

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное

учреждение высшего образования

**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

Факультет электротехнический

Кафедра автоматики

Направление подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ С.С. Голощанов

« _____ » _____ 2018 г.

Модернизированная методика вибрационного контроля ДНГ

(тема)

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

ЮУрГУ – 27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ ВКР

Автор проекта

студент группы _____ МиЭТ-420

_____ / Д.Ю. Ямщиков

подпись _____ ФИО

_____ 20 _____ г.

Руководитель работы

Ведущий инженер - конструктор

должность

_____ / О.А. Мингалеев

подпись _____ ФИО

_____ 20 _____ г.

Нормоконтроль

Старший преподаватель

должность

_____ / В.П. Елисеев

подпись _____ ФИО

_____ 20 _____ г.

Миасс 2018

Оглавление

Аннотация	4
Оглавление	5
Введение	6
1 Динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ). Назначение и принцип работы ДНГ	7
1.1 Модель погрешности ДНГ	11
2 Шарикоподшипники как источники вибраций	13
3 Цифровая обработка сигнала (ЦОС).....	17
3.1 Понятия и термины ЦОС, применяемые в работе	20
4 Существующая методика вибрационного контроля ДНГ	26
5 Методика повышения точности частотного анализа	34
6 Краткое описание модернизированной методики.....	36
7 Краткое описание языка программирования LabVIEW	41
8 Блок-схема модернизированной методики	44
9 Описание эксперимента по испытанию разработанного ПО	79
10 Результаты эксперимента	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	83
Библиографический список	84

Введение

Одним из наиболее широко применяемых приборов в современных системах ориентации как космических аппаратов (для вывода на расчетные орбиты спутников), так и объектов военного назначения (стратегических ракет разного радиуса действия) является динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ). Производство ДНГ, наряду с другими чувствительными элементами (ЧЭ) систем стабилизации, освоено на «НПО электромеханики».

ДНГ данной разработки – это механический гироскоп, подвешенный на упругом подвесе на валу, вращающийся в шарикоподшипниковых опорах.

Данный ДНГ используется в системах ориентации, требующих довольно высокую точность. Одним из факторов, определяющих эту точность являются шарикоподшипники. На предприятии разработаны специальные мероприятия по контролю качества шарикоподшипниковых опор.

Современный уровень элементной базы для изготовления гироскопических приборов заставляет использовать быстродействующие аналоговые – цифровые преобразователи (АЦП). Поэтому на предприятии происходит постепенный переход морально устаревшей контрольно – испытательной аппаратуры на аппаратуру, использующую АЦП.

Темой настоящей выпускной – квалификационной работы является разработка модернизированной методики вибрационного контроля ДНГ с использованием АЦП и программного обеспечения (ПО) в среде программирования LabView.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ). Назначение и принцип работы ДНГ

ДНГ предназначен для использования в качестве чувствительного элемента в индикаторной системе стабилизации трехосного гиросtabilизатора и представляет собой прецессионный динамически настраиваемый гироскоп.

Сущность работы ДНГ поясняется принципиальной схемой с одним кардановым кольцом [1,2], которая приведена на рис.1.

Симметричный маховик 1 (рис.1) - носитель кинетического момента - связан с приводным валом 2 посредством упругого подвеса, состоящего из карданова кольца 3 и двух ортогонально расположенных пар упругих элементов, одной из которых 4 кольцо связано с приводным валом, другой 5 - с маховиком. Каждая пара упругих элементов имеет ось минимальной угловой жесткости, податливость к повороту вокруг которой на несколько порядков выше податливостей к повороту вокруг других, ортогональных ей осей. Для пояснения сущности работы ДНГ эти податливости можно считать равными нулю. Благодаря такой конструкции подвеса при отклонении полярной оси ZZ_{mm} маховика относительно оси ZZ_B приводного вала на угол α_0 карданово кольцо за один оборот вала совершает два периода колебаний в плоскости отклонения маховика между двумя крайними положениями, в одном из которых полярная ось ZZ_K кольца совпадает с осью ZZ_B вала (рис.2а), в другом - с осью ZZ_{mm} маховика (рис.2б).

Если в первом из этих положений угол поворота Ωt вала принять равным нулю (Ω - угловая скорость вращения вала), то движение карданова кольца вокруг оси поворота маховика описывается уравнениями:

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{2} * (1 - \cos 2\Omega t). (1)$$

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Инерционный момент кольца

$$M_{ин} = -bb\ddot{\alpha} = -2bb\Omega^2\alpha_0 \cos 2\Omega t t, (2)$$

где b - экваториальный момент инерции кольца, при $\Omega t = 0$ и $\Omega t = \frac{\pi}{2}$ будет максимальным. Этот момент при $\Omega t = 0$ передается только на приводной вал через упругие элементы 4, жесткость которых относительно осей, перпендикулярных оси $Y_{К}$, принята бесконечно большой. К маховику приложен только момент от упругих элементов 5 [1,2]:

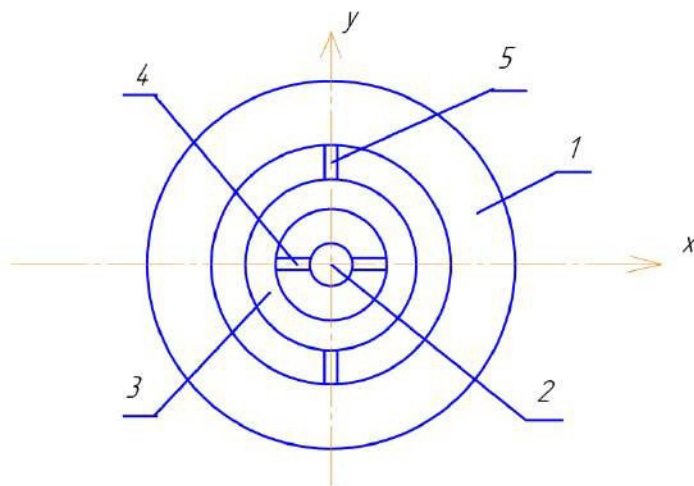


Рис.1 Принципиальная схема ДНГ с одним кардановым кольцом

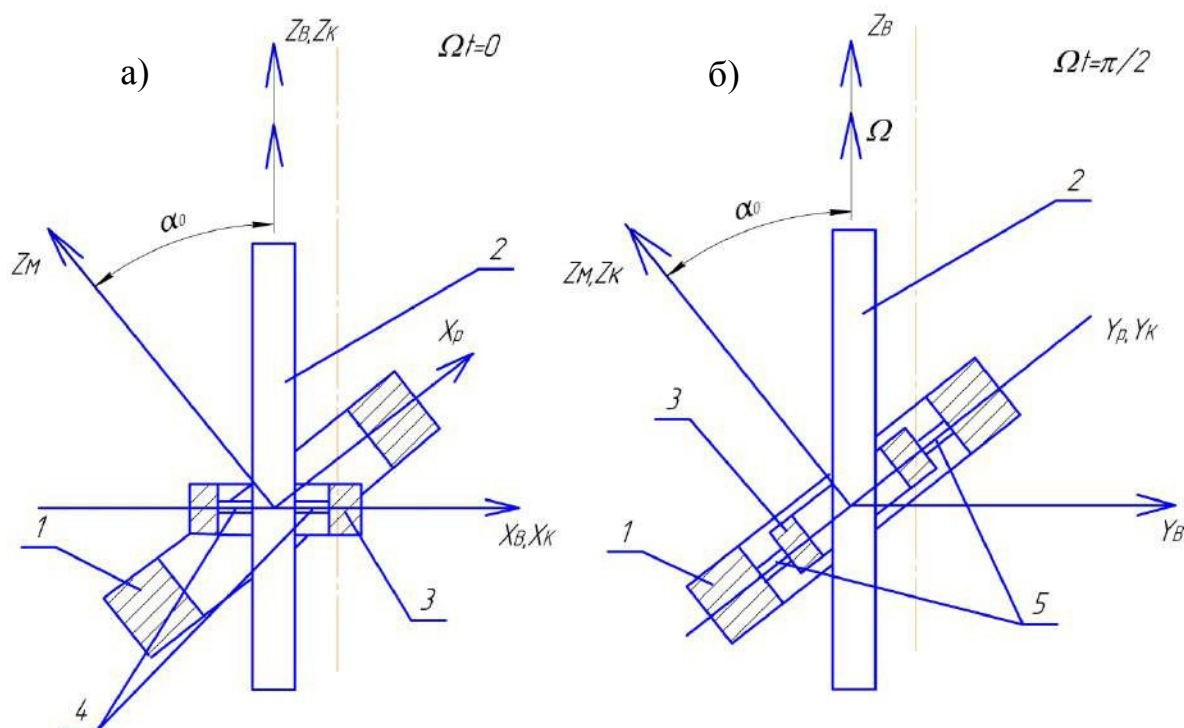


Рис.2 Крайние положения отклонения маховика ДНГ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

Лист

8

$$M_1 = M_{\text{упр1}} = k_{yy} * \alpha_0, (3)$$

где k_{yy} - угловая жесткость пары упругих элементов 5 относительно оси YY_{kk} .

При $\Omega t = \frac{\pi}{2}$ (рис.2б) момент, передаваемый от подвеса на маховик, является суммой трех моментов:

$$M_2 = M_{\text{упр}} + M_{rr} + M_{\text{ин}}, (4)$$

где $M_{\text{упр}}$ - момент от упругих элементов 4, имеющих угловую жесткость k_{xx} относительно оси XX_{kk} ,

$$M_{\text{упр}} = k_{xx} * \alpha_0. (5)$$

M_{rr} - гироскопический момент карданова кольца, кинетический момент которого $H_{kk} = a\Omega$ (a - осевой момент инерции кольца) направлен по оси ZZ_{kk} , а внешней угловой скоростью является скорость приводного вала,

$$M_{rr} = a\Omega * \Omega \sin \alpha_0 \approx a\Omega^2 \alpha_0. (6)$$

$M_{\text{ин}}$ - инерционный момент карданова кольца, определяемый выражением (1).

$$M_{\text{ин}} = -2bb\Omega^2 \alpha_0. (7)$$

Таким образом,

$$M_2 = [k_{xx} - (2bb - a)\Omega^2] \alpha_0. (8)$$

Приложенный от подвеса к маховику момент при вращении гироскопа изменяется, принимая значения от M_1 до M_2 . Среднее за один оборот вала значение этого момента определяется выражением:

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$MM_{cp} = \frac{(MM_1 + MM_2)}{2} = \frac{(kk_{xx} + kk_{yy})}{2} - \frac{(2B - a)}{2} * \Omega^2 * \alpha_0. (9)$$

Из последнего выражения следует, что $MM_{cp} = 0$ при выполнении условия:

$$\frac{(kk_{xx} + kk_{yy})}{2} - \frac{(2B - a)}{2} * \Omega^2 = 0. (10)$$

Это условие называется условием динамической настройки гироскопа, при котором упругий момент $\frac{(kk_{xx} + kk_{yy})}{2} * \alpha$ подвеса уравнивается динамическим моментом $\frac{(2B - a)}{2} * \Omega^2 * \alpha$ карданова кольца.

При выполнении условия (10) ДНГ приобретает свойство свободного гироскопа сохранять неизменным в инерциальном пространстве ось собственного вращения маховика. Угол отклонения маховика относительно корпуса содержит информацию об угле отклонения основания, на котором устанавливается прибор, от начального положения.

Упругий подвес ДНГ содержит два кардановых кольца, каждое из которых связано одной парой упругих элементов с маховиком, другой парой - с валом. Условие динамической настройки по аналогии с выражением (10) имеет вид:

$$kk_{1xx} + kk_{2xx} + kk_{1yy} + kk_{2yy} - [(2bb_1 - a_1) + (2bb_2 - a_2)] * \Omega^2 = 0, (11)$$

где параметры с индексами 1 и 2 относятся к разным кардановым кольцам.

Для гироскопа, у которого упругий подвес имеет равные жесткости по осям X и Y и одинаковые моменты инерции кардановых колец ($bb_1 = bb_2, a_1 = a_2$), т.е. подвес обладает жесткостной и инерционной симметрией, в любой момент времени упругий момент уравнивается динамическим моментом кар-

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

дановых колец. Такой гироскоп не имеет погрешности, связанной с угловой вибрацией приводного вала на удвоенной частоте вращения, в отличие от гироскопа с одним кардановым кольцом.

1.1 Модель погрешности ДНГ

Математическая модель погрешностей ДНГ [3], представляющая собой аналитическое выражение скорости ухода в зависимости от проекции кажущегося ускорения на оси чувствительности X и Y и ось собственного вращения Z гироскопа, имеет вид:

$$\omega_x = \omega_{tx} + \omega_p a_x / g + \omega_\varepsilon a_y / g + \omega_{hx} a_z / g + 2\omega_v a_x a_z / g^2, \quad (12)$$

$$\omega_y = \omega_{ty} + \omega_p a_y / g + \omega_\varepsilon a_x / g + \omega_{hy} a_z / g + 2\omega_v a_y a_z / g^2, \quad (13)$$

где a_x, a_y, a_z - проекции кажущегося ускорения основания на оси X, Y, Z прибора;

$\omega_{tx} \omega_{ty}$ - составляющие скорости ухода, не зависящие от кажущегося ускорения основания;

ω_p - составляющая скорости ухода из-за осевой разбалансировки гироскопа, вызываемая кажущимся ускорением основания, равным $1g$, в направлении, совпадающем с осью измерения ухода;

ω_ε - квадратурная составляющая скорости ухода, вызываемая кажущимся ускорением основания, равным $1g$, в направлении, перпендикулярном оси собственного вращения гироскопа и оси измерения ухода;

ω_h - полярная составляющая скорости ухода, вызываемая кажущимся ускорением основания, равным $1g$, в направлении оси собственного вращения гироскопа;

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ω_b - составляющая скорости ухода из-за линейной неравножесткости подвеса, вызываемая кажущимся ускорением основания, равным $1g$, в направлении биссектрисы угла между осью собственного вращения и осью измерения ухода.

Составляющая скорости ухода ω_t , не зависящая от кажущегося ускорения основания, определяется несколькими причинами ее появления. Это:

- неточная настройка ДНГ (консервативная составляющая скорости ухода);
- вязкое и аэродинамическое трение (диссипативная составляющая скорости ухода);
- вибрационная составляющая скорости ухода.

					<i>27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

2 Шарикоподшипники как источники вибраций

Шарикоподшипниковые (ШП) опоры являются источником вибрационных возмущений в широком спектре частот, а так как анизотропия упругих в динамических характеристик в ДНГ всегда имеет место, то при совпадении частот возмущений в осевом и радиальном направлениях возникают постоянные составляющие возмущающих (вибрационных) моментов, вызывающие уходы ДНГ [5,6].

Опыт разработки на предприятии вакуумных прецессионных динамически настраиваемых гироскопов (ДНГ) показывает, что основным фактором, определяющим точность таких приборов, является вибрация опор приводного вала. Достаточно хорошо исследовано влияние на точность ДНГ линейной вибрации в направлении оси приводного вала с частотой его вращения, обусловленное статической неуравновешенностью кардановых колец и ротора в радиальном направлении, а также другой причиной - разножесткостью упругих элементов подвеса. Исследовано влияние линейной вибрации в направлении, перпендикулярном оси приводного вала с удвоенной частотой его вращения, обусловленное непересечением осей подвеса и статической неуравновешенностью кардановых колец в осевом направлении. Влияние на гироскоп угловой вибрации приводного вала с удвоенной частотой его вращения в основном устранено с введением в конструкцию подвеса ДНГ двух одинаковых карданов колец и , проявляется только через динамическую и жесткостную асимметрию карданова подвеса. Чувствительность гироскопа к указанным выше вибрациям может быть понижена до приемлемой величины путем специальных вибрационных балансировок. Гораздо труднее снизить чувствительность гироскопа к воздействию синхронных вибраций в осевом и радиальном направлениях, порождаемых дефектами опор приводного вала. Приложенный к гироскопу уводящий выпрямленный момент при наличии таких вибраций, обусловленный так называемой вибрационной неравножесткостью механической системы, которую представляет собой гироскоп, зависит как от амплитуды вибраций, так и от со-

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

отношения частот вибровозмущения и собственных колебаний механической системы.

Оптимизация вибрационного состояния ДНГ и как следствие повышение его точности достигалось при обработке прибора различными путями, такими, как, выбор материала ротора ДНГ с малым температурным коэффициентом частоты (ТКЧ), суперфинишная обработка колец подшипников и др.

Влияние синхронных вибраций опор на гироскоп может быть снижено путем отбора (селекции) подшипников с низким уровнем вибрации на частотах, близки к собственным частотам прибора.

В процессе изготовления прибора на предприятии 8 раз производится измерение спектра вибраций подшипников ДНГ при его вращении с номинальной скоростью, а также измеряют собственные частоты прибора на выбеге ДНГ. На входном контроле шарикоподшипников также проводят контроль спектра вибраций каждого подшипника. Аппаратура и программное обеспечение для этих контрольных операций морально и физически устарело. Поэтому стояла задача разработки нового программного обеспечения для контроля вибраций шарикоподшипников автономно и в составе ДНГ с использованием современных цифровых преобразователей.

Теоретическое описание вибраций, возбуждаемых шарикоподшипниками ДНГ, можно разделить на 5 групп:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f_{\text{вр}} * k; \\
 f_2 &= f_c^H * k, f_1 - f_c^H, f_1 + f_c^H; \\
 f_3 &= f_c^H * n * k, f_3 - f_c^H, f_3 + f_c^H; \\
 f_4 &= f_c^B * n * k, f_4 - f_c^B, f_4 + f_c^B; \\
 f_5 &= 2f_{\text{в.ш}} * k, f_5 - f_c^H, f_5 + f_c^H,
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

где $f_{вр}$ - частота вращений ЧЭ;

f_c^H - частота вращения сепаратора относительно наружного кольца;

$$f_c^H = \frac{1}{2} * f_{вр} (1 - d_{ш} * \cos \frac{\beta}{D_0}), (15)$$

где $d_{ш}$ - диаметр шарика;

D_0 – диаметр подшипника по центрам шаров;

β - угол контакта шарика с кольцом подшипника;

f_c^B - частота вращения сепаратора относительно внутреннего кольца,

$$f_c^B = f_{вр} - f_c^H. (16)$$

$f_{в.ш}$ - частота вращения шариков относительно своих осей (относительно сепаратора);

$$f_{в.ш} = \frac{1}{2} * f_{вр} ((D_0^2 - d_{ш}^2 * \cos^2 \beta) / (D_0 * d_{ш})), (17)$$

n – количество шариков в подшипнике;

k – номер гармоники.

Первая группа вибраций несет информацию о перекосе колец подшипников. Одновременно эта группа вибраций несет информацию о состоянии упругого подвеса (при деформации подвеса возрастает амплитуда колебаний с частотой вращения ЧЭ) и о качестве динамической балансировки ЧЭ.

Вторая группа вибраций несет информацию о размерности шариков подшипников.

Третья группа характеризует некруглости дорожек качения наружных колец подшипников.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Четвёртая группа характеризует некруглости дорожек качения внутренних колец подшипников.

Пятая группа характеризует гранность шариков.

В таблице 1 приведены номинальные значения всех частот колебаний в Гц, возбуждаемых шарикоподшипниковыми опорами ДНГ в диапазоне до 6 кГц, рассчитанные по формулам (1) при $k \leq 4$ и $f_{вр} = 273$ Гц.

Таблица 1 - Номинальные значения всех частот колебаний ШП ДНГ

Вид дефекта	Обозначение вибрации	Угол контакта β , град	Номер гармоники			
			1	2	3	4
Дисбаланс ЧЭ, перекос колец ш/п, деформация упругого подвеса	f_1	18	273	546	819	1092
Разноразмерность шариков	f_2	18	110	221	331	442
	$f_1 - f_c^H$	18	163	436	709	982
	$f_1 + f_c^H$	18	383	656	929	1202
Некруглость дорожек качения наружных колец ш/п	f_3	18	994	1989	2983	3977
	$f_3 - f_c^H$	18	884	1878	2872	3867
	$f_3 + f_c^H$	18	1105	2099	3093	4088
Некруглость дорожек качения внутренних колец ш/п	f_4	18	1463	2925	4388	5851
	$f_4 - f_c^B$	18	1300	2763	4226	5688
	$f_4 + f_c^B$	18	1625	3088	4551	6013
Гранность шариков	f_5	18	1312	2625	3937	5249
	$f_5 - f_c^H$	18	1202	2514	3826	5139
	$f_5 + f_c^H$	18	1423	2735	4047	5360

3 Цифровая обработка сигнала (ЦОС)

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) – одно из наиболее активно развивающихся направлений компьютерных технологий. Теория ЦОС – это алгоритмы, применяемые для работы с сигналами, после их преобразования в цифровую форму. Развитие этого направления привело к революционным изменениям в целом ряде областей человеческой деятельности – коммуникации, обработке изображений для медицины, радиолокации, обработке звука и пр. [8,9]

Каждая прикладная область применяет свою технику ЦОС – алгоритмы, математический аппарат, специальные технологии.

На практике, ЦОС стала применяться в 1960 – 1970 годах, когда появились первые вычислительные машины. Первые компьютеры были достаточно громоздкими, дорогими, поэтому использовались для решения задач в наиболее важных областях. Такими областями применения были:

– радиолокация (радары) и эхолокация (сонары) – для обеспечения задач государственной безопасности;

– нефтедобыча и нефтепереработка – область деятельности с большими капиталовложениями и долей прибыли;

– космические исследования – из-за уникальности исследуемых сигналов (отсутствие повторяемости или очень большой период повторяемости);

– медицинское оборудование (томография, ультразвуковая локация и пр.) – вопросы, связанные с жизнью человека.

Сейчас ЦОС используется не только для решения государственных или военных задач, но и во многих коммерческих областях деятельности человека – мобильная телефония, проигрыватели компакт-дисков, электронная голосовая почта и др.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Теория ЦОС работает с сигналами, как в аналоговой так и в цифровой формах. Обычно, сигналы являются информацией с датчиков, измеряющих параметры физических явлений – сейсмические колебания, видимые изображения предметов, звуковые колебания и пр.

Сигналы, параметры которых имеют непрерывный диапазон значений, называются непрерывными сигналами. При прохождении непрерывных сигналов через аналогово-цифровые преобразователи (АЦП), их параметры становятся квантованными. Сигналы, содержащие квантованные параметры, называются дискретными или цифровыми сигналами.

Термин «область значений» широко используется в ЦОС. Наиболее широко распространенными сигналами являются сигналы, область значений которых представляется во временной области.

В электронике среднее значение (среднее арифметическое, полученное по всем отсчетам сигнала) характеризует постоянную составляющую (DC) сигнала. В сигнале присутствует еще и переменная составляющая (AC), которая характеризует отклонение сигнала от среднего значения. Для описания переменной составляющей сигнала используется такой параметр, как среднее квадратичное отклонение, СКО, обозначаемое греческой буквой σ .

Во многих практических задачах особый интерес представляет не величина отклонения сигнала от его среднего значения, а мощность (энергия) этих отклонений. Например – при воздействии случайного шума на электрический сигнал, результирующий сигнал получается не сложением амплитуд этих сигналов, а сложением их мощностей.

В отличие от среднего отклонения (число, отражающее усредненное значение отклонения амплитудных значений отсчетов сигнала от его среднего значения), СКО несет информацию о мощности отклонения сигнала от среднего значения. Математическая формула для расчета СКО выглядит так:

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \mu)^2, \quad (18)$$

где N - число отсчетов, x_i - значения отсчетов, μ - среднее значение отсчетов.

Такой способ вычисления СКО применим для большинства случаев, но он имеет два ограничения. Во-первых, при большом различии между СКО и средним значением могут получиться слишком большие или слишком маленькие числа. Это может привести к появлению ошибок округления. Во-вторых, при появлении новых отсчетов сигнала, придется заново пересчитывать значения СКО и среднего значения. Для решения этой проблемы используется другой способ вычислений, называемый скользящей статистикой. Для этого способа нет необходимости пересчитывать заново все отсчеты сигнала. Формула для вычисления СКО выглядит следующим образом:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=0}^{N-1} x_i \right)^2. \quad (19)$$

Для расчета этих статистических характеристик достаточно сохранять всего лишь три параметра – (1) количество отсчетов в сигнале, (2) сумму значений текущих отсчетов этого сигнала и (3) сумму квадратов значений текущих отсчетов сигнала. С каждым новым отсчетом сигнала эти параметры обновляются [8].

Понятия среднего значения и СКО носят еще один физический смысл в электронике. Среднее значение описывает измеряемую величину, СКО описывает шум или другие помехи. В этом случае величина СКО интересна только в сопоставлении со средним значением. Для этого случая вводятся еще два термина: отношение сигнал-шум – среднее значение, деленное на СКО; и коэффициент девиации (coefficient of variation, CV) – СКО, деленное на среднее значение.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ние. Наилучшим сигналом является тот, у которого большое значение отношения сигнал - шум и небольшое значение CV.

3.1 Понятия и термины ЦОС, применяемые в работе

Количество отсчетов N - задаёт необходимое количество входных отсчетов, определяет разрешающую способность результата по частоте, равную отношению частоты дискретизации к количеству отсчетов, а также время, необходимое для вычисления N -точечного ДПФ, равное произведению количества отсчетов на дискрет по времени [9].

Периодическая дискретизация - это представление непрерывного аналогового сигнала последовательностью дискретных значений с постоянным периодом (дискретом времени). Практически периодическая дискретизация выполняется путем подачи непрерывного сигнала на вход АЦП, который выдает на выход последовательность цифровых значений [9].

Частота дискретизации - частота получаемых отсчетов непрерывного сигнала, позволяющая сохранить содержащуюся в нем информацию.

Отметим важное свойство дискретизированного сигнала [9].

При периодической дискретизации с частотой f_s отсчетов в секунду невозможно различить дискретизированные значения синусоиды с частотой f_0 Гц и синусоиды с частотой $(f_0 + k \cdot f_s)$ Гц, если k — любое целое число.

В следствие этого, никакая последовательность значений не может однозначно описать одну и только одну синусоиду без дополнительной информации. Это свойство периодической дискретизации приводит к тому, что любая последовательность дискретных значений представляет бесконечное количество разных синусоид.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Сигнал с ограниченным спектром - непрерывный действительный сигнал, спектр которого симметричен относительно некоторой частоты f_0 и его значения равны 0 для частот выше $(f_0 + B)$ Гц и ниже $(f_0 - B)$ Гц.

На практике, термин сигнал с ограниченным спектром означает, что мощность энергии сигнала за пределами диапазона $\pm B$ Гц ниже чувствительности нашей системы.

В применяемых схемах АЦП f_s всегда берется больше $2B$, чтобы оставить некоторый промежуток в районе частот $\pm f_s/2$. Это определяющее соотношение: $f_s > 2B$ — известное как критерий Найквиста.

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) - это математическое преобразование, используемое для определения гармонического, или частотного, состава дискретных сигналов.

ДПФ позволяет анализировать, преобразовывать и синтезировать сигналы в частотной области такими способами, которые невозможны при непрерывной (аналоговой) обработке сигналов во временной области.

В области обработки дискретных сигналов ДПФ используется для преобразования дискретной временной функции $x(t)$ в дискретную функцию $X(f)$ в частотной области, что дает возможность определить частотный состав любого сигнала для последующего анализа и обработки.

Рассмотрим важные свойства ДПФ.

Линейность. Это свойство заключается в том, что ДПФ суммы двух сигналов равно сумме ДПФ отдельных сигналов.

Комплексный характер преобразования. Это приводит к тому, что для действительных сигналов N -точечное ДПФ дает только $N/2 + 1$ независимых отсчетов (амплитуды спектральных линий).

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Разрешающая способность ДПФ по частоте (ширина спектральной линии) составляет f_s/N .

Отметим важную особенность ДПФ, известную как *утечка спектра*.

ДПФ даст правильный результат, когда входная последовательность данных будет иметь составляющие на частотах, кратных фундаментальной частоте f_s/N . Если входной сигнал содержит гармонику с некоторой промежуточной частотой, лежащей между соседними частотами, кратными фундаментальной частоте, то эта гармоника входного сигнала проявится в некоторой степени на всех N частотах анализа.

В этом и состоит эффект утечки спектра - она приводит к тому, что спектр входного сигнала, частота которого не равна точно центральной частоте ни одной из линий спектра, «растекается» по всем остальным линиям. Утечка – неизбежный эффект при выполнении ДПФ реальных последовательностей конечной длины.

Эта особенность ДПФ приводит к тому, что результаты преобразования представляют собой только аппроксимацию истинного спектра исходного непрерывного сигнала.

Хотя существуют разные способы минимизации утечки, её не возможно устранить полностью.

Взвешивание окном во временной области уменьшает утечку мощности спектральных линий ДПФ за счет уменьшения уровня боковых лепестков функции преобразования. Это достигается тем, что отсчеты в начале и в конце последовательности умножаются на весовые коэффициенты и постепенно приводятся к одному общему значению.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Каждый раз, когда мы вычисляем ДПФ от последовательности конечной длины, мы по умолчанию умножаем эту последовательность на прямоугольное окно, все отсчеты которого равны единице, а за пределами окна равны 0.

Именно резкие переходы прямоугольного окна от 0 к 1 являются причиной появления боковых лепестков функции преобразования. Чтобы минимизировать утечку спектра, обусловленную этими боковыми лепестками, нам необходимо уменьшить их амплитуду, используя другие, отличные от прямоугольного, окна.

Широкие главные лепестки различных непрямоугольных окон ухудшают разрешающую способность взвешенного ДПФ почти в два раза. Но выгоды от снижения утечки обычно перевешивают потерю разрешающей способности.

Выбор взвешивающего окна — всегда компромисс между шириной главного лепестка, уровнем первого бокового лепестка и скоростью убывания боковых лепестков с ростом частоты.

Поясним связанное с ДПФ понятие отношение сигнал/шум. Оно характеризует возможность обнаружения сигнала в шуме. Это становится возможным благодаря усилению сигнала, связанному с вычислением внутренней корреляции, которое имеет место при вычислении N -точечного ДПФ. Кроме этого естественного улучшения отношения сигнал/шум, связанного с процедурой вычисления ДПФ, ещё можно получить дополнительное интегральное улучшение при усреднении результатов ДПФ.

Отношение сигнал/шум определяется как отношение уровней мощности сигнала и мощности шума в частотной области. Существуют объективные причины, по которым трудно предсказать, каким будет отношение сигнал/шум для любого конкретного случая. Это объясняется тем, что мы не можем точно предсказать энергию данных N отсчетов случайного шума. Кроме того, если частота сигнала не совпадает с центральной частотой спектральной линии, возникаю-

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

щая при этом утечка приводит к повышению уровня шума и снижает отношение сигнал/шум. Теоретически мы могли бы получать неограниченно большие отношения сигнал/шум, увеличивая размер ДПФ. Но так как количество операций умножения при выполнении ДПФ растет пропорционально N^2 , то вычисление ДПФ длинных последовательностей становится трудоемким. Поскольку операции сложения выполняется быстрее, чем умножения, поэтому мы будем усреднять результаты нескольких ДПФ для повышения чувствительности при обнаружении сигналов.

В 1965 году была опубликована статья Кули и Тьюки, описывающая эффективный алгоритм реализации ДПФ. Этот алгоритм сегодня известен как быстрое преобразование Фурье (БПФ). До появления БПФ ДПФ длиной в несколько тысяч точек требовало так много времени, что его применение ограничивалось крупными исследовательскими и университетскими вычислительными центрами. Благодаря алгоритму БПФ, описанному Кули и Тьюки, а также полупроводниковой промышленности, сегодня 1024-точечное ДПФ может быть вычислено за несколько секунд на домашнем компьютере.

При преобразовании непрерывных сигналов в цифровую форму с помощью АЦП частота дискретизации должна быть не менее чем в два раза больше ширины спектра непрерывного сигнала, чтобы предотвратить наложения в частотной области. На практике в зависимости от приложения используют частоту дискретизации, которая в два с половиной - четыре раза превышает ширину спектра сигнала. Если мы знаем, что ширина спектра преобразуемого сигнала не очень велика по сравнению с максимальной частотой преобразования нашего АЦП, от наложений легко избавиться.

Работая с реальным сигналом, мы предполагаем, что спектр сигнала убывает с ростом частоты.

Если у нас есть подозрение, что возникает наложение или что непрерывный сигнал содержит широкополосный шум, необходимо перед АЦП

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

включить аналоговый фильтр нижних частот (ФНЧ). ФНЧ - это фильтр, который пропускает сигналы с частотами от 0 Гц до некоторой заданной частоты и подавляет сигналы с более высокими частотами.

Частота среза ФНЧ должна быть несколько выше максимальной интересующей нас частоты и ниже половины частоты дискретизации. Под частотой среза ФНЧ понимается наивысшая частота полосы пропускания для ФНЧ, на которой АЧХ (амплитудно-частотная характеристика) еще не выходит за пределы пульсаций полосы пропускания.

Под полосой пропускания понимается диапазон частот сигнала, в котором фильтр пропускает энергию сигнала на выход с минимальным ослаблением. Обычно определяется как диапазон частот, в котором АЧХ фильтра не выходит за пределы заданной неравномерности.

Хотя взвешивание окном и уменьшает утечку спектра, оно не устраняет проблему полностью. Даже при использовании окна мощные спектральные составляющие могут замаскировать слабые компоненты спектра. Это особенно заметно, когда исходные данные содержат постоянную составляющую. При вычислении БПФ в этом случае постоянная составляющая высокого уровня на частоте 0 Гц закрывает соседние компоненты спектра. Этот эффект нулевой линии устраняется вычислением среднего значения исходных данных и вычитанием его из исходной последовательности. Операции усреднения и вычитания должны выполняться до взвешивания окном во временной области. Этот подход позволяет сделать постоянную составляющую равной нулю и удаляет составляющую с частотой 0 Гц из результата БПФ.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Существующая методика вибрационного контроля ДНГ

Методика получения спектров сигналов должна решить три разнородных задачи.

Первая состоит во входном контроле ШП. Решение данной задачи не является целью данной работы, поэтому кратко опишем её.

Специфика задачи заключается в том, что измерительная установка не должна создавать ни каких других сигналов кроме несущих информацию о ШП. Эта подзадача решается применением синхронного гистерезисного двигателя с газостатическим подвесом. Электродвигатель такого типа обеспечивает высокую точность выставки частоты вращения, а газостатический подвес исключает шумы от опор ротора двигателя.

К нерешённым вопросам следует отнести следующие моменты.

Вращение возможно лишь на частоте питания 50 Гц.

Это приводит к тому, что амплитуды и частоты полученного спектра сигнала с вибродатчика приходится пересчитывать для рабочей частоты вращения.

Съём сигнала возможен только в осевом канале.

Это приводит к неполноте информации о ШП.

Вторая задача состоит в контроле спектров прибора на рабочей частоте вращения.

Специфика задачи заключается в том, что в приборе одновременно вращаются два ШП. Из-за того, что углы контакта (конструкционный параметр) у каждого ШП отличаются, частоты возбуждаемых колебаний могут различаться на единицы герц.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Существующая методика обеспечивает получение усреднённых спектров вибраций прибора по обоим каналам (осевой и радиальный) за 20 секунд (182 вычисления спектра для усреднения по каждой спектральной линии), для полосы частот до 4,2 кГц. Для каждой амплитуды спектральной линии вычисляется также СКО (по 182 значениям) как характеристика стационарности каждой спектральной линии.

Реализация существующей методики даёт возможность оператору вывести на печать усреднённый спектр вибраций прибора по обоим каналам в виде столбчатой диаграммы с количеством линий 462 и шириной одной линии 9,101 Гц.

Кроме того, применение методики повышения точности позволяет уточнить частоту обособленного пика с точностью до десятых Гц и амплитуду обособленного пика в диапазоне $\pm 17\%$ от её не уточнённого значения.

Оператор фиксирует амплитуду и СКО амплитуды виброускорения на следующих частотах: частота вращения ротора, удвоенная частота вращения ротора и на второй гармонике мелькания шариков по наружному кольцу.

Опишем важные моменты алгоритма получения спектра.

Спектр вибраций для каждого канала (осевого и радиального) получается в результате применения алгоритма БПФ к $N = 2048$ отсчётам (для каждого канала) полученным с частотой дискретизации $F_{\text{дискрет}} = 18,64$ кГц.

Выбор частоты дискретизации обусловлен тем, что частота Найквиста в этом случае равная 9,32 кГц обеспечивает отсутствие эффекта наложения спектральных линий так как рассматриваемый диапазон в 4,2 кГц меньше частоты Найквиста более чем в 2 раза. Это позволяет утверждать, что частоты большие 9,32 кГц не проникают в рассматриваемый диапазон. Кроме того, выбранная частота дискретизации обеспечивает набор необходимого количества отсчётов одного спектра за $(2048/18,64\text{кГц}) = 0,101$ с. Это позволяет за приемлемое вре-

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

мя (20 с) получить 182 спектра и осреднить их, повышая тем самым достоверность результата. Достоверность значений осредненного спектра оценивается величиной СКО каждой линии по следующему критерию.

Если величина (3*СКО) превышает 10% от амплитуды спектральной линии осреднённого спектра, то величина амплитуды данной линии вызывает сомнения и не может рассматриваться как точное. Причина появления таких спектральных линий кроется в том, что частотное разрешение 9,101 Гц довольно велико и это приводит к тому, что в одну линию могут попасть две и более гармоники. Они порождают биение амплитуды спектральной линии (рост СКО) и не возможность применения методики повышения точности к данной линии.

Расчёт СКО ведётся по формуле скользящей статистики:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=0}^{N-1} x_i \right)^2, \quad (20)$$

где N - количество отсчётов, x_i - измеряемая величина.

Данный способ вычисления позволяет по каждому вновь полученному отсчёту производить уточнение СКО.

Для того, чтобы получаемый спектр не искажался из-за конечности выборки вызванной ограниченностью времени наблюдения применяется временное окно, сглаживающее исходную реализацию таким образом, чтобы подавить резкие вариации на её начальном и конечном участках. В данном алгоритме применяется косинусоидальное сглаживающее окно Ханна - одно из наиболее ранних и широко используемых окон в ЦОС.

Рассмотрим блок-схему алгоритма расчёта спектров прибора (осевого и радиального каналов), которая представлена на рис.3.

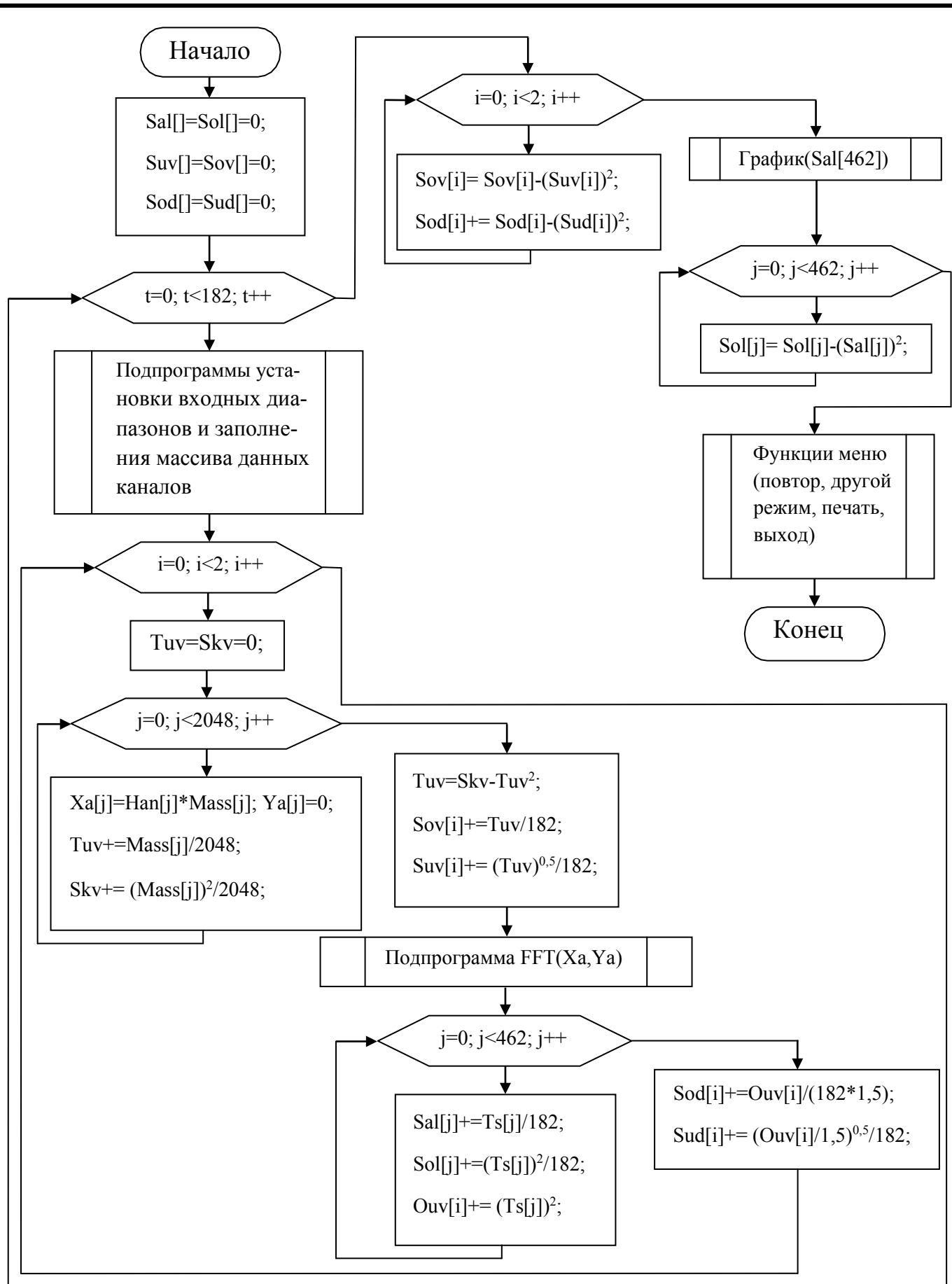


Рис.3 Блок-схема первого режима работы

В начале мы видим блок, инициализирующий нулями следующие массивы:

Sal[] - массив осреднённых амплитуд спектральных линий, 462 значения;

Sol[] - массив СКО осреднённых амплитуд спектральных линий, 462 значения;

Suv[] - массив осреднённых значений ОУВ каждого канала, найденных во временной области, 2 значения;

Sov[] - массив СКО осреднённых значений ОУВ каждого канала, найденных во временной области, 2 значения;

Sod[] - массив осреднённых значений ОУВ каждого канала, найденных в частотной области, 2 значения;

Sud[] - массив СКО осреднённых значений ОУВ каждого канала, найденных в частотной области, 2 значения.

Далее следует цикл получения спектров и накопления сумм для вычислений осреднённых спектров и СКО спектральных линий, ОУВ и СКО ОУВ (цикл по t).

В теле цикла мы видим блок подпрограмм заполнения массива отсчётов Mass[] и цикл поканальной обработки этого массива (цикл по i).

В теле цикла поканальной обработки мы видим инициализацию двух переменных:

Tuv - текущий уровень вибрации;

Skv - текущая сумма квадратов отсчётов.

Далее в теле цикла поканальной обработки находится цикл обработки отсчётов канала (цикл по j до 2048), включающий в себя:

- подготовку отсчётов к процедуре FFT путём перемножения их на весовые коэффициенты окна Ханна;

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- накопление средних суммы значений и суммы квадратов значений отсчётов канала.

После цикла обработки отсчётов канала следует блок накапливающий сумму значений ОУВ канала и сумму квадратов ОУВ для расчёта ОУВ во временной области.

Далее следует процедура FFT после которой в цикле обработки линий спектра (цикл по j до 462) происходит накапливание средних суммы значений амплитуд линий и суммы квадратов амплитуд. Также накапливается сумма квадратов значений амплитуд линий необходимая для вычисления ОУВ в частотной области.

После завершения цикла по t происходит вычисление ОУВ для каждого канала во временной и частотной областях.

Далее следует построение графиков спектров каналов и цикл вычисления СКО для каждой линии спектра каждого графика.

Третья задача состоит в поиске собственных частот прибора.

Специфика задачи заключается в том, что на выбеге подшипниковые частоты постоянно сдвигаются к нулю и уменьшаются по амплитуде. Это приводит к невозможности усреднения и к необходимости фиксировать максимальные значения амплитуд спектральных линий. Когда подшипниковая частота становится равной собственной частоте прибора в спектральной линии содержащей эту частоту амплитуда достигает максимума, что позволяет применяя методику повышения точности получить значение собственных частот $\approx 0,987 \cdot \omega_{\text{прибора}}$ с точностью до сотых Герца.

Рассмотрим блок-схему алгоритма расчёта собственных частот прибора (осевого и радиального каналов), которая представлена на рис.4.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

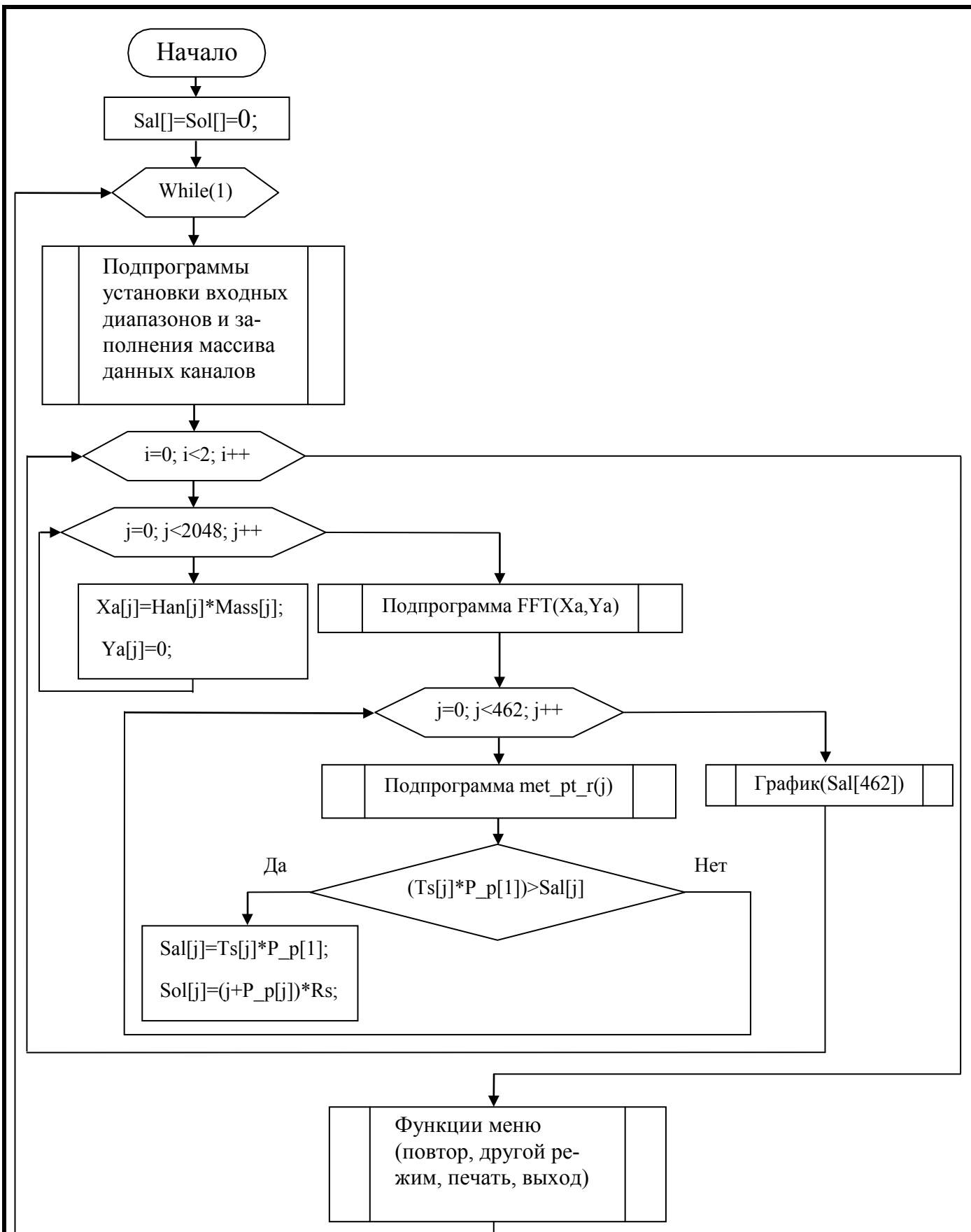


Рис.4 Блок-схема второго режима работы

Вначале мы видим блок, инициализирующий нулями следующие массивы:

Sal[] - массив амплитуд спектральных линий, 462 значения;

Sol[] - массив частот спектральных линий, 462 значения.

Далее в бесконечном цикле происходит получение текущего спектра, уточнение каждой спектральной линии (с помощью методики повышения точности) и сравнение уточнённых амплитуд с предыдущим максимумом каждой линии (с заменой максимума на уточнённое значение амплитуды, если он оказался меньше её).

После чего, следует построение графика спектра каждого канала.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 Методика повышения точности частотного анализа

В существующих анализаторах спектра частота вычисляется как произведение номера спектральной линии на частотное разрешение (ширину спектральной линии).

При необходимости точно узнать частоту составляющей сигнала приходится повышать частотное разрешение путём увеличения числа отсчётов, что приводит к увеличению времени наблюдения нужного для расчёта спектра сигнала.

К тому же, применение любого не прямоугольного окна для сглаживания утечек спектра, ухудшает частотное разрешение как минимум в два раза и занижает амплитуду составляющих сигнала.

Специалистом АО "НПО-Электромеханика" Стёпиным Виктором Владимировичем, была разработана и успешно применяется методика повышения точности, позволяющая уточнять частоту составляющей сигнала до сотых Герца, а амплитуду до десятых м/с².

Исходные предположения:

- в каждой спектральной линии содержится не более одной составляющей сигнала;
- составляющие сигнала находятся в отстоящих как минимум на две линии друг от друга спектральных линиях;
- растекание спектра при применении окна Хана приводит к появлению амплитуд в предыдущей и последующей линиях, причём в линиях отстоящих дальше, величины амплитуд возникающих от растекания спектра считаются пренебрежимо малыми.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Алгоритм уточнения основан на нахождении отношения предыдущей и последующей амплитуд спектральных линий, относительно номера линии в которой надо уточнить частоту и амплитуду.

Далее, по найденному отношению, вычисляются поправки к номеру и к амплитуде частотной линии.

Рассмотрим адекватность исходных предположений.

Если в спектральную линию попадают две или более гармоники сигнала, то в данной линии будет наблюдаться биение амплитуды, что приведёт к повышению значения СКО амплитуды линии. Разделить их возможно только повысив разрешающую способность БПФ. Поскольку для анализа спектра достаточно уточнять частоты и амплитуды в заранее известных линиях, содержащих частоты обособленных пиков, то необходимости в повышении разрешающей способности БПФ не возникает.

Если обособленные пики расположены в спектральных линиях через одну линию, то применить методику повышения точности не получится, так как в амплитуде "общей" линии будут влияния от обоих обособленных пиков, а её амплитуда обязательно участвует в уточнении обоих пиков. В этом случае СКО амплитуд линий не будет значительным так как биения амплитуд не будет. Разделить их возможно лишь повысив разрешающую способность БПФ. Как и для первого предположения необходимости в этом не возникает.

Третье предположение основано на том, что боковые лепестки возникающие от применения окна Ханна резко спадают и утечкой в них можно пренебречь.

Таким образом, применение методики повышения точности позволяет уточнять частоты и амплитуды лишь у тех сигналов, о которых имеется дополнительная информация: известна структура сигнала, диапазоны спектральных

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

линий, содержащих обособленные пики, в которых надо искать максимумы и уточнять их параметры.

Применение методики повышения точности в нашем случае для снятия спектров прибора и поиска собственных частот вполне оправданно, так как нам известна структура сигналов и необходимые диапазоны частот.

6 Краткое описание модернизированной методики

За прототип был взят виртуальный прибор из примера «AmplitudeSpectrum (sim).vi» демонстрирующий возможности виртуального прибора «FFT Spectrum (Mag-Phase).vi»: применение различных сглаживающих окон, построение спектров амплитуд и фаз при разных законах осреднения (vector averaging - векторное осреднение, RMS averaging - среднеквадратичный закон осреднения, no averaging - без осреднения) и разных способах осреднения (Linear - осреднение в течении определённого количества циклов, Exponential - осреднение в течении неограниченного количества циклов).

Данный пример был дополнен виртуальными приборами (ВП) взятыми из библиотеки DT-link 3 поставляемой изготовителем платы АЦП DT-9837. Они позволили подключить к ПК плату АЦП и настроить её, задав частоту дискретизации и описав датчики на входе платы.

Для каждого режима работы (получение спектров каналов и нахождения собственных частот прибора) был написан свой ВП: «ПервыйРежимРаботы.vi» и «ВторойРежимРаботы.vi». Они начинают работать в зависимости от выбора оператора. Оператор вызывает «ГлавноеМеню.vi», где вводит необходимую информацию для распечатки и сохранения, выбирает режим работы и может закончить работу программы по кнопке ВЫХОД.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Опишем работу каждого ВП.

«ПервыйРежимРаботы.vi»

В первом кадре структуры FlatSequenceStructure (структура задаёт последовательность выполнения алгоритма путём помещения частей кода в кадры, выполняемые слева на право) ВП «PlataDT_2_kanala.vi» задаёт плате АЦП DT9837 следующий режим работы:

- два входных канала с недифференциальными аналоговыми входами;
- входной диапазон обоих каналов (± 10 В);
- параметры дискретизации входного сигнала: частота дискретизации 18640 Гц, количество отсчётов на канал 2048;
- непрерывный сбор данных;
- в качестве источников сигналов указаны датчики с питанием от платы АЦП (IEPE-вибродатчики).

Также в первом кадре расположен цикл с конечным числом итераций ForLoop на 182 итерации (общее время выполнения – 20 с), необходимый для осреднения вычисляемых параметров.

В этом цикле происходит поканальная обработка полученных с АЦП данных. Рассмотрим первый канал (второй программируется аналогично).

«ВычислительБезОсреднения.vi» настраивает «FFT Spectrum (Mag-Phase).vi» на работу в режиме без осреднения и выводе спектра в линейном режиме (не в дБ).

Далее в ВП «ТекущееМО.vi» происходит вычисление текущего среднего спектра (каждой линии текущего спектра) и накопление суммы спектров.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Одновременно, в «ВП ТекущаяСуммаКвадратов.vi» происходит накопление суммы квадратов спектра (каждой линии текущего спектра).

В ВП «3СКО.vi» происходит вычисление СКО спектра (каждой линии) способом скользящей статистики. После умножения на 3 результат выходит из ВП.

Далее строится график на котором может быть отражена следующая информация:

- текущее МО спектра;
- текущая оценка погрешности (разброса) вычисления амплитуд каждой линии в виде 3СКО;
- сумма МО и оценки погрешности спектра.

В ВП «Текущие МО и СКО ОУВ.vi» происходит вычисление МО ОУВ (в частотной области, для 462 линий спектра) и СКО с применением способа скользящей статистики (уточнение после каждого из 182-х текущих спектров).

В ВП «МПТ для режима работы 1.vi» происходит вычисление следующих параметров:

- уточнённые значения амплитуды и частоты вращения ДНГ (по частоте вращения 274 Гц определяется спектральная линия, далее с помощью методики повышения точности (МПТ) вычисляются уточнённые параметры). Также вычисляется оценка погрешности(3*СКО) спектральной линии, содержащей частоту вращения;

- уточнённые значения амплитуды и частоты двойной частоты вращения ДНГ (по частоте вращения 548 Гц определяется спектральная линия, далее с помощью методики повышения точности (МПТ) вычисляются уточнённые па-

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

раметры). Также вычисляется оценка погрешности (3*СКО) спектральной линии, содержащей двойную частоту вращения;

- уточнённые значения амплитуды и частоты максимума в диапазоне частот от 1980 Гц до 2020 Гц. Также вычисляется оценка погрешности (3*СКО) спектральной линии, содержащей максимум диапазона.

В ВП «МПТ для режима работы 1 дополнительно.vi» происходит вычисление следующих параметров:

- уточнённые значения амплитуды и частоты трёх обособленных пиков в диапазоне частот от 3800 Гц до 4200 Гц. Также вычисляется оценки погрешности (3*СКО) спектральных линий, содержащих амплитуды обособленных пиков диапазона.

Все полученные значения параметров выводятся на экран в виде таблиц для каждого канала. Обновление значений в таблицах происходит на каждой итерации (182 раза за время работы первого кадра).

Во втором кадре в зависимости от выбранного оператором в ВП «ГлавноеМеню.vi» режима сохранения (сохранение в файл с распечаткой или только сохранение в файл) выполняются соответствующие действия по сохранению полученных результатов.

«ВторойРежимРаботы.vi»

В первом кадре структуры FlatSequenceStructure (структура задаёт последовательность выполнения алгоритма путём помещения частей кода в кадры, выполняемые слева на право) ВП «PlataDT_2_kanala.vi» задаёт плате АЦП DT9837 такой же режим работы как и для ВП «ПервыйРежимРаботы.vi».

Также в первом кадре расположен цикл с бесконечным числом итераций WhileLoop с выходом из цикла и возвратом в ВП «ГлавноеМеню.vi» по кнопке Выход.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В этом цикле происходит поканальная обработка полученных с АЦП данных. Рассмотрим первый канал (второй программируется аналогично).

«ВычислительПикХолд.vi» настраивает «FFT Spectrum (Mag-Phase).vi» на работу в режиме сохранения максимальных значений амплитуд спектра и выводе спектра в линейном режиме (не в дБ).

Далее строится график на котором отражены максимальные значения амплитуд за всё время работы ВП (до нажатия кнопки ВЫХОД).

В ВП «МПП для режима работы 2.vi» происходит вычисление следующих параметров:

- уточнённые значения амплитуды и частоты максимума в диапазоне частот от 600 Гц до 800 Гц (для радиального канала: от 750 Гц до 950 Гц). Также вычисляется оценка погрешности ($3 \cdot \text{СКО}$) спектральной линии, содержащей максимум диапазона;

- уточнённые значения амплитуды и частоты максимума в диапазоне частот от 1550 Гц до 1800 Гц (для радиального канала: от 2050 Гц до 2500 Гц). Также вычисляется оценка погрешности ($3 \cdot \text{СКО}$) спектральной линии, содержащей максимум диапазона.

Все полученные значения параметров выводятся на экран в виде таблиц для каждого канала. Обновление значений в таблицах происходит на каждой итерации (до нажатия кнопки ВЫХОД).

Во втором кадре в зависимости от выбранного оператором в ВП «ГлавноеМеню.vi» режима сохранения (сохранение в файл с распечаткой или только сохранение в файл) выполняются соответствующие действия по сохранению полученных результатов.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7 Краткое описание языка программирования LabVIEW

LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) — это среда разработки и создания на графическом языке программирования «G» прикладных (инженерных) программ. Первая версия LabVIEW была выпущена в 1986 году для Apple Macintosh, в настоящее время существуют версии для UNIX, Linux, Mac OS и Microsoft Windows [10,11].

LabVIEW используется для написания программ в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами.

Графический язык программирования «G», используемый в LabVIEW, основан на понятии потока данных. Последовательность выполнения операторов программы определяется не порядком их следования (как в императивных языках программирования), а наличием данных на входах этих операторов. Операторы, не связанные по данным, выполняются параллельно в произвольном порядке [10].

Программа LabVIEW называется и является виртуальным прибором (ВП) и состоит из двух частей:

- блок-диаграммы, описывающей логику работы ВП;
- лицевой панели, описывающей внешний интерфейс ВП.

Виртуальные приборы могут использоваться в качестве подприборов для построения других виртуальных приборов.

Лицевая панель виртуального прибора содержит средства ввода-вывода: кнопки, переключатели, светодиоды, верньеры, шкалы, информационные табло и т.п. Они используются пользователем для управления виртуальным прибором, а также другими виртуальными приборами для обмена данными.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Блок-диаграмма содержит функциональные узлы, являющиеся источниками, приемниками и средствами обработки данных. Также компонентами блок-диаграммы являются терминалы и управляющие структуры (являющиеся аналогами таких элементов текстовых языков программирования, как условный оператор «IF», операторы цикла «FOR» и «WHILE» и т. п.). Функциональные узлы и терминалы объединены в единую схему линиями *связей* [10,11].

Плюсы LabVIEW для разработки программ:

1. LabVIEW изначально создавалась для инженеров, а не для программистов. Поэтому эта среда и язык программирования «G» сделаны максимально интуитивно понятными.
2. LabVIEW - графический язык программирования, поэтому разработчику не нужно тратить время на проверку синтаксиса, поиск ошибок и опечаток.
3. LabVIEW изначально создано для написания программ для автоматизации в промышленности и учебных лабораторий. Сейчас очень многие известные производители плат сбора данных, камер машинного зрения, промышленного оборудования поставляются вместе с ним готовый набор библиотек для их оборудование в LabVIEW, с большим количеством примеров. Это позволяет в сжатые сроки начать работу с оборудование и настроить его под свои задачи.
4. В LabVIEW имеется набор готовых библиотек для обработки и анализа сигнала, различные преобразования, фильтры и т.д.
5. Среда LabVIEW - модульная система. Поэтому установив нужный модуль, можно расширить ее возможности. Так есть модуль для машинного зрения, модуль работы со звуком, шаговыми двигателями, модуль для генерации отчетов в MS Office, Internet модуль для передачи и публикации данных в сети.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

6. Среда LabVIEW позволяет создавать законченные приложения и компилировать полноценное exe приложение.

7. LabVIEW - кроссплатформенная среда. Помимо написания программ под разные виды операционных систем, она позволяет писать ПО для Windows Mobile, встраиваемых систем (CompactRIO, систем на основе Linux и Windows Embedded).

8. Написанные на LabVIEW программы очень легко работают с параллельными потоками, они очень легко создаются и управляются, что очень важно в больших проектах.

9. LabVIEW позволяет создавать как маленькие простые приложения, так и огромные проекты с большим числом датчиков и сложным интерфейсом пользователя.

Основные недостатки LabVIEW:

1. Несмотря на огромную гибкость данной среды, есть некоторые ограничения, например диалоги с пользователем в LabVIEW писать неудобно (нет текстового редактора).

2. Чтобы запустить приложение созданное с помощью LabVIEW на компьютере в котором сама среда не установлена, нужно ставить LabVIEW Run-Time (или делать инсталлятор, при установке которого Run-Time поставится сам).

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

8 Блок-схема модернизированной методики

Рассмотрим и опишем по частям блок диаграмму разработанного ВП, реализующего модернизированную методику вибрационного контроля ДНГ.

Работа программы начинается с ввода информации и выбора режима работы ВП «ГлавноеМеню.vi».

Информация

Оператор (Фамилия)
▷ Дима Ямщиков

Децимальный номер прибора ДНГ:
▷ KEAF.408111.016

Заводской номер прибора ДНГ:
▷ B007

Путь к файлу отчёта:
%

Дата измерений:

ГЛАВНОЕ МЕНЮ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

ВЫБЕРИТЕ РЕЖИМ РАБОТЫ

1-ый режим работы 2-ой режим работы

ВЫХОД ИЗ ПРОГРАММЫ

Рис.5 Front Panel ВП «ГлавноеМеню.vi»

На данном рисунке приведена Front Panel ВП «ГлавноеМеню.vi». На которой оператор может задать необходимую информацию для сохранения в файл и распечатки, а также выбрать режим работы программы (получение спектров осевого и радиального каналов и поиск собственных частот прибора).

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

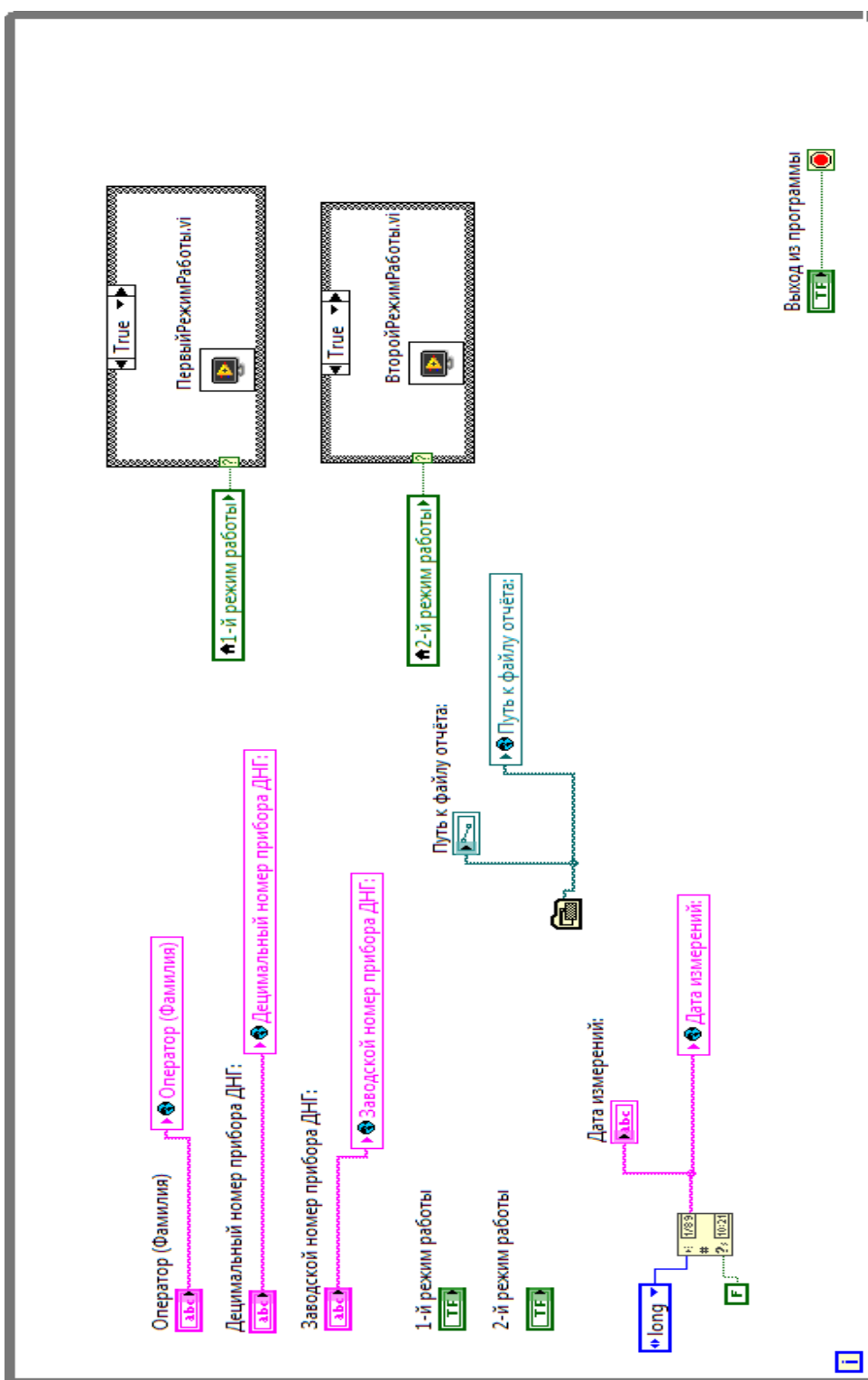


Рис.6 Block Diagram ВП «ГлавноеМеню.vi»

На этом рисунке приведена Block Diagram ВП «ГлавноеМеню.vi». В цикле WhileLoop (цикл с выходом по условию нажатия кнопки ВЫХОД ИЗ ПРОГРАММЫ) значения введенные оператором присваиваются глобальным переменным, которые используются в обоих режимах работы программы. Режимы выбираются по нажатию соответствующих кнопок.

При нажатии кнопки «1-ый режим работы» запускается ВП «ПервыйРежимРаботы.vi».

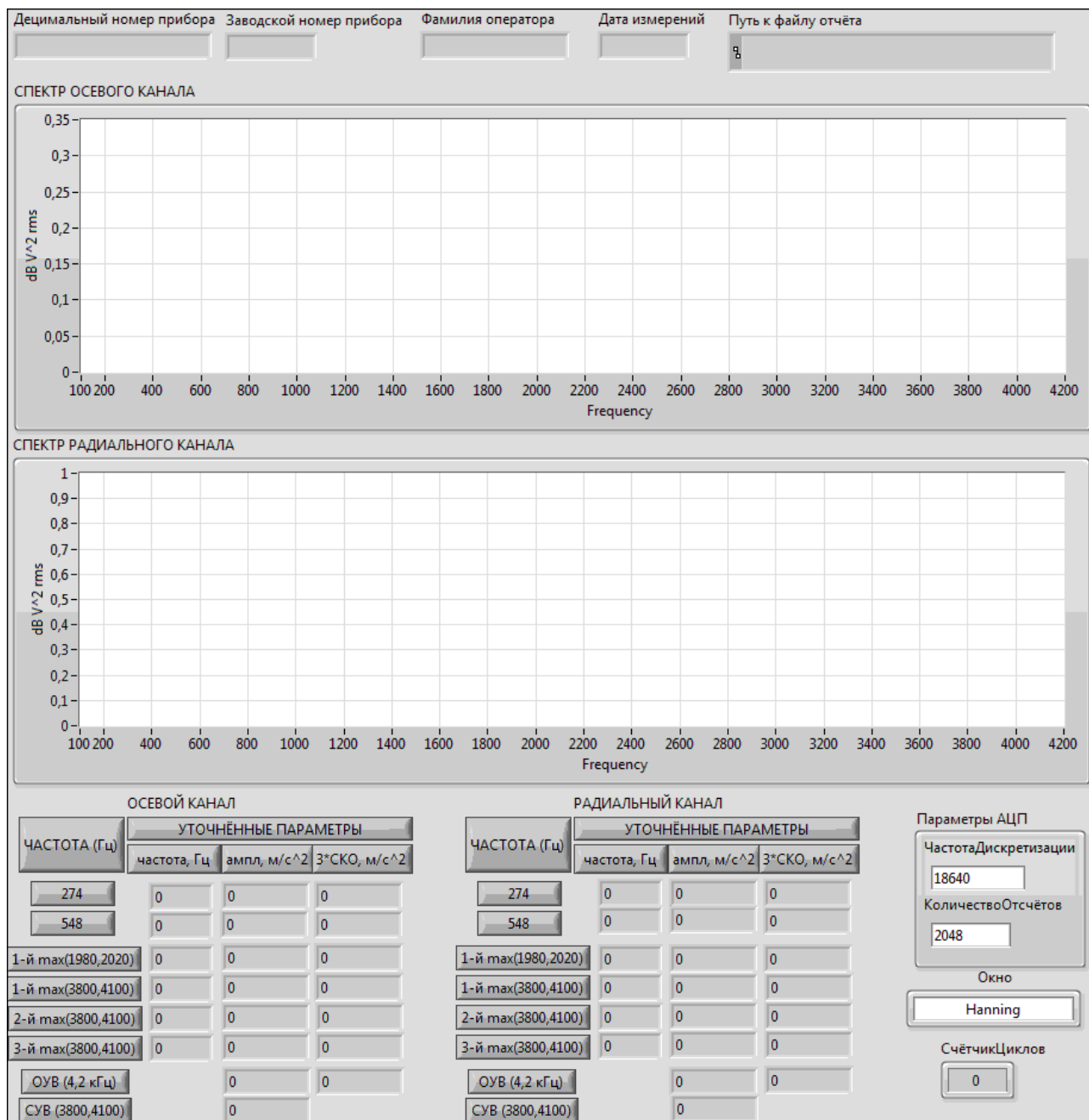


Рис.7 Front Panel ВП «ПервыйРежимРаботы.vi»

В верхней части Front Panel ВП «ПервыйРежимРаботы.vi» расположены значения глобальных переменных, получаемых из ВП «ГлавноеМеню.vi». Ниже приведены графики спектров осевого и радиального каналов. В нижней части Front Panel приводятся рассчитанные программой параметры в виде таблиц для этих каналов. Справа от таблиц приведены параметры АЦП и индикатор счётчика циклов.

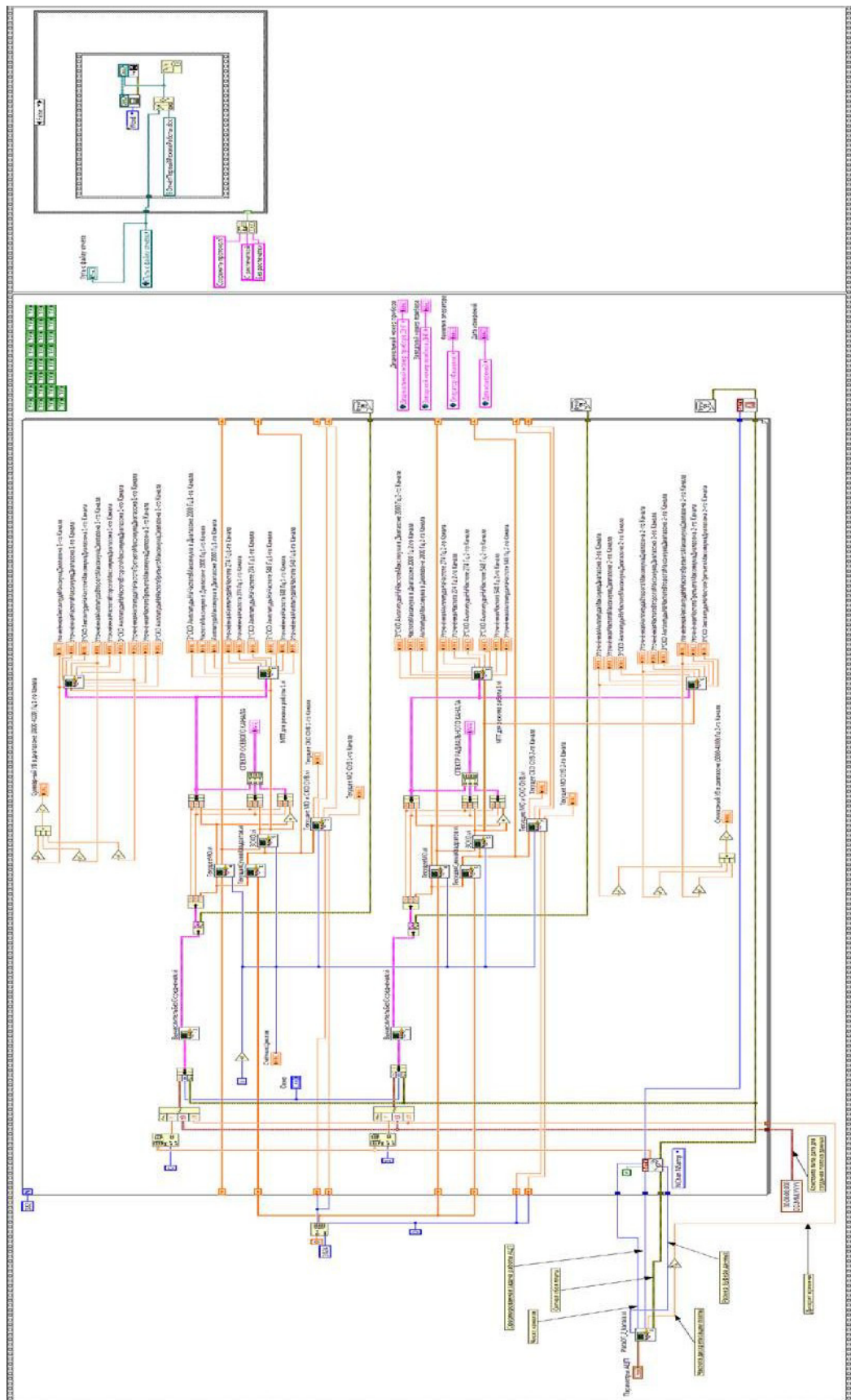


Рис.8 Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi»

На рисунке приведена вся Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi». Её составные части более подробно рассмотрены на последующих рисунках.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

Лист
47

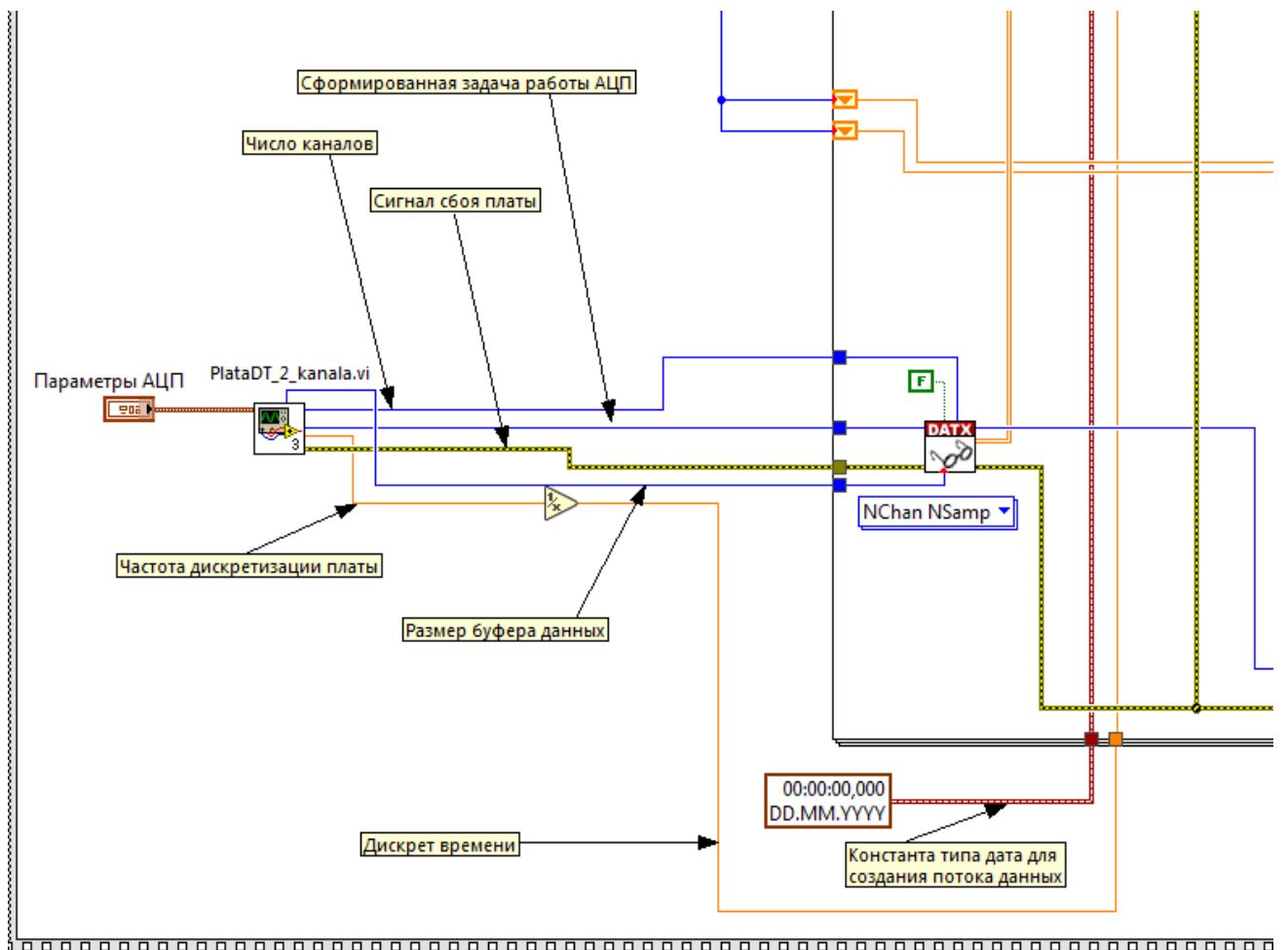


Рис.9 Формирование потока данных

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi» формирующая потоки данных для каждого канала (осевой и радиальный). Из двумерного массива данных выделяется одномерный массив для каждого канала, который объединяется с данными типа дата и дискретом по времени в кластер на входе ВП «ВычислительБезОсреднения.vi» соответствующего канала.

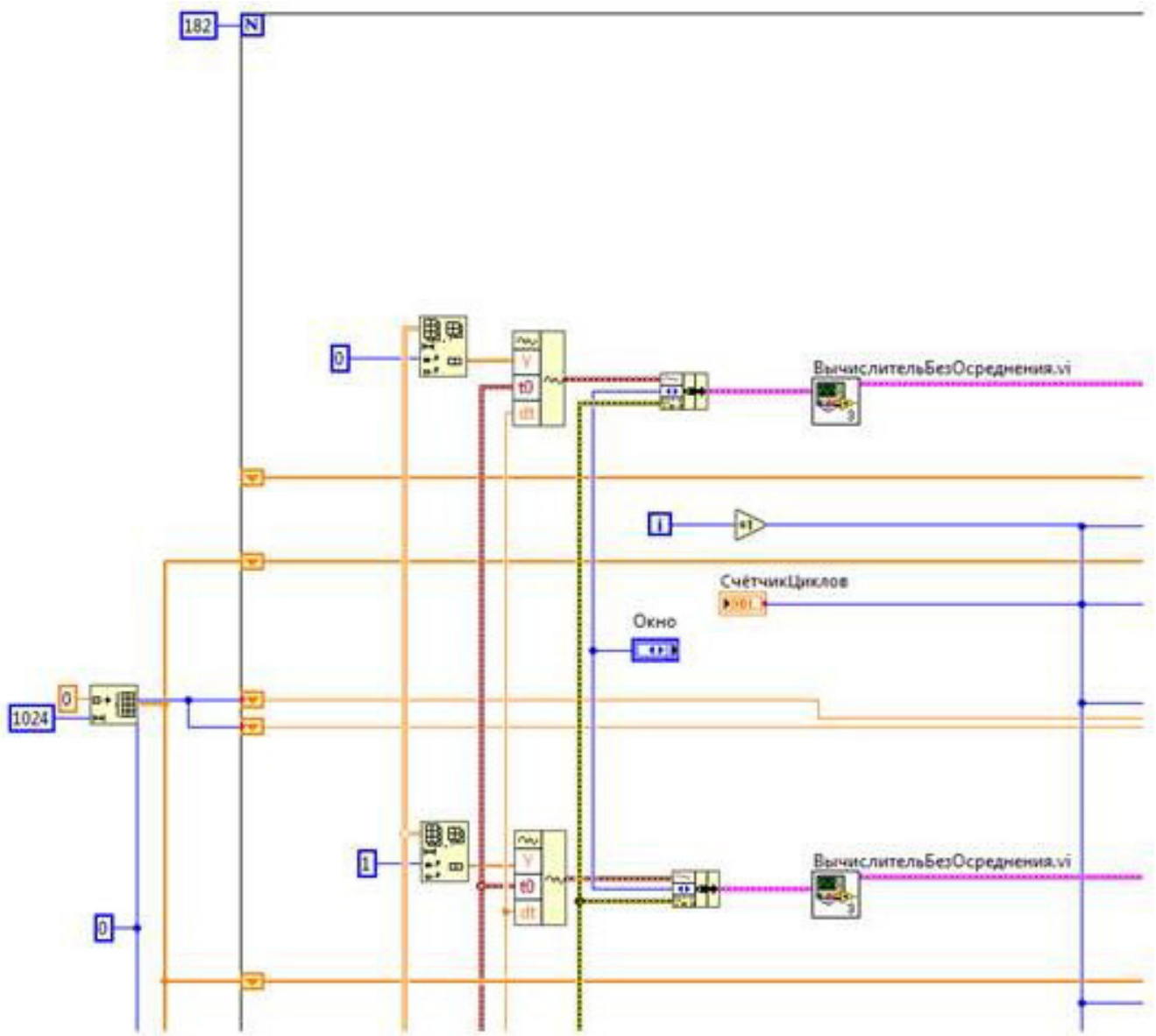


Рис.10 Формирование потока данных

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi» формирующая потоки данных для каждого канала (осевой и радиальный). Из двумерного массива данных выделяется одномерный массив для каждого канала, который объединяется с данными типа дата и дискретом по времени в кластер на входе ВП «ВычислительБезОсреднения.vi» соответствующего канала.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

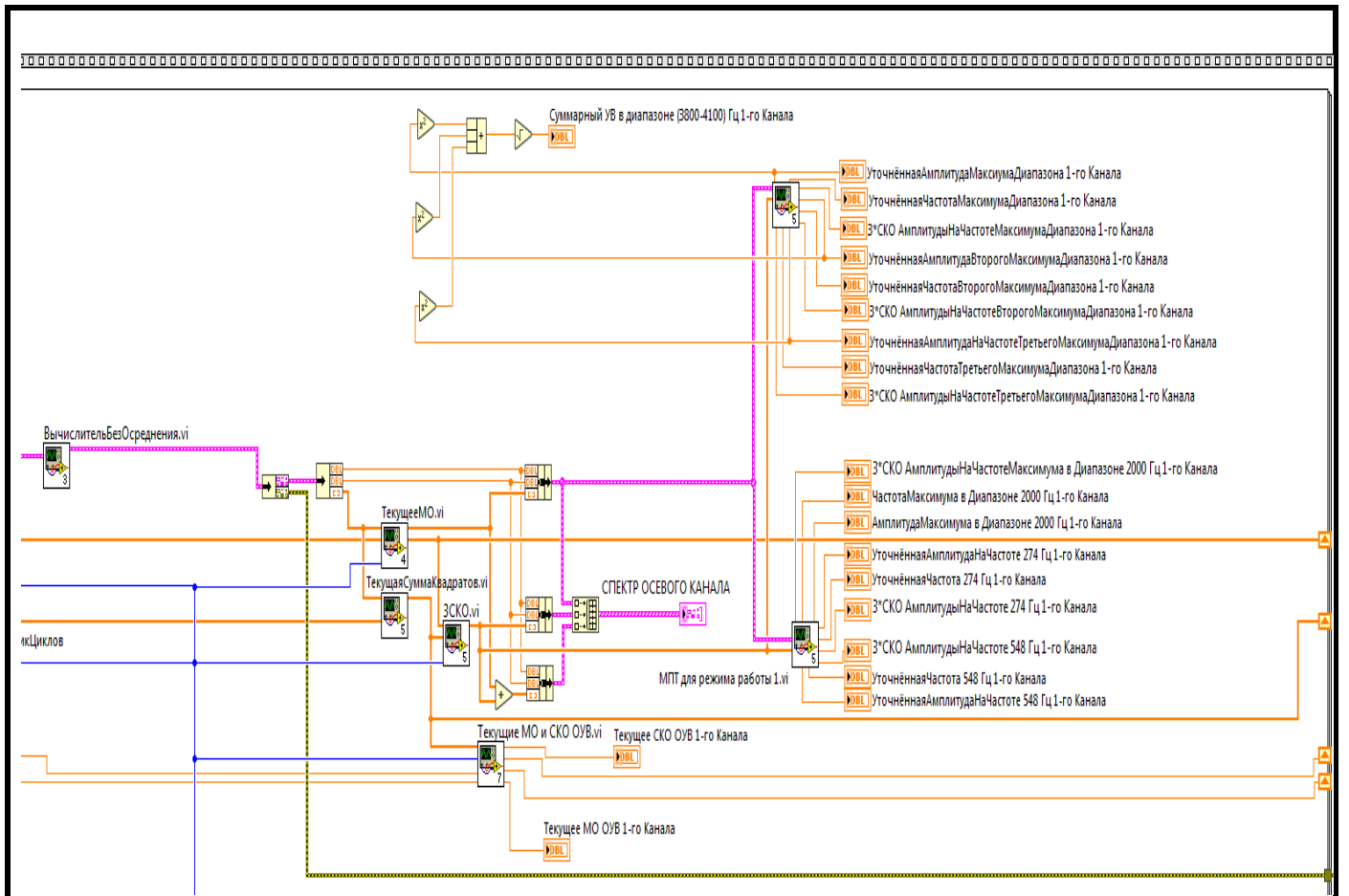


Рис.11 Вычисление требуемых параметров осевого канала

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi» вычисляющая значение требуемых параметров осевого канала.

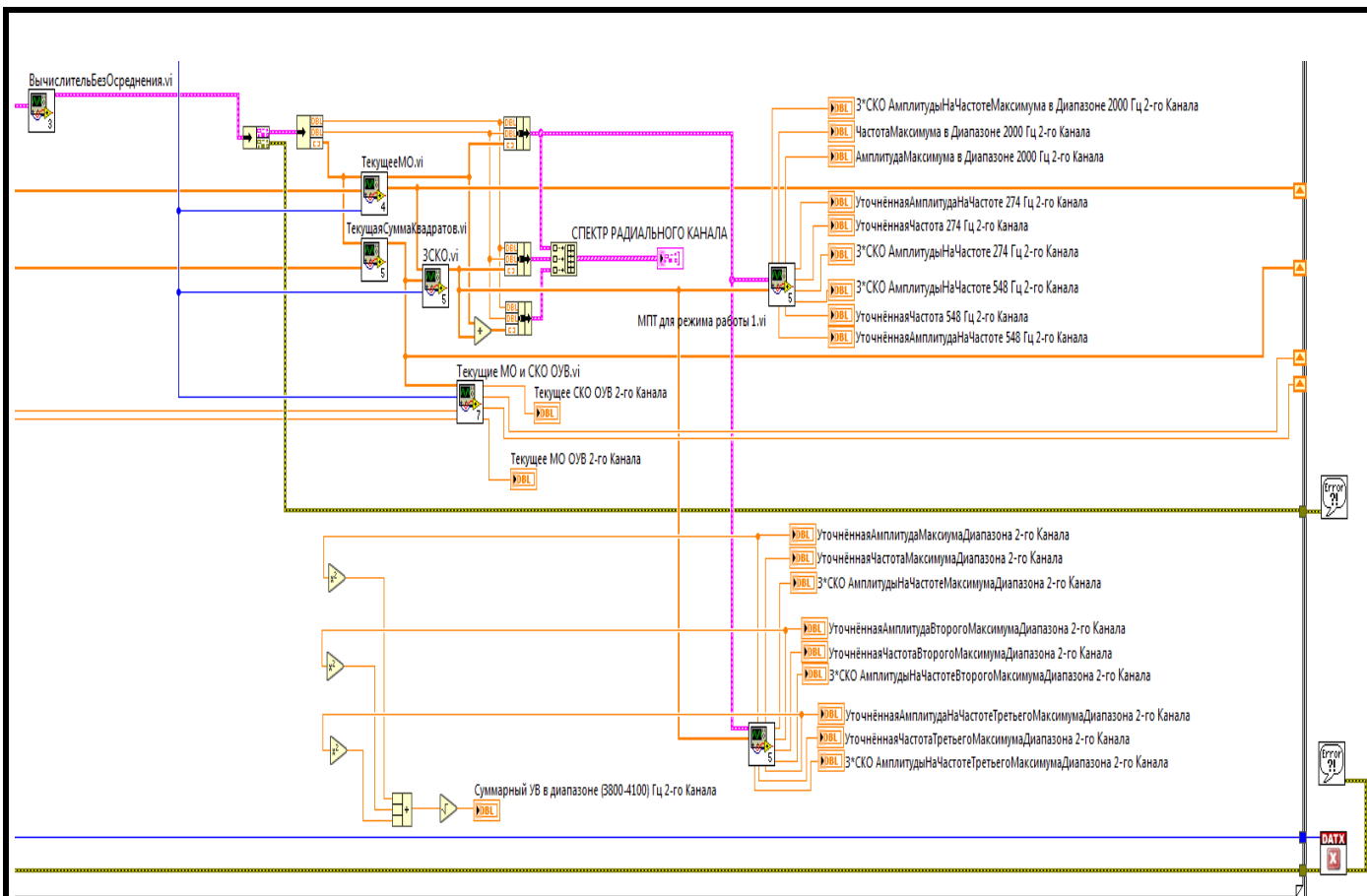


Рис.12 Вычисление требуемых параметров радиального канала

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi» вычисляющая значение требуемых параметров радиального канала.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

Лист

51

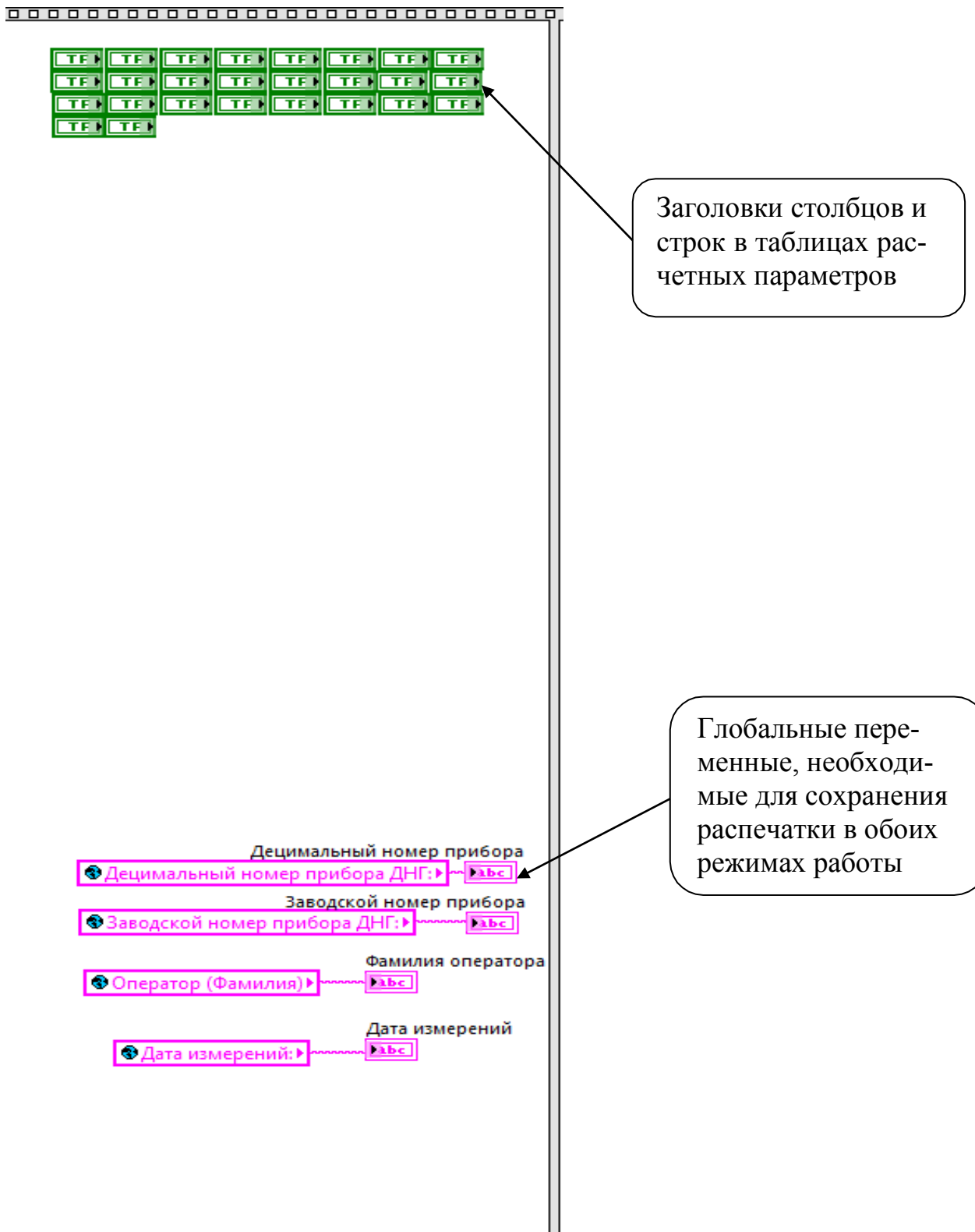


Рис.13 Формирование и заполнение шапки таблиц

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi» создающая таблицы выходных параметров обоих каналов и заполняющая соответствующие строки значениями глобальных переменных.

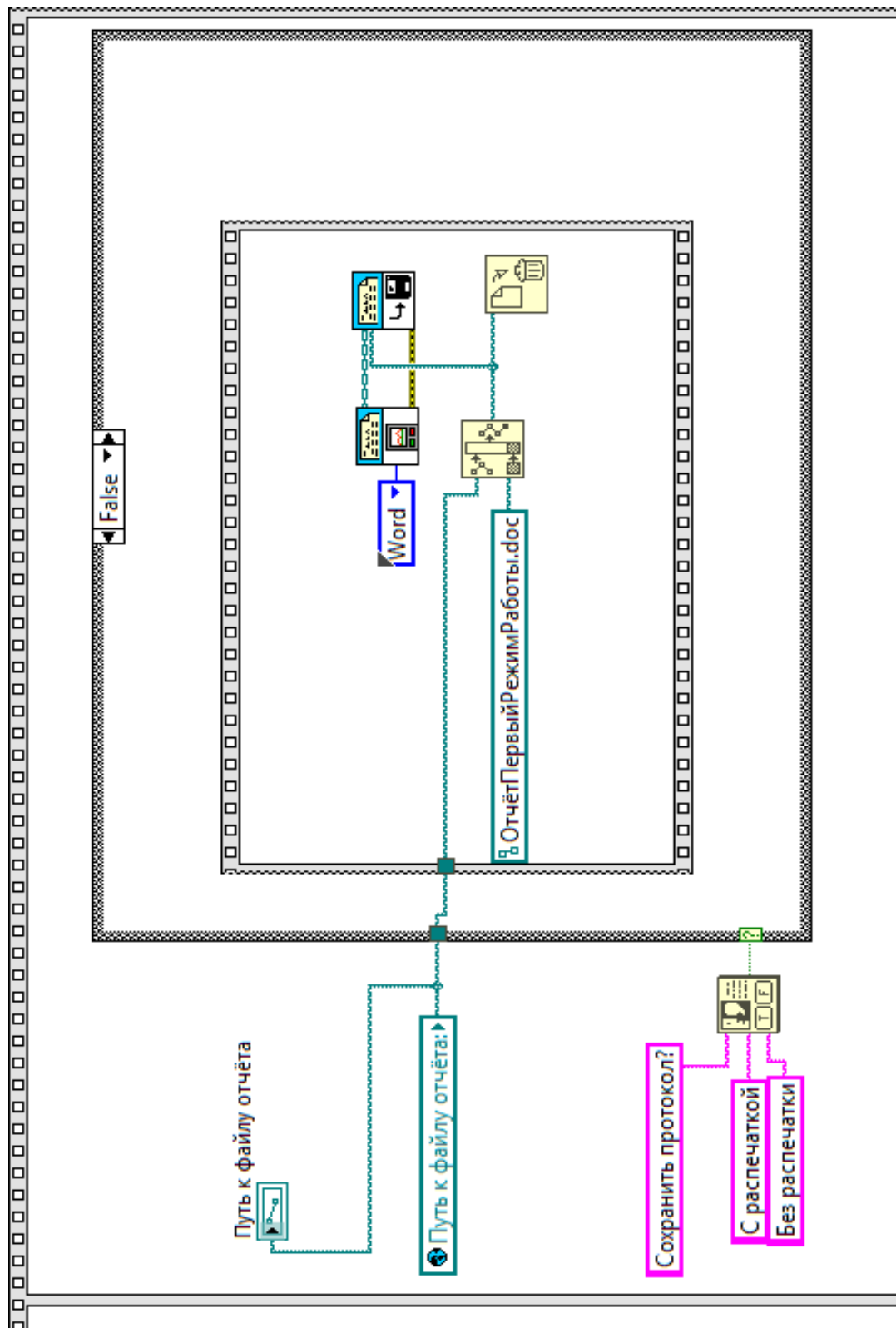


Рис.14 Распечатка без сохранения

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi», которая в зависимости от выбора оператора сохраняет Front Panel ВП «ПервыйРежимРаботы.vi» с заполненными таблицами на жёсткий диск в папку, указанную оператором как «Путь к файлу отчёта», в виде документа Word.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

Лист

53

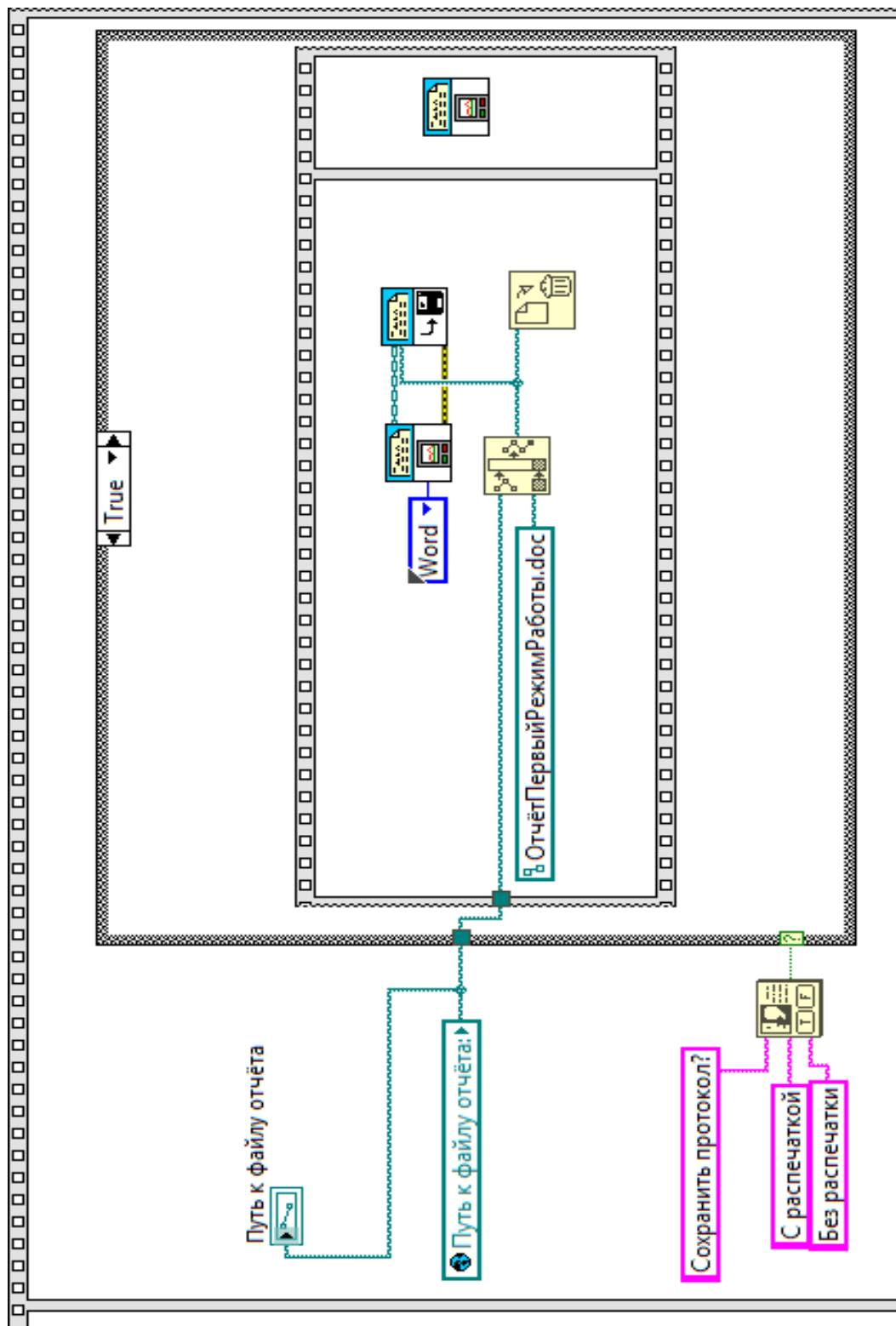


Рис.15 Распечатка с сохранением

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ПервыйРежимРаботы.vi», которая в зависимости от выбора оператора распечатывает Front Panel ВП «ПервыйРежимРаботы.vi» и сохраняет на жёсткий диск в папку, указанную оператором как «Путь к файлу отчёта», в виде документа Word.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

Рассмотрим более подробно виртуальные приборы ВП «ПервыйРежим-Работы.vi».

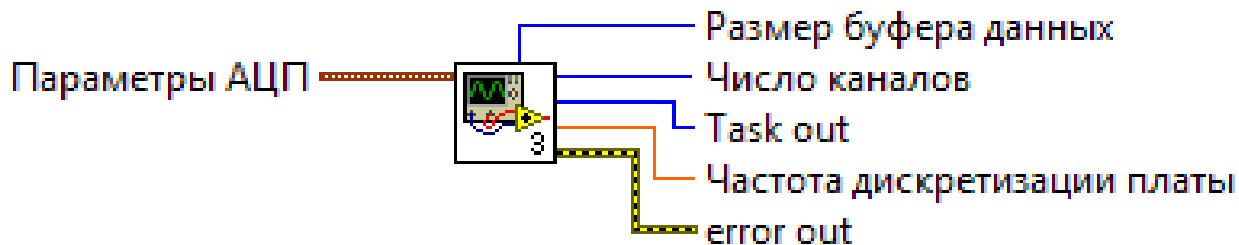
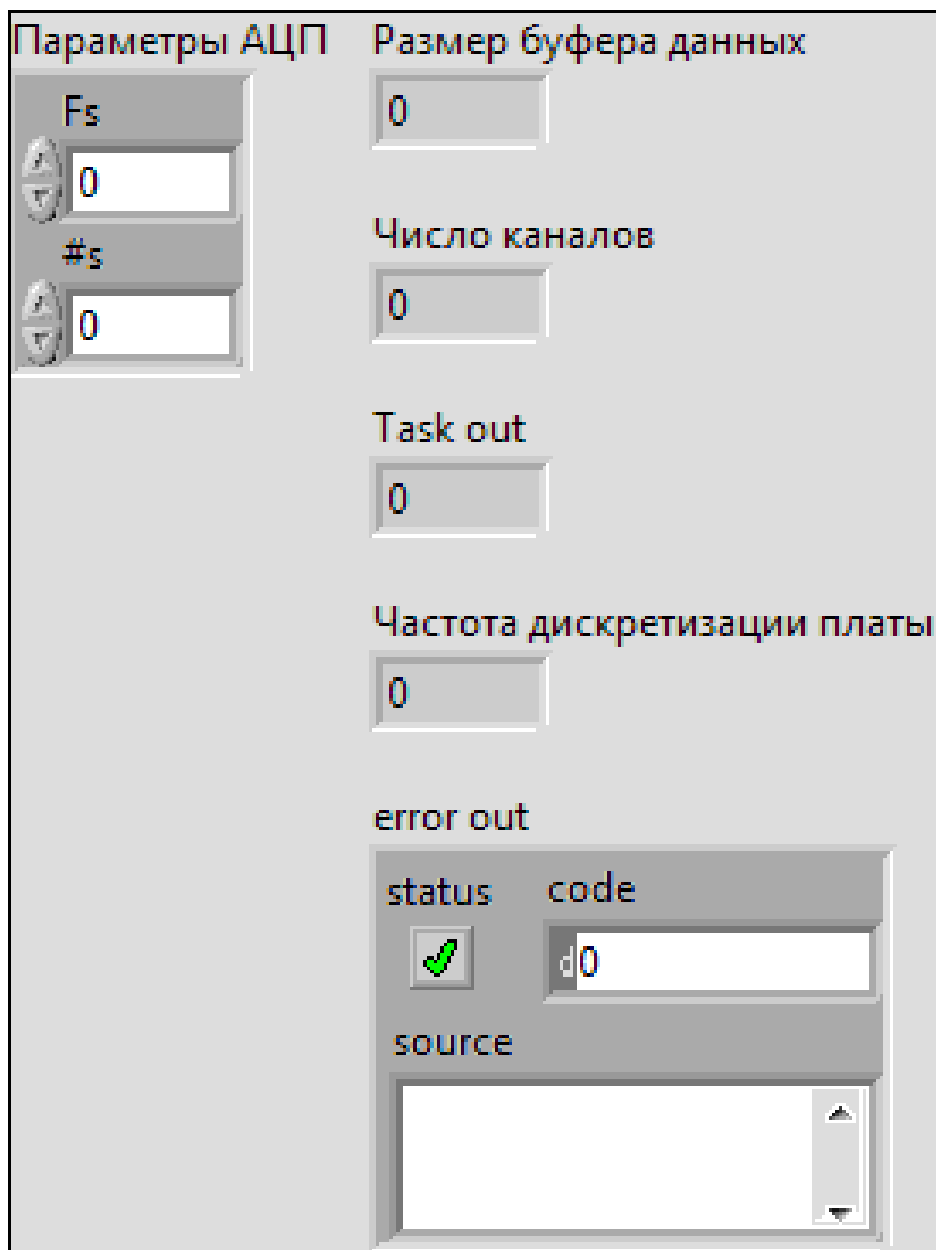


Рис.16 Front Panel и icon ВП «PlataDT_2_kanala.vi»

Кластер входных параметров содержит два значения: частота дискретизации и количество точек на канал.

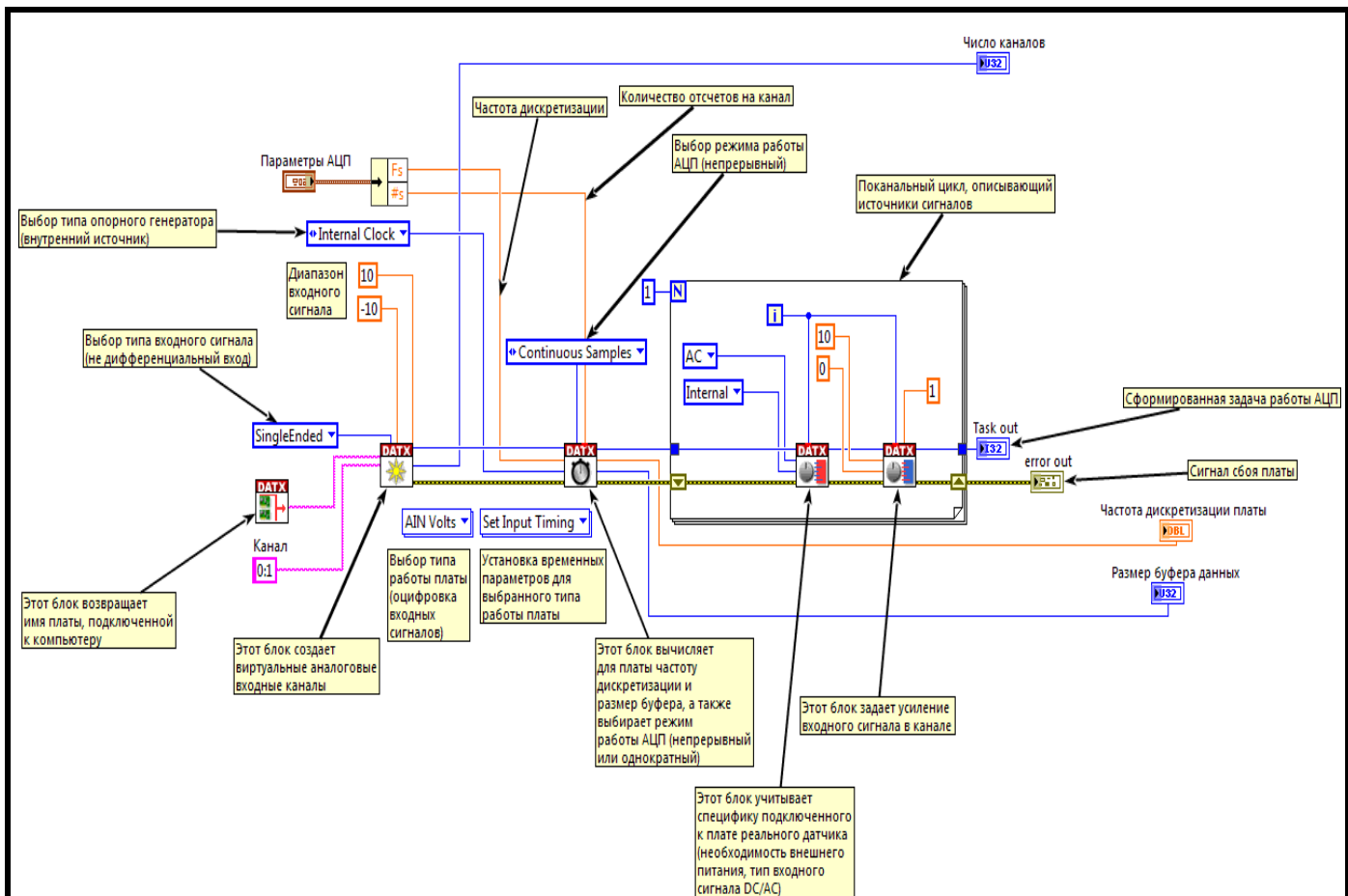


Рис.17 Block Diagram ВП «PlataDT_2_kanala.vi»

На этом рисунке приведена Block Diagram ВП «PlataDT_2_kanala.vi». Необходимые пояснения приведены в качестве комментариев.

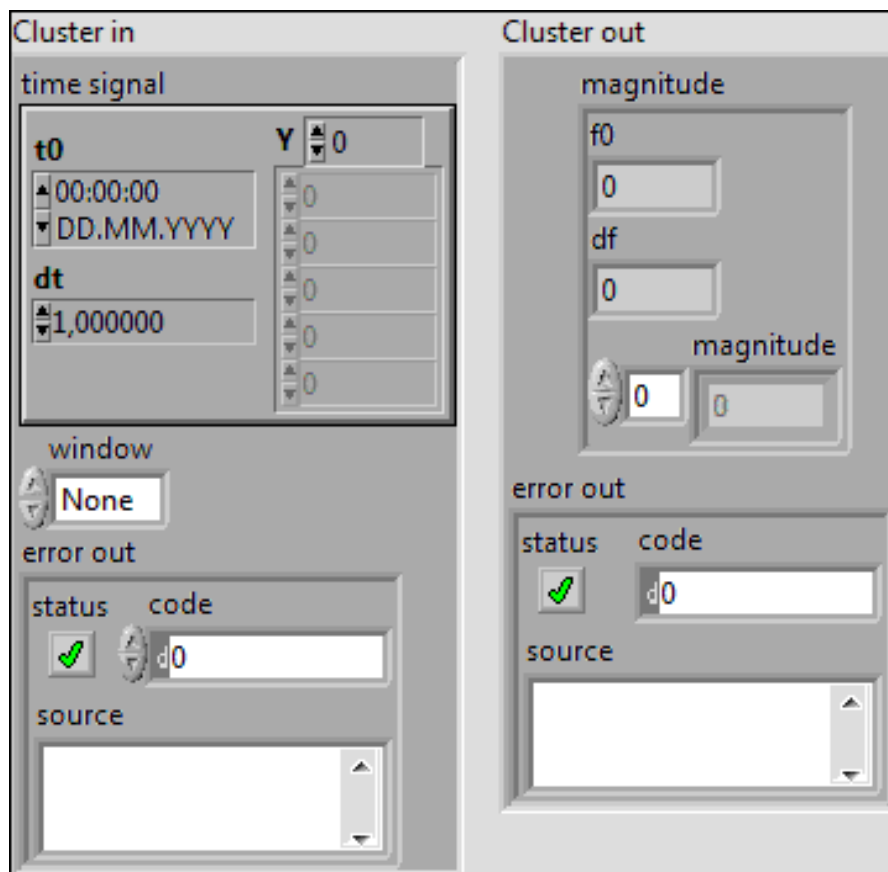


Рис.18 Front Panel ВП «ВычислительБезОсреднения.vi»

В левой части FrontPanel ВП «ВычислительБезОсреднения.vi» расположен входной кластер (поток входных данных, тип взвешивающего окна и сообщение об ошибке), в правой части расположен выходной кластер (массив амплитуд линий спектра и сообщение об ошибке).

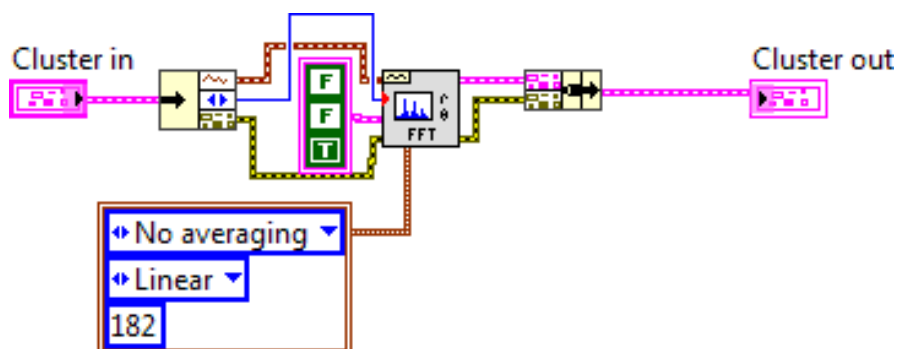


Рис.19 Block Diagram ВП «ВычислительБезОсреднения.vi»

На этом рисунке приведена BlockDiagram ВП «ВычислительБезОсреднения.vi». Виртуальному вычислителю спектра заданы следующие параметры вычисления: вычислять амплитуды, без усреднения, выводить не в логарифмическом масштабе.

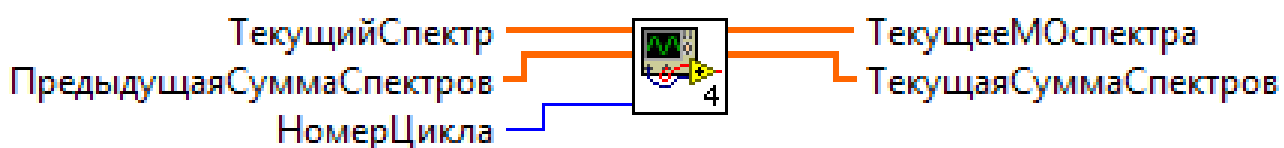
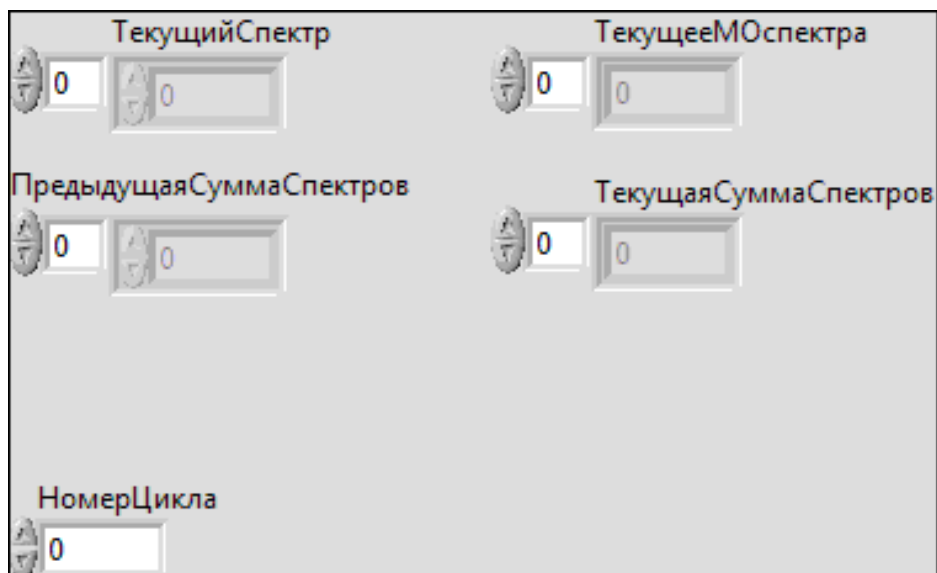


Рис.20 Front Panel и icon ВП «ТекущееМО.ви»

Массив амплитуд спектра «ТекущийСпектр» приходит на каждой итерации из ВП «ВычислительБезОсреднения.ви» и копится в Shift Register, вход которого называется «ПредыдущаяСуммаСпектров», а выход «ТекущаяСуммаСпектров».

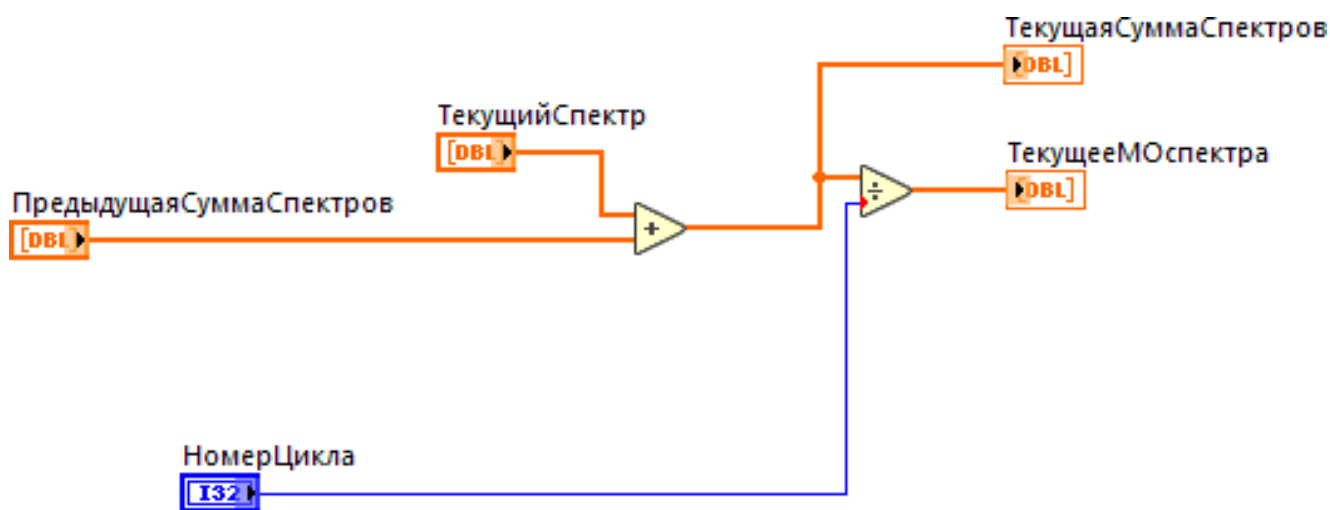


Рис.21 Block Diagram ВП «ТекущееМО.ви»

На этом рисунке приведена Block Diagram ВП «ТекущееМО.ви». Деля накопленную сумму на количество итераций («НомерЦикла»), получаем «ТекущееМОспектра».

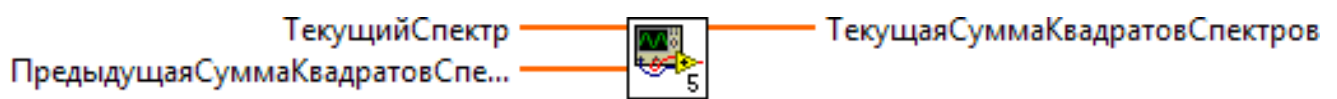
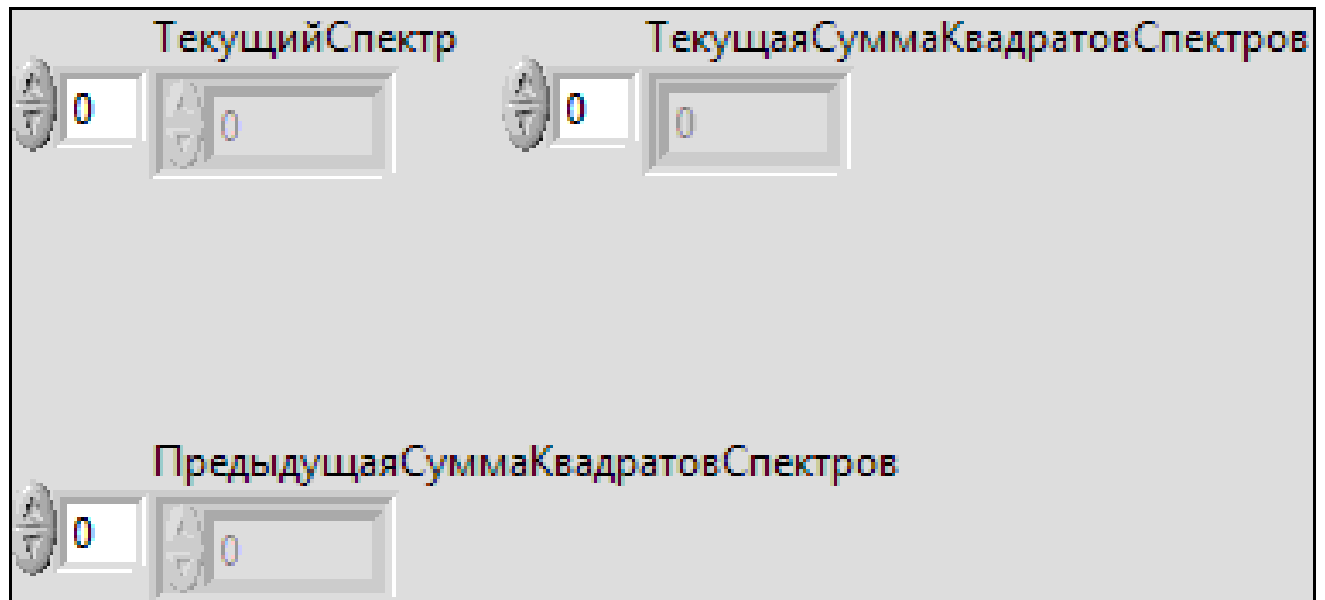


Рис.22 Front Panel и icon ВП «ТекущаяСуммаКвадратов.vi»

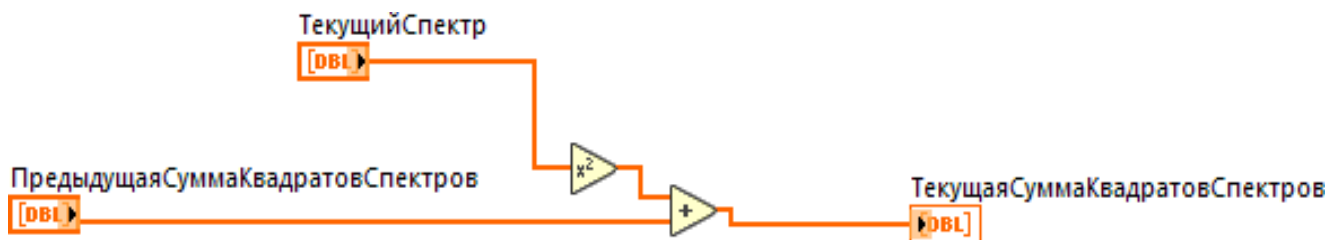


Рис.23 Block Diagram ВП« ТекущаяСуммаКвадратов.vi»

Массив амплитуд спектра «ТекущийСпектр» приходит на каждой итерации из ВП «ВычислительБезОсреднения.vi», возводится в квадрат и копится в Shift Register, вход которого называется «ПредыдущаяСуммаКвадратовСпектров», а выход «ТекущаяСуммаКвадратовСпектров».

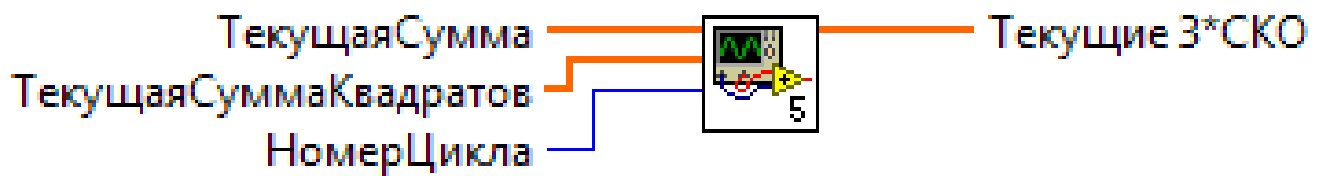
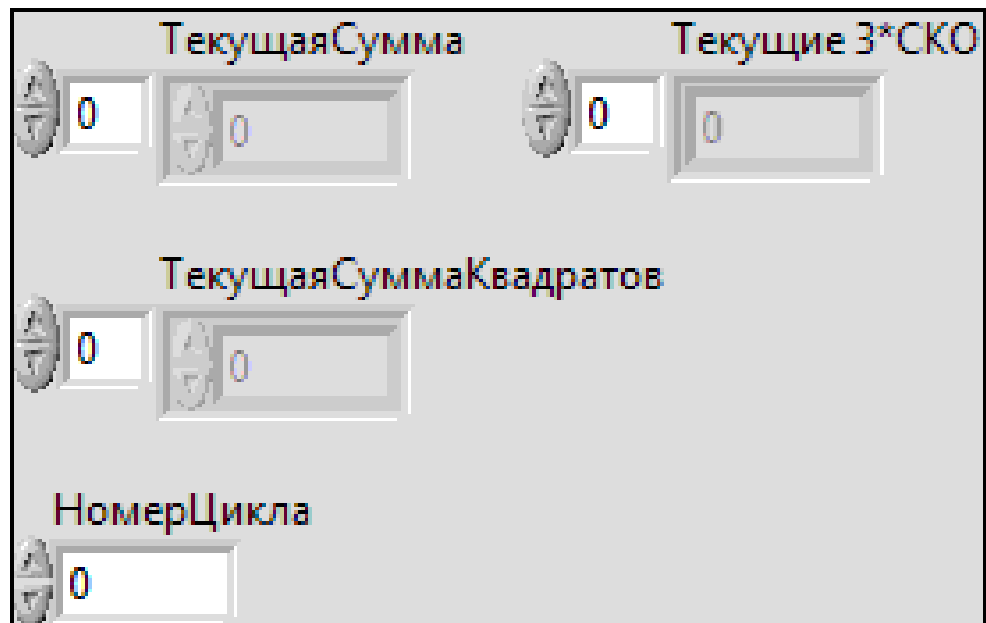


Рис.24 Front Panel и icon ВП «3СКО.vi»

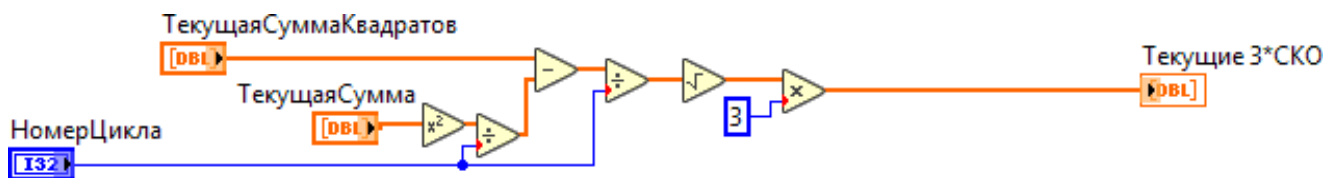


Рис.25 Block Diagram ВП «3СКО.vi»

Вычисление СКО осуществляется способом скользящей статистики для каждой амплитуды спектра. Выводится из ВП утроенное значение СКО с целью оценить разброс амплитуды каждой спектральной линии.

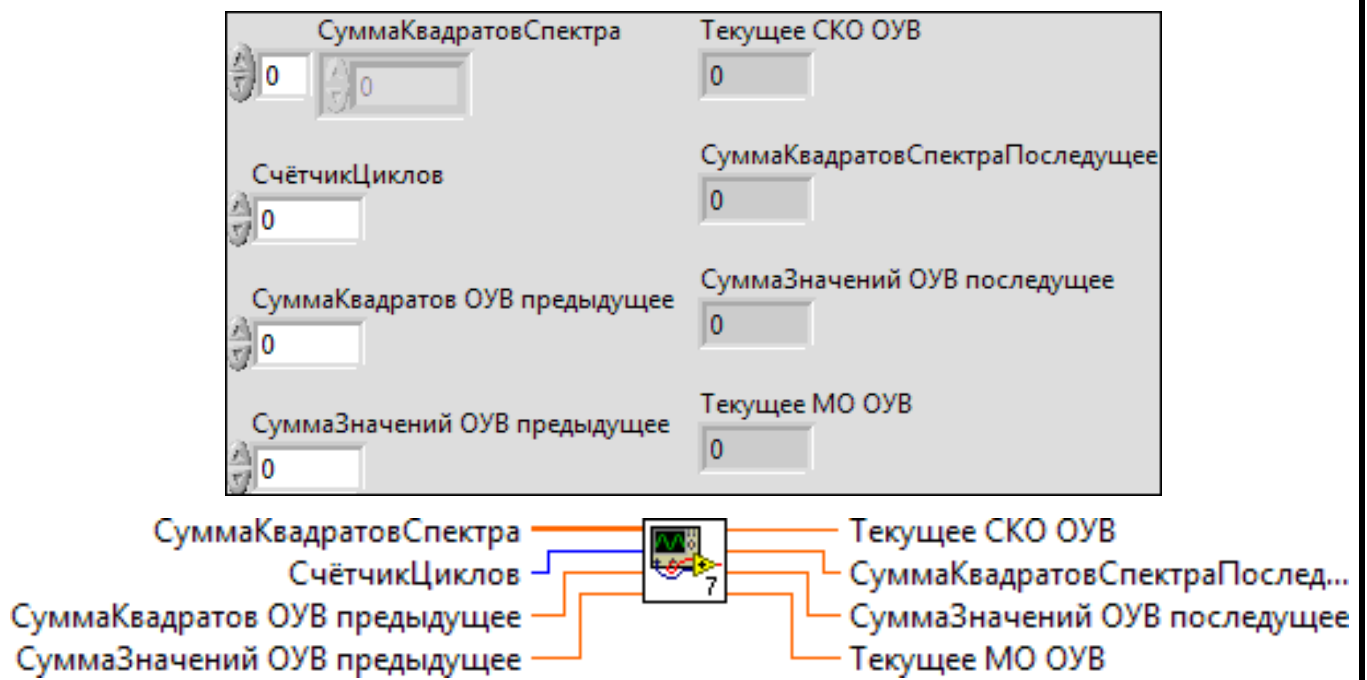


Рис.26 Front Panel и icon ВП «ТекущееМО и СКО ОУВ.vi»

На этом рисунке приведена Front Panel ВП «Текущее МО и СКО ОУВ.vi». Вход «СуммаКвадратовСпектра» соединяется с ВП «ТекущаяСуммаКвадратов.vi».

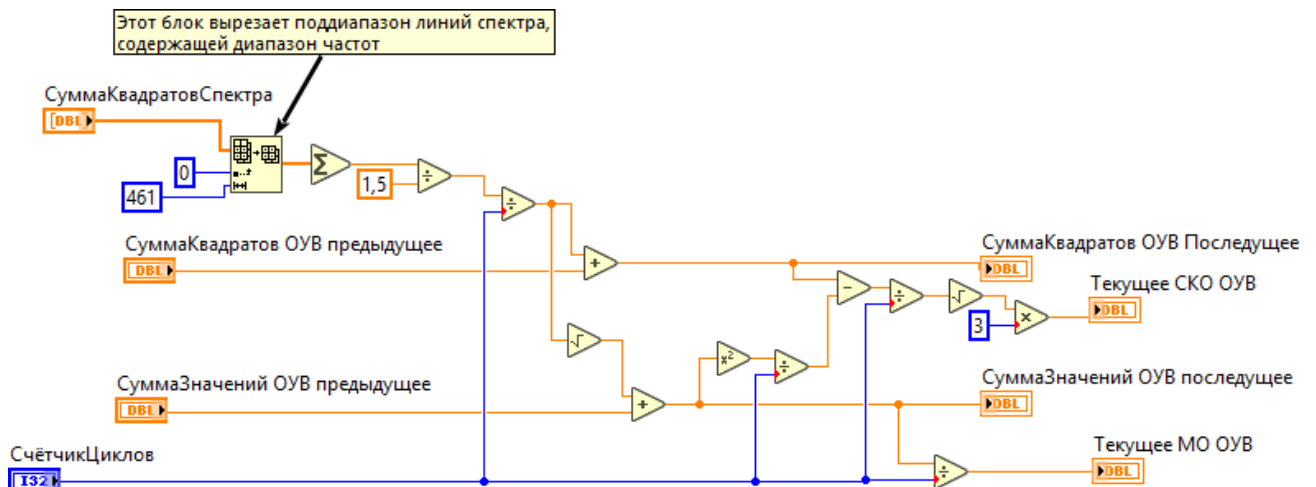


Рис.27 Block Diagram ВП «Текущее МО и СКО ОУВ.vi»

Входы «СуммаКвадратов ОУВ предыдущее», «СуммаЗначений ОУВ предыдущее» и выходы «СуммаКвадратовСпектраПоследующее», «СуммаЗначений ОУВ последующее» соединены с двумя Shift Register для накопления соответствующих сумм. Деление на 1,5 необходимо для учёта влияния окна Ханна (появления амплитуд в соседних с линией обособленного пика). Для вычисления СКО ОУВ применён способ скользящей статистики.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

Лист

61

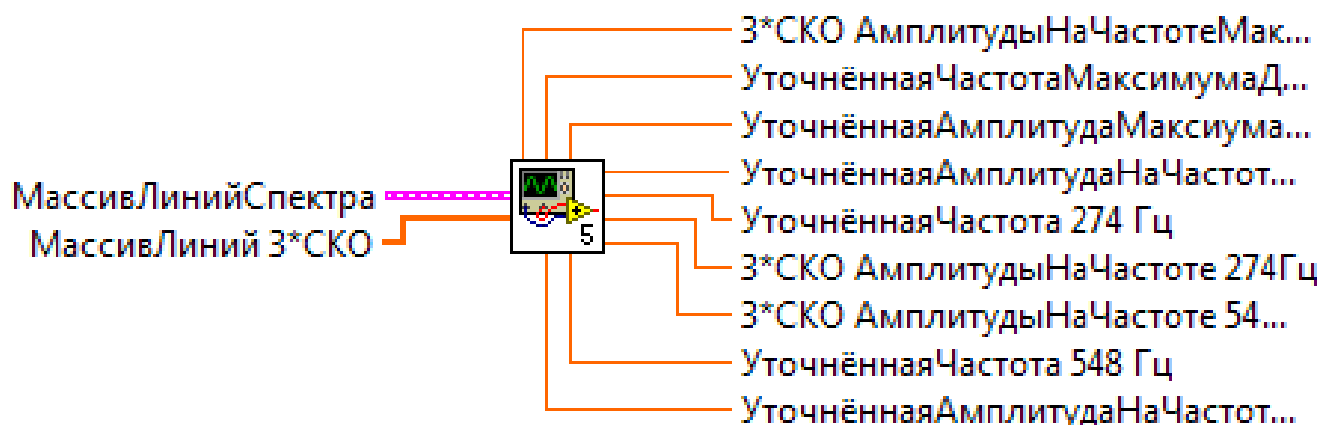
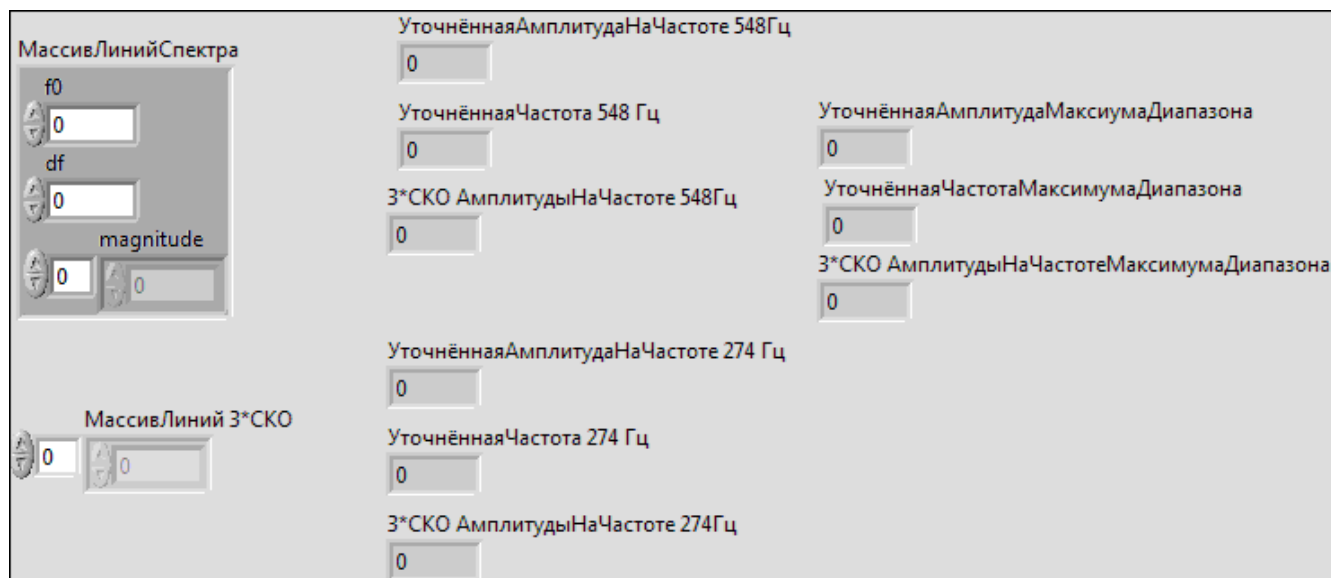


Рис.28 Front Panel и icon ВП «МПТ для режима работы 1.vi»

На вход «Массив Линий 3*СКО» поступает одномерный массив с выхода ВП «3СКО.vi». По номеру линии содержащей уточняемую частоту из него берётся соответствующая оценка погрешности.

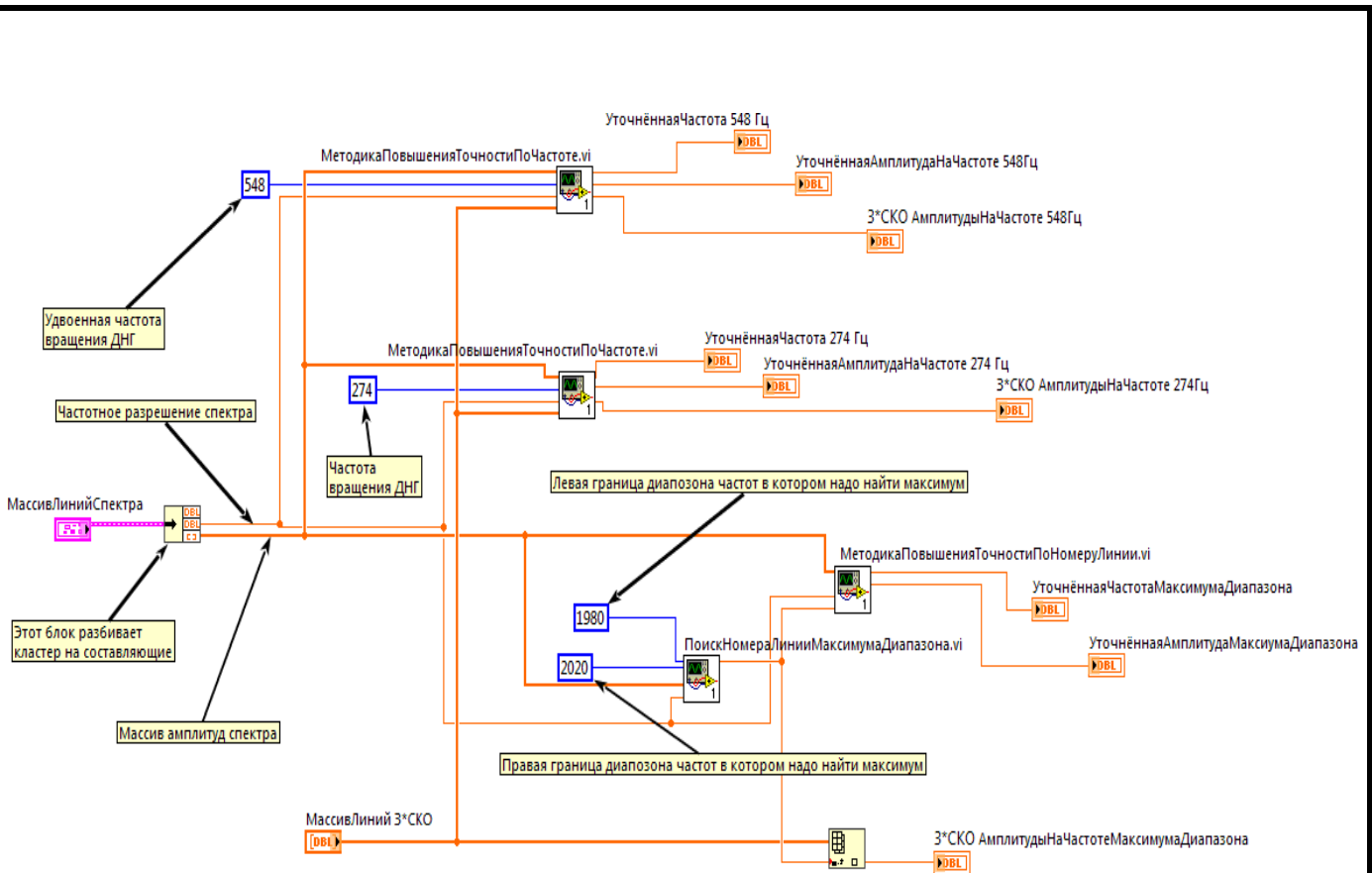


Рис.29 Block Diagram ВП «МПТ для режима работы 1.vi»

На этом рисунке приведена Block Diagram ВП «МПТ для режима работы 1.vi». Необходимые пояснения приведены в качестве комментариев.

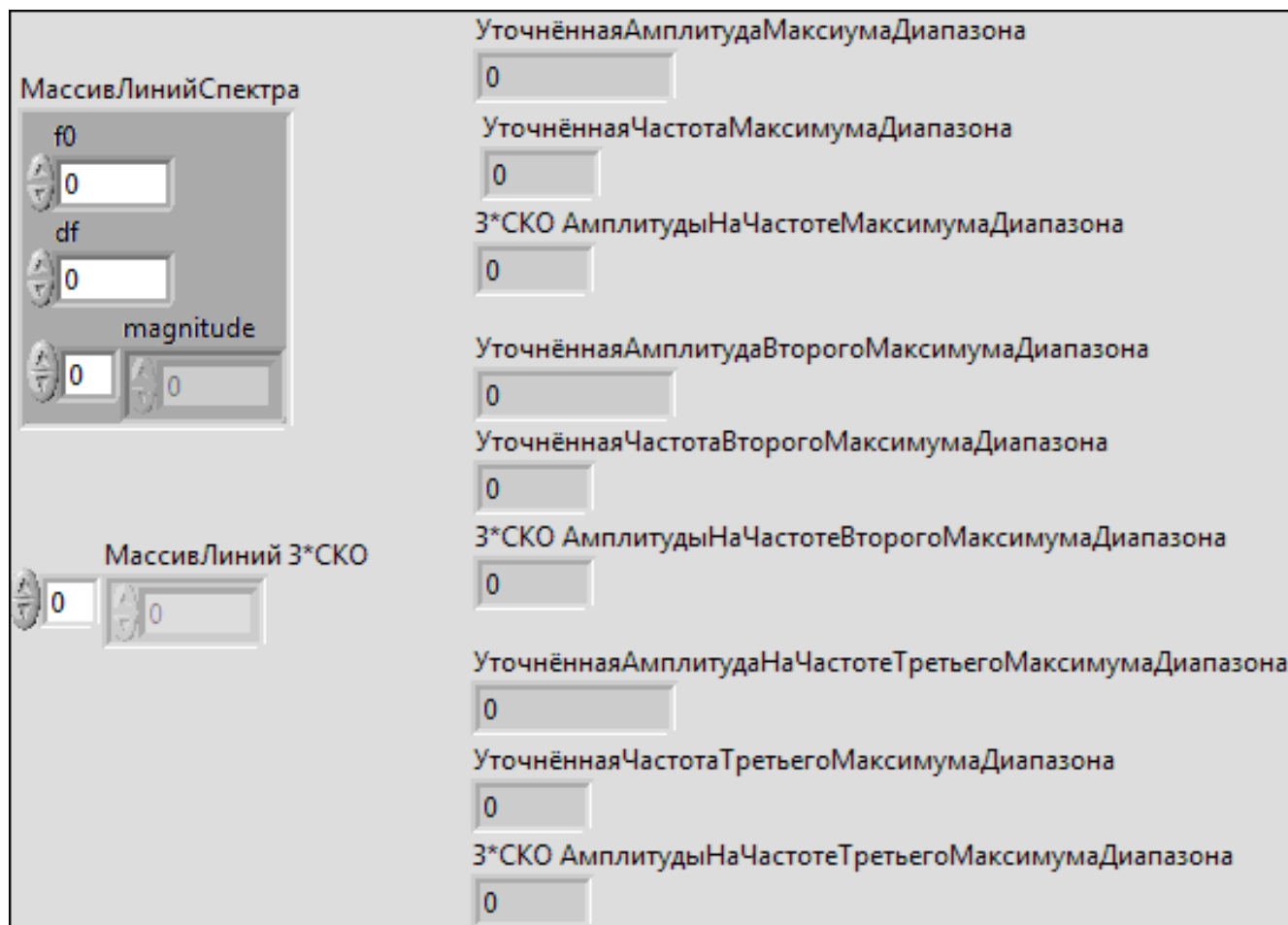


Рис.30 Front Panel ВП «МПТ для режима работы 1 дополнительно.vi»

ВП «МПТ для режима работы 1 дополнительно.vi» ищет и уточняет частоты и амплитуды трёх максимумов в диапазоне частот (3800; 4200) Гц. Также выводится оценка погрешности определения амплитуд максимумов.

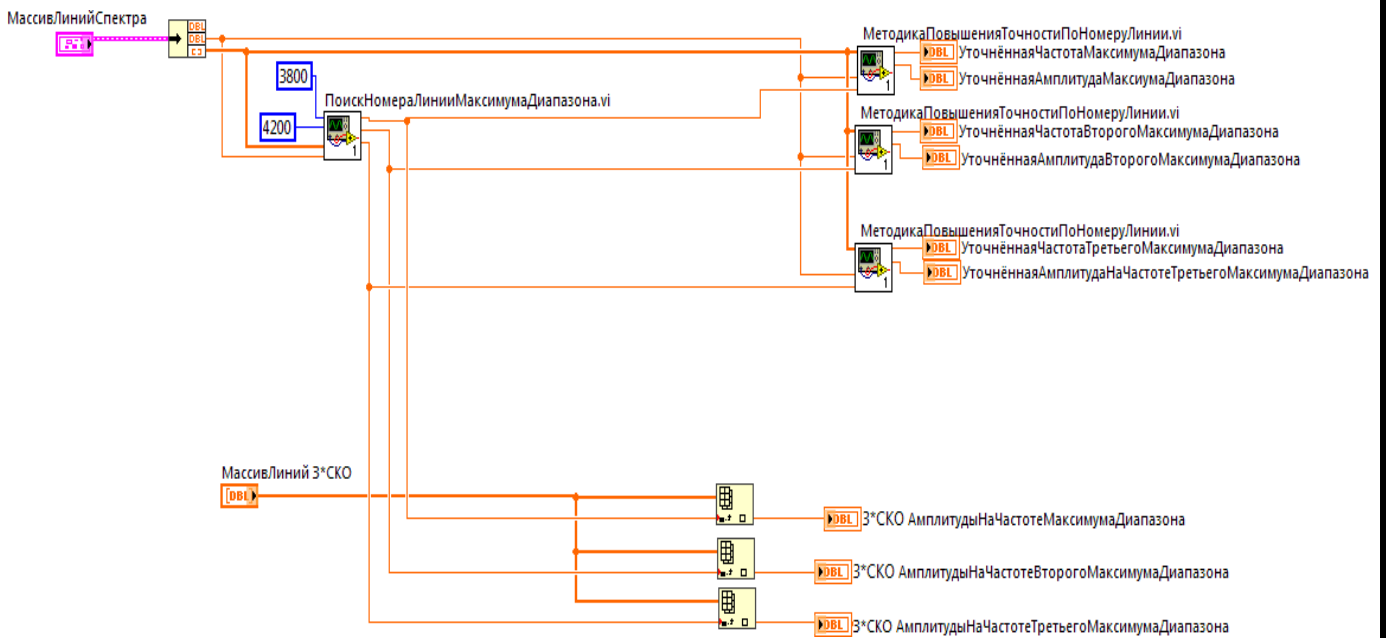


Рис.31 Block Diagram ВП «МПТ для режима работы 1 дополнительно.vi»

ВП «ПоискНомераЛинииМаксимаДиапазона.vi» находит номера линий трёх максимумов диапазона частот (3800; 4200) Гц. Далее в ВП «МетодикаПовышенияТочностиПоНомеруЛинии.vi» происходит уточнение частоты и амплитуды каждого максимума.

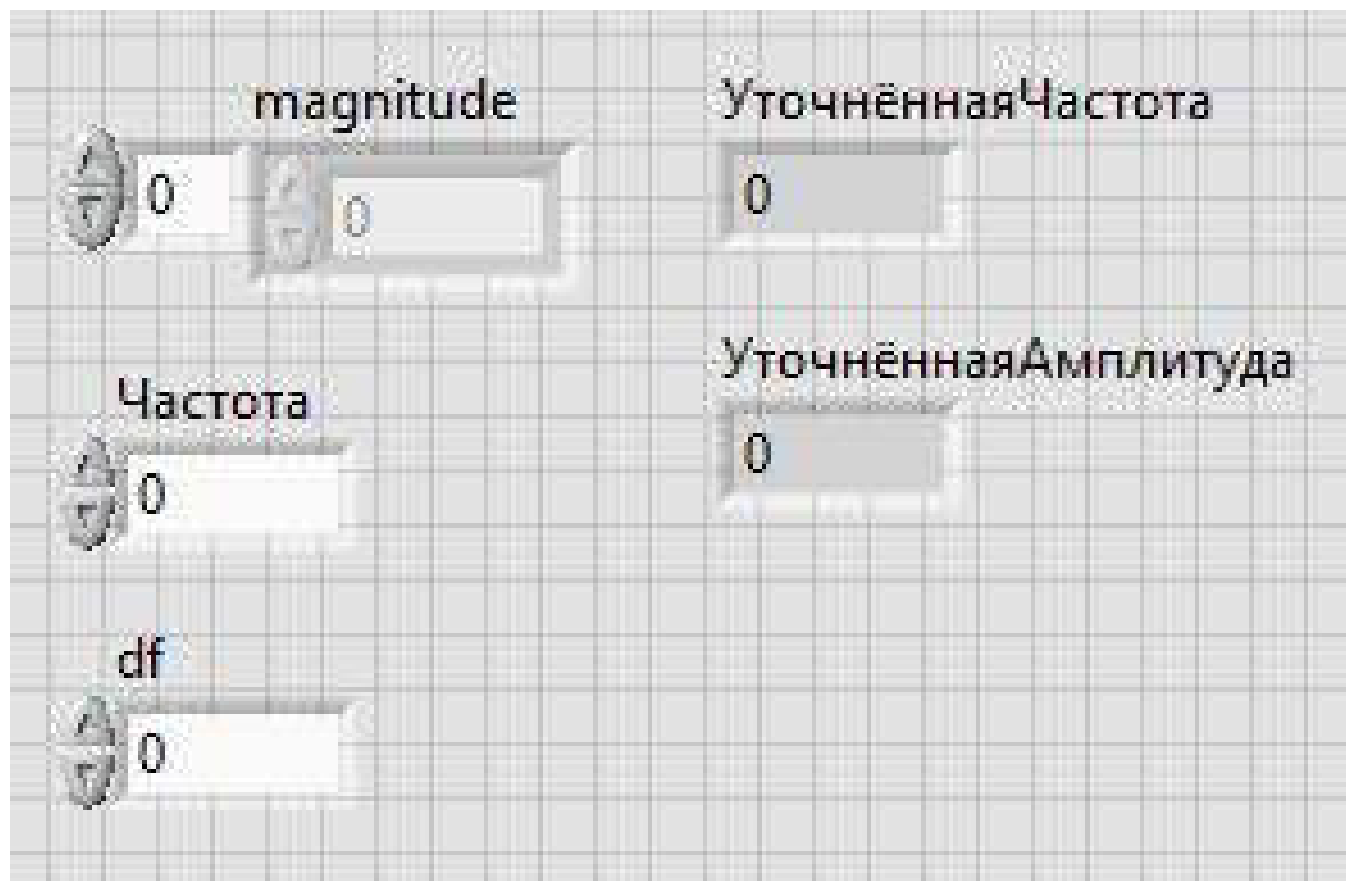


Рис.32 Front Panel ВП «МПТ.vi»

На этом рисунке представлена Front Panel ВП «МПТ.vi» входящий в виртуальные приборы «МПТ для режима работы 1.vi» и «МПТ для режима работы 1 дополнительно.vi». Данный ВП по указанной частоте определяет номер линии её содержащей, а затем, применяя методику повышения точности, уточняет частоту (в пределах линии) и амплитуду.

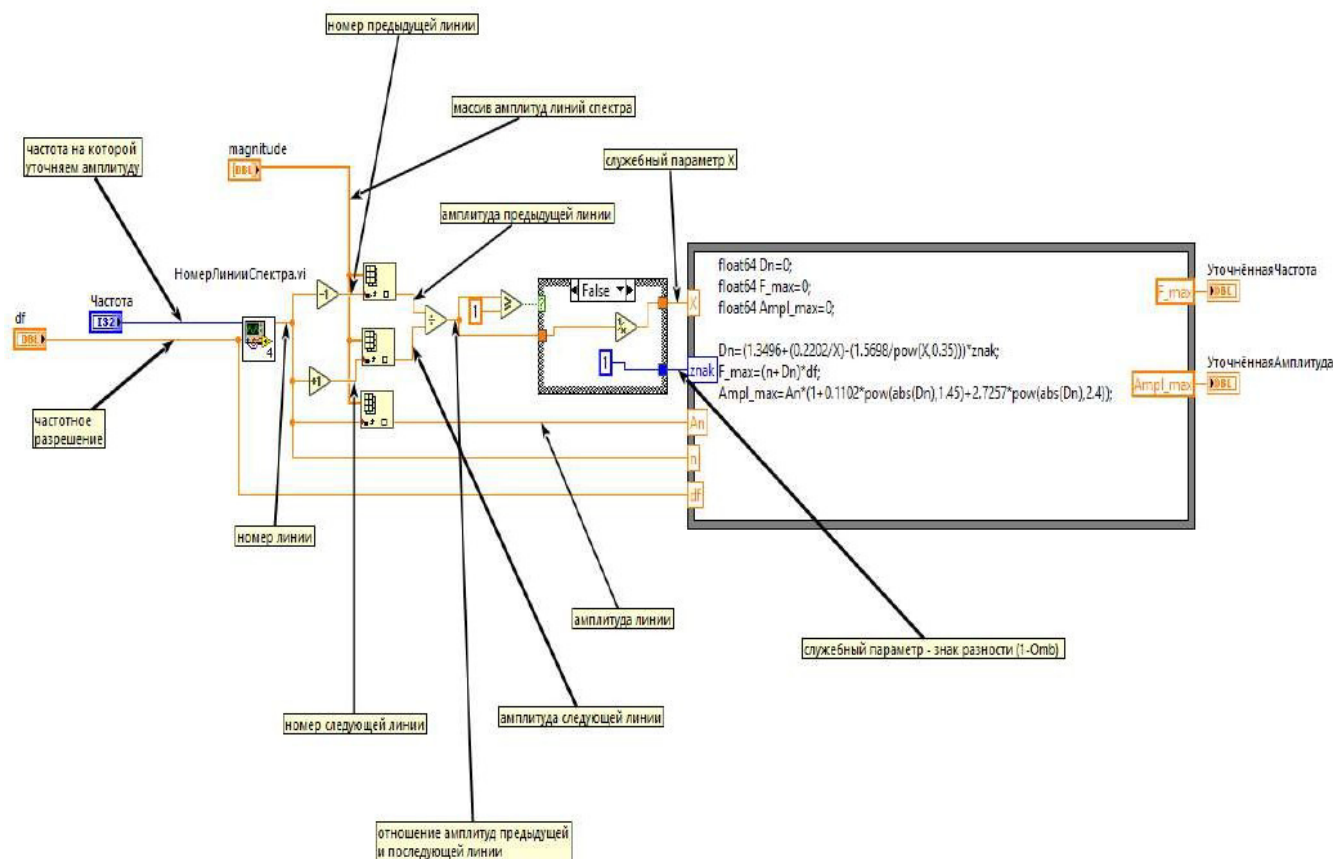


Рис.33 Block Diagram ВП «МПТ.vi»

ВП «НомерЛинииСпектра.vi» определяет номер линии содержащей указанную частоту. Далее, по номеру линии содержащей уточняемую частоту из массива амплитуд спектра берутся три амплитуды спектральных линий: с вычисленным номером, с номером меньшим на единицу и с номером большим на единицу. Далее, по приведённым на рисунке формулам вычисляются уточнённые значения частоты и амплитуды. Другие поясняющие работу ВП комментарии приведены на рисунке.

При нажатии кнопки «2-ой режим работы» запускается ВП «ВторойРежимРаботы.vi».

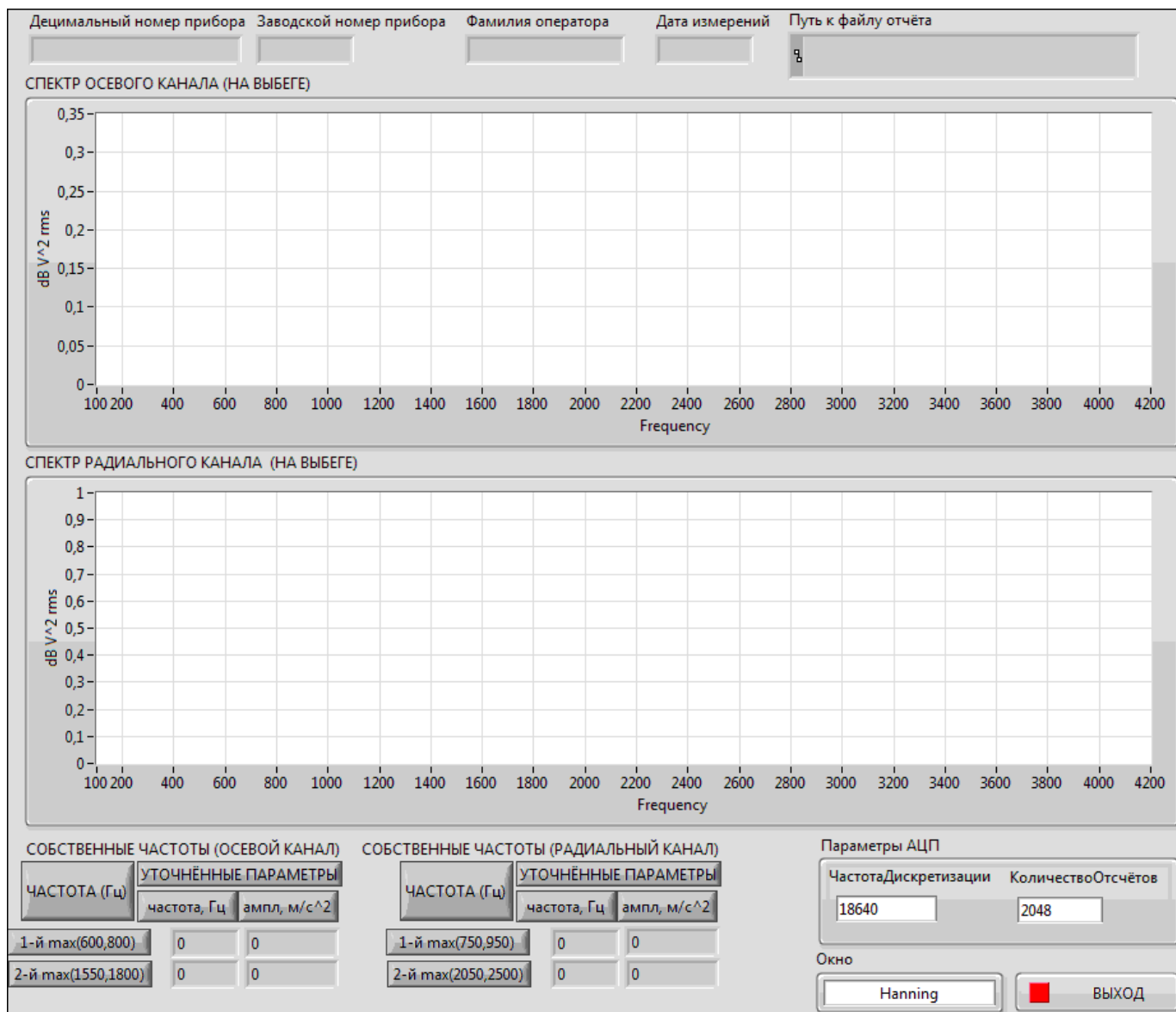


Рис.34 Front Panel ВП «ВторойРежимРаботы.vi»

В верхней части Front Panel ВП «ВторойРежимРаботы.vi» расположены значения глобальных переменных, получаемых из ВП «ГлавноеМеню.vi». Ниже приведены графики спектров осевого и радиального каналов. В нижней части Front Panel приводятся рассчитанные программой параметры в виде таблиц для этих каналов. Справа от таблиц приведены параметры АЦП и индикатор счётчика циклов. Выход в главное меню осуществляется по нажатию кнопки ВЫХОД.

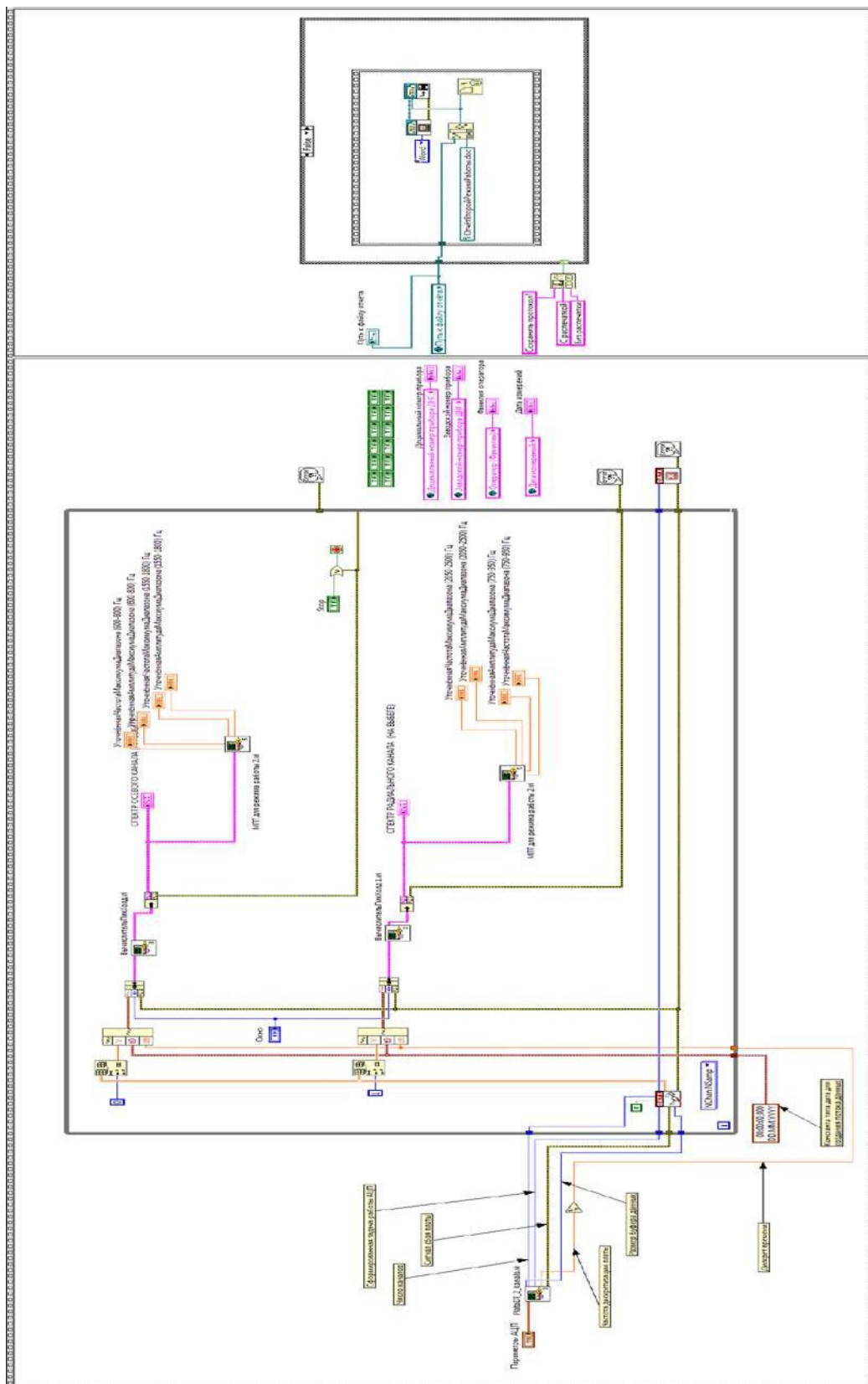


Рис.35 Block Diagram ВП «ВторойРежимРаботы.vi»

На этом рисунке приведена вся Block Diagram ВП «ВторойРежимРаботы.vi». Её составные части более подробно рассмотрены на последующих рисунках.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

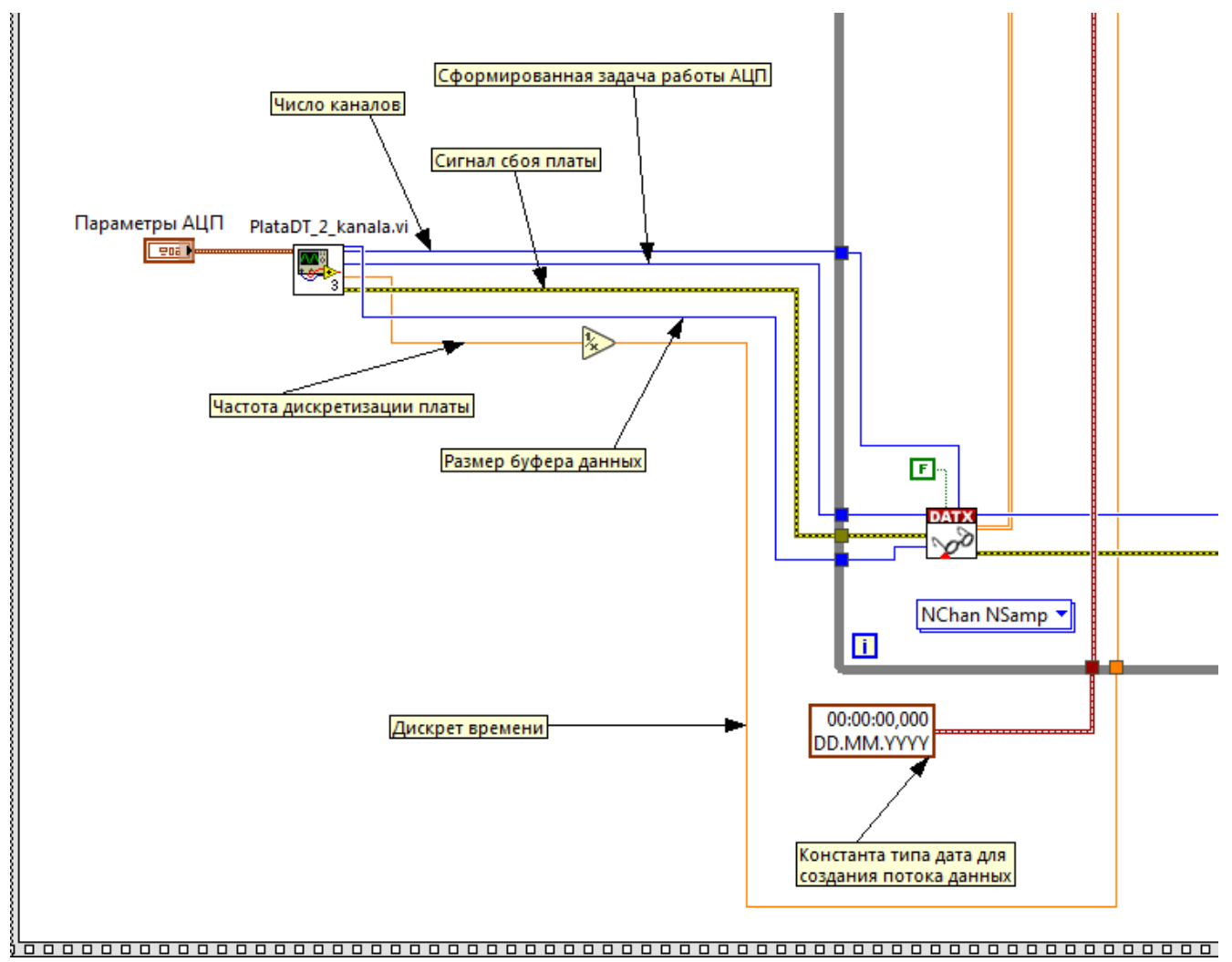


Рис.36 Программирование работы платы АЦП DT9837

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ВторойРежимРаботы.vi» задающая режим работы платы АЦП. Поток данных с платы формируется в виде двумерного массива с выхода ВП «DtOLRead.vi» (расположен в правой части рисунка), константы типа дата (расположена в нижней части рисунка) и выхода с ВП «PlataDT_2_kanala.vi» (частота дискретизации), расположенного в левой части рисунка.

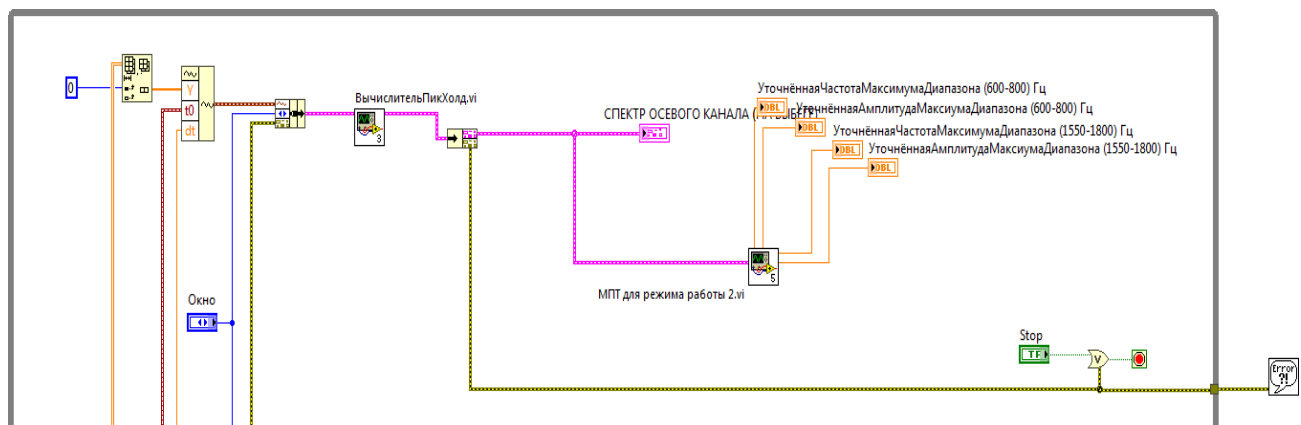


Рис.37 Формирование потока данных

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ВторойРежимРаботы.vi» формирующая потоки данных для осевого канала. Из двумерного массива данных выделяется одномерный массив для каждого канала, который объединяется с данными типа дата и дискретом по времени в кластер на входе ВП «ВычислительПикХолд.vi» соответствующего канала. Также на рисунке показан ВП «МППТ для режима работы 2.vi» вычисляющий значения требуемых параметров осевого канала.

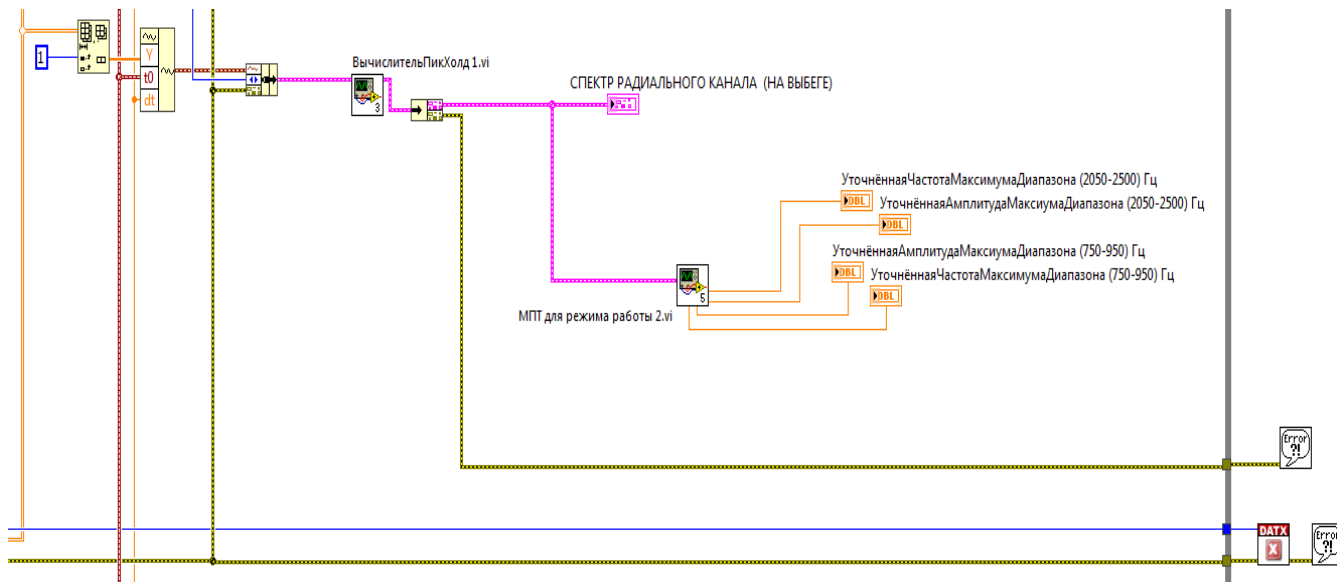


Рис.38 Формирование потока данных

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ВторойРежимРаботы.vi» формирующая потоки данных для радиального канала. Из двумерного массива данных выделяется одномерный массив для каждого канала, который объединяется с данными типа дата и дискретом по времени в кластер на входе ВП «ВычислительПикХолд.vi» соответствующего канала. Также на рисунке показан ВП «МПТ для режима работы 2.vi» вычисляющий значения требуемых параметров радиального канала.

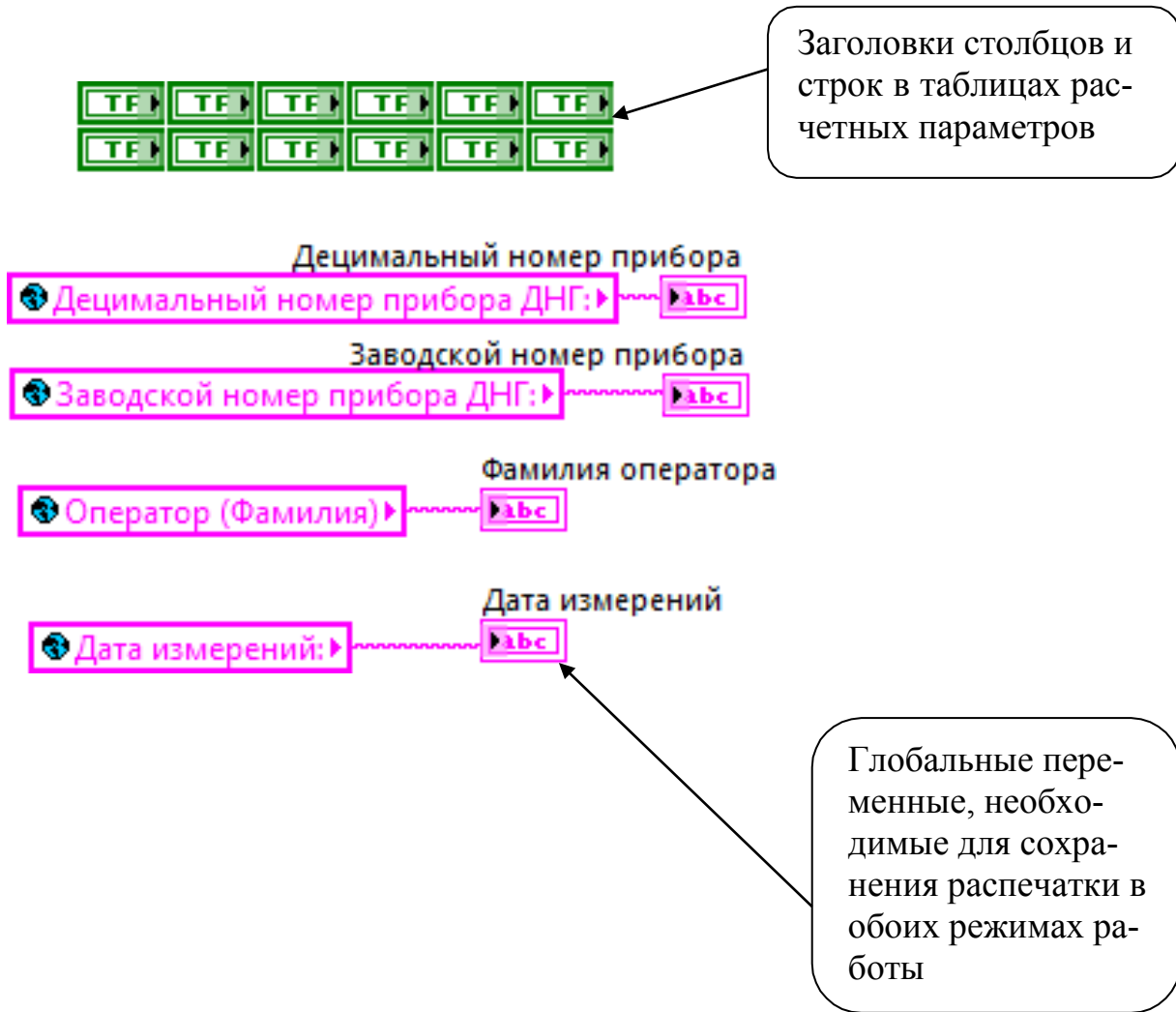


Рис.39 Формирование и заполнение шапки таблиц

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ВторойРежимРаботы.vi» создающая таблицы выходных параметров обоих каналов и заполняющая соответствующие строки значениями глобальных переменных.

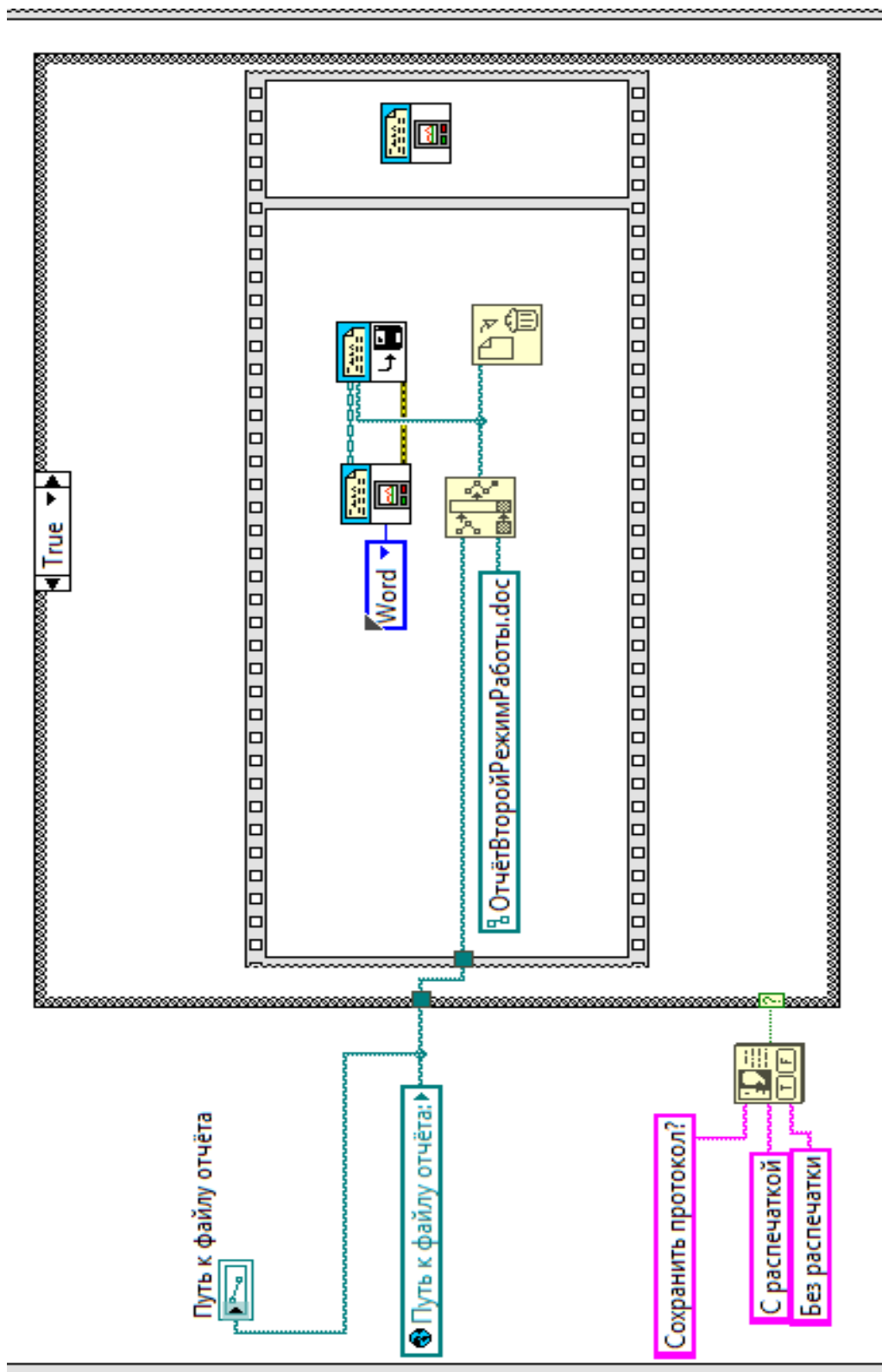


Рис.41 Распечатка с сохранением

На этом рисунке показана часть Block Diagram ВП «ВторойРежимРаботы.vi» которая в зависимости от выбора оператора распечатывает Front Panel ВП «ВторойРежимРаботы.vi» и сохраняет на жёсткий диск в папку, указанную оператором как «Путь к файлу отчёта», в виде документа Word.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

Лист

75

Рассмотрим более подробно виртуальные приборы ВП «ВторойРежим-Работы.vi».

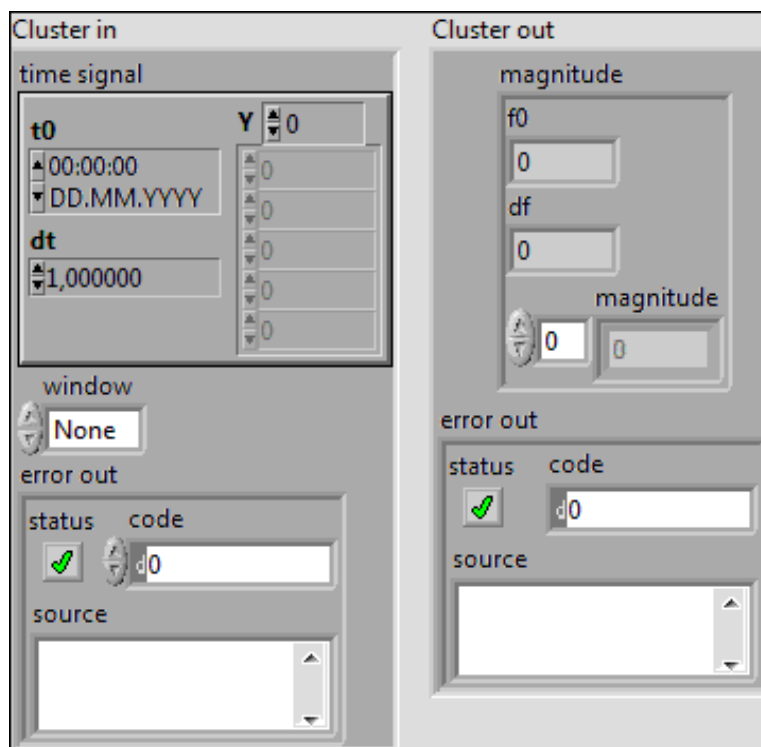


Рис.42 Front Panel ВП «ВычислительПикХолд.vi»

В левой части Front Panel ВП «ВычислительПикХолд.vi» расположен входной кластер (поток входных данных, тип взвешивающего окна и сообщение об ошибке), в правой части расположен выходной кластер (массив амплитуд линий спектра и сообщение об ошибке).

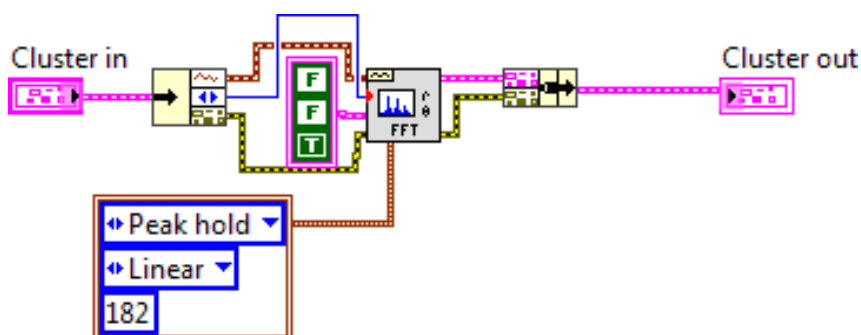


Рис.43 Block Diagram ВП «ВычислительПикХолд.vi»

На этом рисунке приведена Block Diagram ВП «ВычислительПикХолд.vi». Виртуальному вычислителю спектра заданы следующие параметры вычисления: вычислять и запоминать максимальные амплитуды спектральных линий, выводить не в логарифмическом масштабе.

Массив Линий Спектра f0 <input type="text" value="0"/> df <input type="text" value="0"/> magnitude <input type="text" value="0"/>	Уточнённая Амплитуда Максиму Диапазона (600-800) Гц	Уточнённая Амплитуда Максиму Диапазона (1550-1800) Гц
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
	Уточнённая Частота Максиму Диапазона (600-800) Гц	Уточнённая Частота Максиму Диапазона (1550-1800) Гц
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
	Уточнённая Амплитуда Максиму Диапазона (750-950) Гц	Уточнённая Амплитуда Максиму Диапазона (2050-2500) Гц
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
	Уточнённая Частота Максиму Диапазона (750-950) Гц	Уточнённая Частота Максиму Диапазона (2050-2500) Гц
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

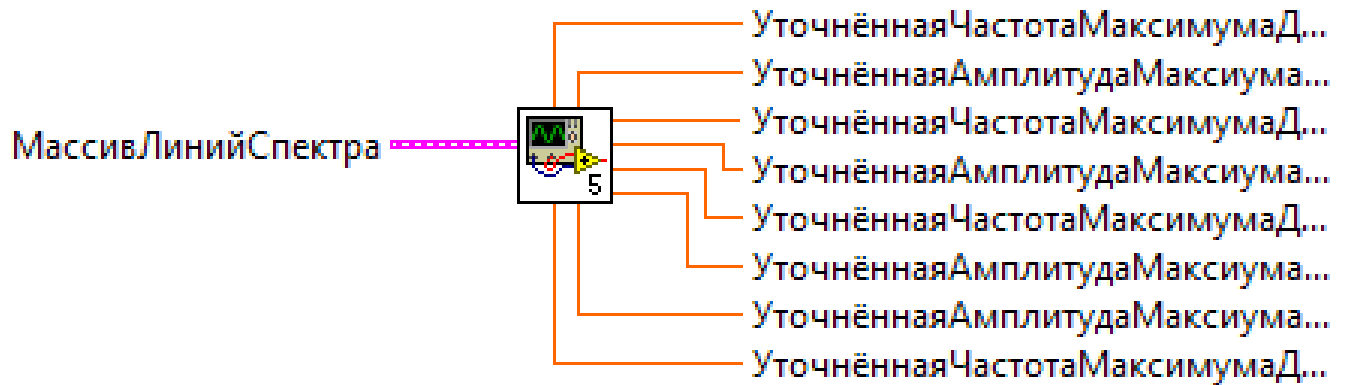


Рис.44 Front Panel и icon ВП «МПТ для режима работы 2.vi»

На вход «Массив Линий 3*СКО» поступает одномерный массив с выхода ВП «3СКО.vi». По номеру линии содержащей уточняемую частоту из него берётся соответствующая оценка погрешности.

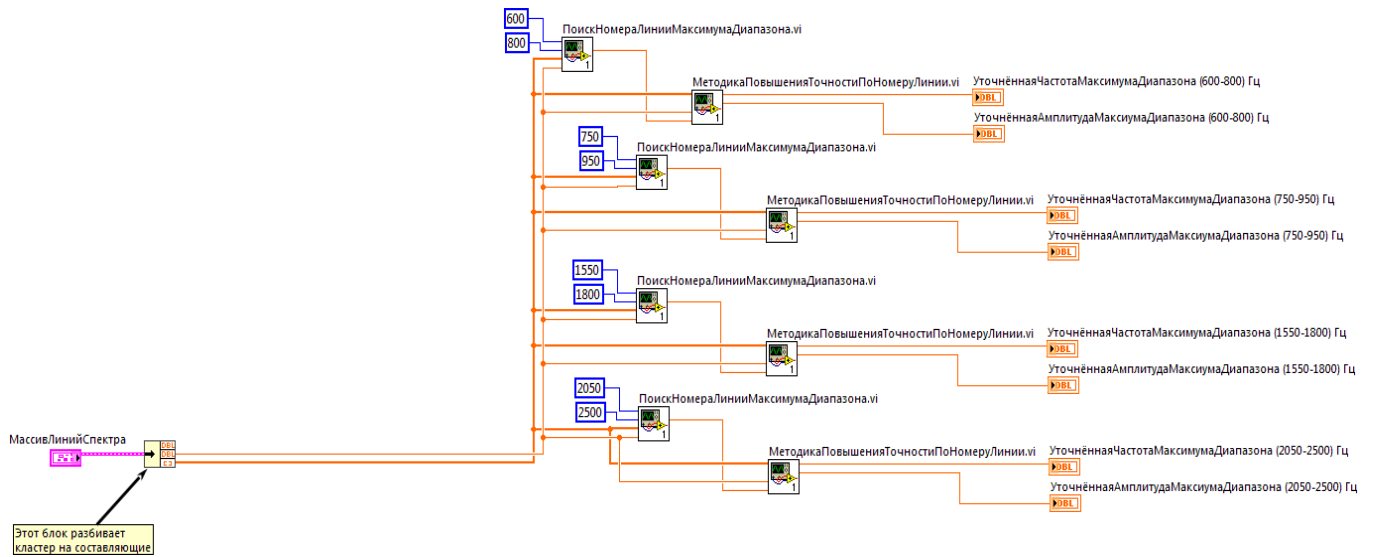


Рис.45 Block Diagram ВП «МПТ для режима работы 2.vi»

На этом рисунке приведена Block Diagram ВП «МПТ для режима работы 2.vi». Необходимые пояснения приведены в качестве комментариев.

9 Описание эксперимента по испытанию разработанного ПО

С целью испытания разработанного ПО, реализующего модернизированную методику вибрационного контроля ДНГ, был поставлен следующий эксперимент. На штатном рабочем месте вибрационного контроля ДНГ, структурная схема которого представлена на рис.46, с помощью существующего ПО (установлено на ЭВМ №1) были получены спектры обоих каналов и определены собственные частоты технологического прибора ДНГ. Одновременно с этим, с помощью разработанного ПО (установлено на ЭВМ №2) также были получены спектры и определены собственные частоты. Результаты, в виде таблиц, и их анализ приведены следующем разделе.

Дадим необходимые пояснения к рис.46.

Блок управления двигателем ДНГ разгоняет прибор до частоты вращения 274 Гц. Эта частота вращения не является частотой резонанса для большинства приборов. Она выбрана как некая частота, отличающаяся от частоты резонанса большинства приборов на минимально возможную величину (не более двух Гц).

Приспособление, изображённое на рис.46, необходимо для крепления вибродатчиков по обоим каналам и для закрепления прибора.

Резиновые кольца, также изображённые на рис.46, необходимы для развязки приспособления с прибором от вибраций основания.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

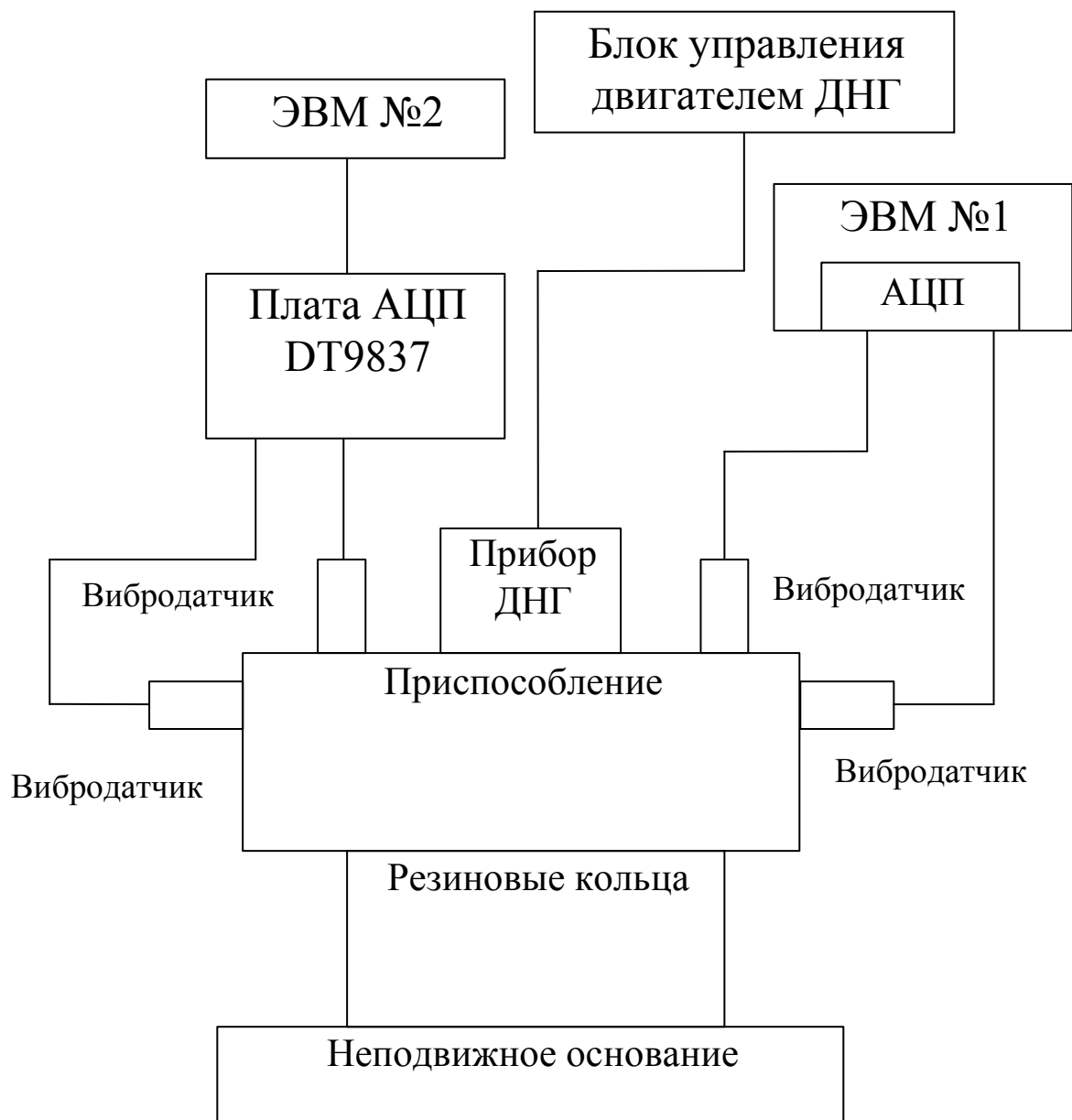


Рис.46 Схема рабочего места для проведения эксперимента

10 Результаты эксперимента

Результаты эксперимента приведены в таблицах 2, 3, 4 и 5.

Таблица 2 - Результаты снятия виброспектра осевого канала

	Существующая методика			Модернизированная методика		
	f, Гц	МО, м/с ²	СКО, м/с ²	f, Гц	МО, м/с ²	СКО, м/с ²
Частота вращения	274,0	0,242	0,00	273,8	0,246	0,00
	274,0	0,212	0,00	273,9	0,215	0,00
	274,0	0,221	0,00	273,8	0,220	0,00
	274,0	0,269	0,00	273,9	0,270	0,00
Двойная частота вращения	548,0	0,036	0,00	547,9	0,033	0,00
	548,0	0,034	0,00	547,5	0,035	0,00
	548,0	0,040	0,00	548,2	0,042	0,00
	548,0	0,035	0,00	547,8	0,033	0,00
Максимум диапазона (1980; 2020) Гц	2008,0	0,153	0,01	2007,5	0,120	0,01
	2006,5	0,044	0,02	2007,4	0,050	0,01
	2006,9	0,103	0,01	2007,5	0,100	0,02
	2007,0	0,068	0,01	2007,3	0,070	0,01
ОУВ в частотной области (4,2 кГц)		0,948	0,07		0,950	0,05
		0,847	0,07		0,850	0,05
		0,923	0,12		0,920	0,06
		1,188	0,17		1,100	0,07

Таблица 3 - Результаты поиска резонансов осевого канала

Резонансы, Гц	Существующая методика	Модернизированная методика
Первый	701,4	700,4
	698,1	699,5
	698,5	701,3
	701,0	701,0
Второй	1681,2	1680,5
	1679,2	1680,2
	1680,2	1680,1
	1681,3	1681,2

27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ

Лист

81

Таблица 4 - Результаты снятия виброспектра радиального канала

	Существующая методика			Модернизированная методика		
	f, Гц	МО, м/с ²	СКО, м/с ²	f, Гц	МО, м/с ²	СКО, м/с ²
Частота вращения	274,0	1,380	0,00	273,7	1,375	0,00
	274,0	1,291	0,00	273,8	1,295	0,00
	274,0	1,303	0,00	273,8	1,303	0,00
	274,0	1,272	0,00	273,7	1,273	0,00
Двойная частота вращения	548,0	0,008	0,00	547,8	0,008	0,00
	548,0	0,009	0,00	547,6	0,007	0,00
	548,0	0,009	0,00	548,2	0,008	0,00
	548,0	0,006	0,00	547,8	0,007	0,00
Максимум диапазона (1980; 2020) Гц	2007,9	0,033	0,03	2007,7	0,035	0,01
	2007,4	0,086	0,01	2007,4	0,085	0,01
	2006,9	0,025	0,00	2007,5	0,030	0,00
	2007,2	0,058	0,00	2007,3	0,055	0,01
ОУВ в частотной области (4,2 кГц)		1,520	0,04		1,530	0,02
		1,428	0,02		1,430	0,02
		1,408	0,04		1,410	0,01
		1,413	0,02		1,415	0,02

Таблица 5 - Результаты поиска резонансов радиального канала

Резонансы, Гц	Существующая методика	Модернизированная методика
Первый	886,5	886,0
	886,1	886,2
	886,4	886,1
	886,3	886,3
Второй	2224,0	2220,3
	2212,6	2215,6
	2215,5	2215,0
	2220,3	2221,4

Приведённые результаты позволяют сделать вывод о практически идентичной работе разработанного ПО штатному. Разброс значений может быть вызван случайными причинами, объясняемый спецификой объекта, прибора ДНГ. Например, наличие двух источников вибрации (в приборе два ШП) имеющих как случайный сдвиг фаз так и разный режим нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была модернизирована методика вибрационного контроля ДНГ. Исполняемое приложение было написано на графическом языке «G» в среде программирования LabVIEW с использованием платы АЦП DT9837.

Разработанная модернизированная методика вибрационного контроля ДНГ повторяет параметры расчётной схемы штатной методики: частота дискретизации, количество отсчётов на канал, взвешивающее окно, применение методики повышения точности, расчёт СКО по 182 полученным спектрам (для режима получения виброспектров), время набора данных (20 с).

Кроме того, использование многофункциональных ВП поставляемых средой разработки LabView и от производителей платы АЦП (фирма Data Translation) позволяет разработанному ПО менять указанные параметры расчётной схемы с целью поиска оптимальных сочетаний параметров для решения существующих задач вибрационного контроля. Данное ПО будет внедрено на предприятии АО «НПО - Электромеханики» для выходного контроля приборов.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Библиографический список

1. Пельпор Д.С. Динамически настраиваемый гироскоп. Теория и конструкция: монография / Д.С. Пельпор, В.А. Матвеев, В.Д. Арсеньев. – М.: Машиностроение, 1988.
2. Л.И.Брозгуль. Динамически настраиваемые гироскопы. – М.: Машиностроение, 1989.
3. Обобщённая математическая модель динамически настраиваемых гироскопов. Отчет НПО Электромеханики ШЮ-Э0-5598, 1993.
4. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний: издательский центр «Наука», 1971. – 240 с.
5. Частоты вибраций, возбуждаемых шарикоподшипниками ДНГ. Отчет НПО Электромеханики КЕАФ-Э0-6939, 2010.
6. В.Ф.Журавлев, В.Б.Бальмонт. Механика шарикоподшипников гироскопов. –М.: Машиностроение, 1985.
7. Брюль и Къер. Узкополосный частотный анализатор с высокой разрешающей способностью типа 2033. Инструкция по эксплуатации, 1981.
8. <https://digital.lab.html>
9. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов. - М.: Бином, 2006.
10. <https://ru.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
11. Магда Ю.С. LabVIEW: практический курс для инженеров и разработчиков. - М.: ДМК, 2012.

					27.03.04.2018.281.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84