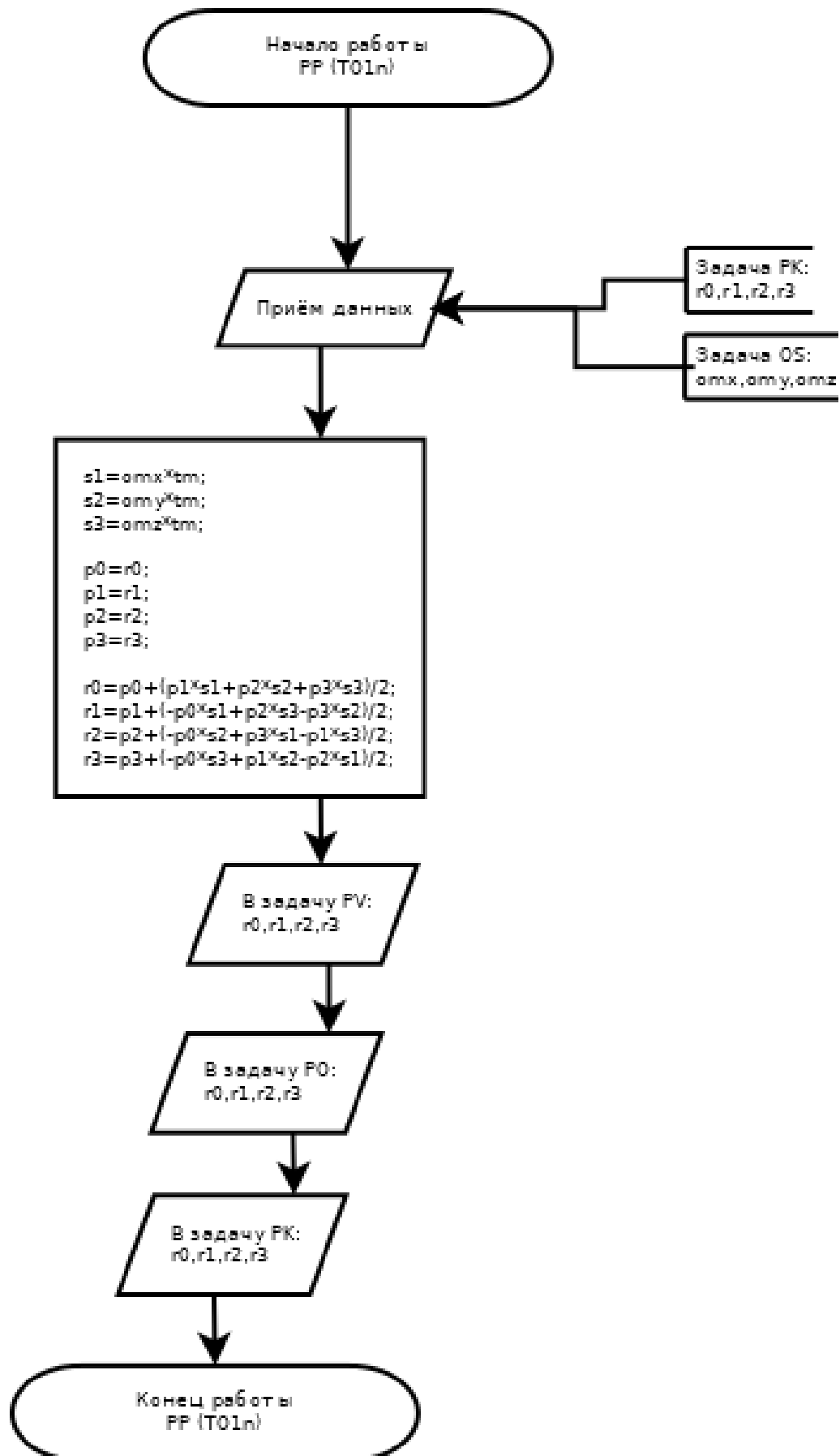


Рис. 9 – Задача РР

### 2.9.1 Входные и выходные данные задачи РР

Входная информация:

- r0,r1,r2,r3- из задачи РК
- omx,omy,omz - из задачи OS

Выходная информация:

- r0,r1,r2,r3- в задачу PV, PO,PK

## 2.10 Задача инерциального счисления IS

Реализует следующие функции согласно упрощенной схеме на Рис. 10:

- при включении (sgn1==0) проводит инициализацию переменных: координат  $f_i$ ,  $l_i$ :
  - при отказе или отсутствии ПА СНС (prgk=0) значениями записанными в файл данных kam.dat через задачу TR  $f_i=f_{iv}$ ;  $l_i=l_{av}$ ;
  - при годности ПА СНС (prgk=1) значениями, полученными от корабельной ПА СНС  $f_i=f_{ivkg}$ ;  $l_i=l_{avkg}$ ;
- при включении после режима Квази (sgn2==0) значениями координат, пересчитанными в задаче Квази из квазигеографической в географическую систему координат  $f_i=f_{iqr}$ ;  $l_i=l_{iqr}$ ; курсового угла  $alf$
- при обычном запуске значением курсового угла  $alg$  из задачи OS, определенным методом гиросироткомпаса в режиме приведения  $alf=alg$ ;
- при запуске в технологическом режиме гиригоризонткомпаса (pa=0) нулевым значением курсового угла  $alf=0$ ;
- при повторном включении после перезапуска ПА СНС (przv==3) значением курсового угла  $alf1$ , сохраненного в задаче VNP в момент выключения задачи IS для восстановления его значения - $alf=alf1$ ; -при включении после режима Квази (sgn2==0) значением курсового угла, пересчитанными в задаче Квази из квазигеографической в географическую систему координат  $alf=alfqr$ ;
- параметра  $rmk2$ , определяющего скорость вращения опорного трехгранника в азимуте;
- при работе в обычных режимах (pa=1) значением  $omvz$  из задачи OS  $rmk2=omvz$  ;
- при работе в технологическом режиме гиригоризонткомпаса (pa=0) значением вертикальной составляющей угловой скорости ГСК  $mk2 = U * \sin(\phi) + vle * \tan(\phi)/r01$ , формируемой по информации о широте  $f_i$  и скорости от лага  $vl$  из задачи VNP;
- Обнуляет параметры Sign1, sign2 для последующих перезапусков и скорость демпфирования  $oz1k$  в текущем запуске
  - формирует выражения для интегрирования значений географической широты  $f_i$ , долготы  $l_i$ , и курсового угла  $alf$ .



XXXX.XXXXXX-XX XX XX

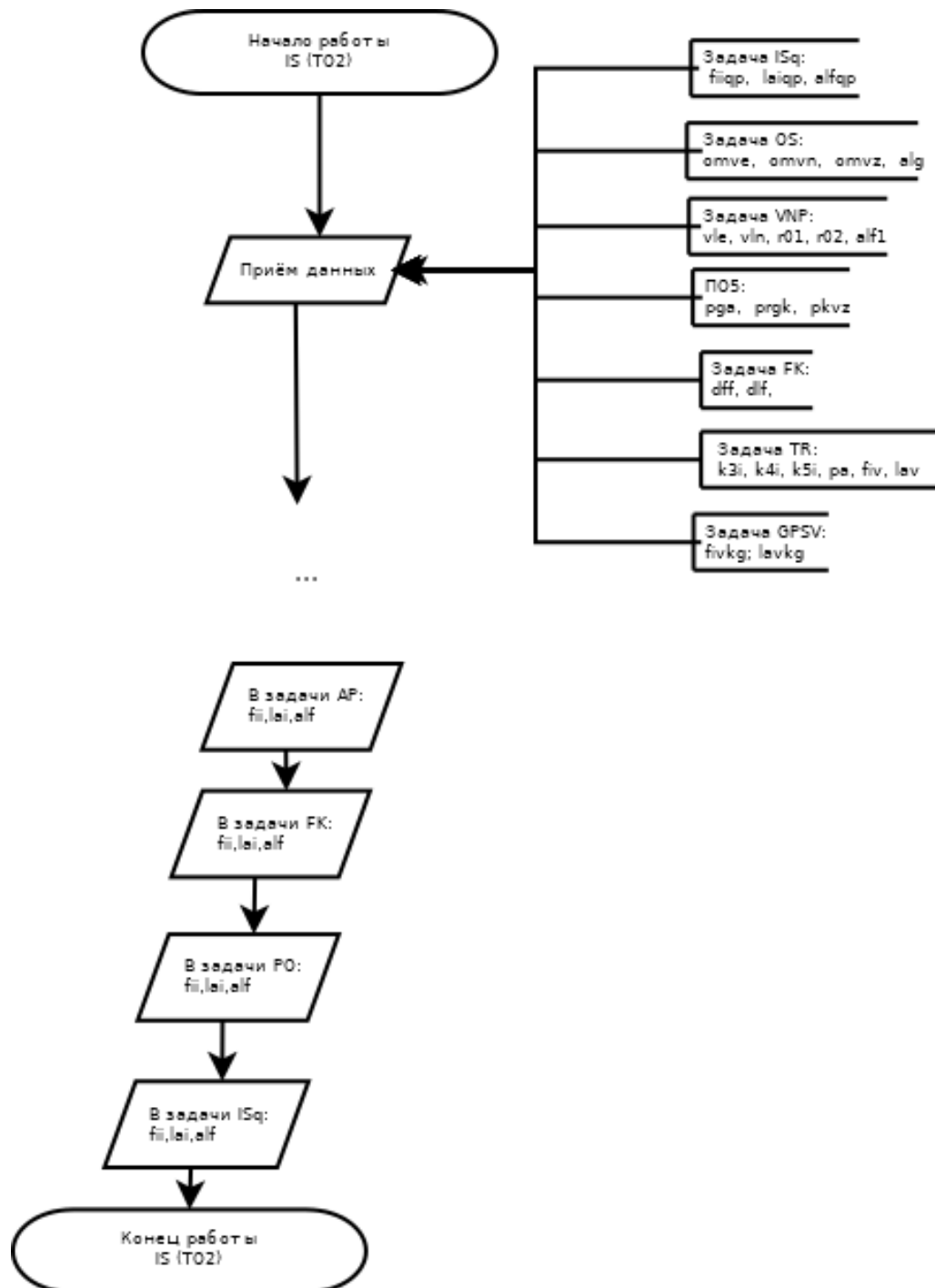


Рис. 10 – Задача IS

[illegible]